

# Protocolo para la zonificación intraparceldaria de la viña para vendimia selectiva a partir de imágenes multiespectrales

## A protocol for the zonation of intra-field vineyard variability for selective harvesting from multispectral images

J. A. Martínez-Casasnovas<sup>1</sup>, J. Agelet<sup>1</sup>, J. Arnó<sup>2</sup>, X. Bordes<sup>3</sup> y M. C. Ramos<sup>1</sup>  
j.martinez@macs.udl.es

<sup>1</sup> *Departamento Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida*

<sup>2</sup> *Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida*

<sup>3</sup> *División Agrícola de Codornú, S.A., Bodegas Raimat s/n, 25111 Raimat (Lleida)*

*Recibido el 04 de marzo de 2010, aceptado el 15 de abril de 2010*

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un protocolo para la zonificación intraparceldaria de la viña con la finalidad de vendimia selectiva. Se basa en la adquisición de una imagen multiespectral detallada en el momento del envero, a partir de la cual se obtiene el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI). Este índice se clasifica en áreas de vigor alto y bajo mediante un proceso de clasificación no supervisada (algoritmo ISO-DATA). Las zonas resultantes se generalizan y se transfieren al monitor de cosecha de una máquina vendimiadora para realizar la recolección selectiva. La uva recolectada según este protocolo en parcelas control ha mostrado diferenciación en cuanto a parámetros de calidad como el pH, la acidez total, el contenido de polifenoles y el color. La imagen multiespectral utilizada fue adquirida por el satélite Quickbird-2. Los datos de calidad de la uva fueron muestreados según una malla regular de 5 filas por 10 cepas, procediendo a un test estadístico de rangos múltiples para analizar la separación de medias de las variables analizadas en cada zona de NDVI.

**PALABRAS CLAVE:** Viticultura de precisión, NDVI, clasificación no supervisada, monitor de cosecha, calidad de la uva.

### ABSTRACT

This work presents a protocol for intrafield vineyard zoning with the objective of selective harvesting. It is based on the acquisition of a high spatial resolution multi-spectral image at ripening, from which the normalized difference vegetation index (NDVI) is computed. The NDVI is classified in areas of low and high vigour by means of an unsupervised classification algorithm (ISODATA). The resulting zones are generalized and input in the yield monitor of the harvesting machine that carries out the selective harvesting. The harvested grapes according to this protocol in sample fields have shown differences in juice quality parameters such as probable alcoholic degree, total acidity, anthocianins and phenolics content. A Quickbird-2 image was used in this project. Grapes were sampled in regular matrix of 5 rows x 10 vines. A multiple rang test was performed to the data to determine the separation of means in each NDVI zone.

**KEYWORDS:** Precision viticulture, NDVI, unsupervised classification, yield monitor, grape quality.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la aplicación de las tecnologías de la información geográfica en la agricultura está teniendo un crecimiento exponencial. En concreto, la viticultura es uno de los campos que más beneficios puede obtener de la aplicación de esta tecnología, ya que el conocimiento y manejo de la variabilidad intraparcilaria puede dar lugar a la diferenciación de vinos dentro de una misma parcela a través de la vendimia selectiva (Pérez Quezada, 2006).

La vendimia selectiva se refiere a la separación de la cosecha de acuerdo a diferencias observables en el vigor o desarrollo vegetativo de la planta, el rendimiento, propiedades de los suelos y/o parámetros de calidad de la uva o el mosto. Para ello, la zonificación dentro de las parcelas en las que se observe una variabilidad significativa del cultivo debe basarse en información espacial de detalle.

En viticultura, desde finales de los años 1990, existe la posibilidad de conocer en detalle el rendimiento del cultivo a través del uso de monitores de cosecha instalados en máquinas vendimiadoras (Bramley y Proffitt, 1999; Wample *et al.*, 1999). La disponibilidad de esta información ha abierto la posibilidad de conocer la variabilidad intraparcilaria del cultivo y usar esta información en el manejo diferencial de las parcelas para incrementar su homogeneidad o bien para su vendimia selectiva (Bramley *et al.* 2003; Proffitt y Malcom, 2005; Pérez Quezada, 2006; Arnó *et al.* 2009).

Esta última opción parece la de mayor aceptación entre los viticultores que han adoptado esta tecnología, ya que es la que permite obtener vinos de mayor calidad (Bramley *et al.*, 2003).

El desarrollo vegetativo o vigor de la viña también ha sido reconocido como un factor relacionado con la calidad de la uva (Hall *et al.*, 2003, Cortell *et al.*, 2005). Este puede medirse mediante el índice de área foliar, el diámetro del tronco, el peso de poda, el contenido de clorofila o la actividad fotosintética (entre otros). También puede estimarse a través de información multiespectral mediante el cálculo de los índices de vegetación (Rouse *et al.*, 1973, Lamb *et al.*, 2004). En este caso, las imágenes de teledetección, en particular las de alta resolución espacial, ofrecen la estimación de la variabilidad espacial del vigor del cultivo, y han mostrado su utilidad en la estimación de la estructura foliar de la planta y en el contenido de fenoles y color de la uva (Lamb *et al.*, 2004).

En esta línea, el presente trabajo muestra el protocolo desarrollado en un viñedo comercial para llevar a cabo la vendimia selectiva en parcelas con alto coeficiente de variación del rendimiento del cultivo, utilizando imágenes multiespectrales de alta resolución espacial. En el trabajo se muestra la correspondencia de las zonas identificadas con parámetros de calidad medidos en muestras de uva en el momento de la vendimia.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en Raimat (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 (41° 40' N 0° 30' E) es de variedad Cabernet Sauvignon, plantada según un patrón de 3x2 m con un sistema de formación en T. Tiene una superficie de 5 ha y es regada mediante un sistema de aspersión.

### Adquisición y procesamiento de imágenes

El protocolo para la zonificación intraparcilaria de la viña para la vendimia selectiva comienza con la adquisición y el procesamiento de las imágenes multiespectrales para la determinación de las zonas de desarrollo vegetativo del cultivo. La adquisición de estos datos se realizan en el periodo de  $\pm 2$  semanas del momento del envero de la uva, el cual, según resultados e otras investigaciones (Lamb *et al.*, 2004), ha sido referido como el momento óptimo por su correlación con los parámetros de calidad de la uva.

En el presente caso de estudio, se adquirió una imagen Quickbird-2 el 13/07/2005, dentro del rango de comienzo del envero de las variedades tintas en la zona.

La imagen fue corregida radiométricamente aplicando el modelo COST propuesto por Chavez (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. El error cuadrático medio de la transformación geométrica fue de 0,40 píxeles (1,12 m).

A partir de aquí, y utilizando las bandas de la imagen multiespectral con una resolución de 2,8 m, se calculó el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1973). La resolución de la imagen no permitió la separación o cuantificación de la influencia del suelo en el cálculo del NDVI, dado que el marco de plantación es de 3 m (entre filas) x 1,5 m (entre plantas). A este mapa se le aplicó una clasificación no supervisada mediante el algoritmo ISODATA implementado en Image Analyst para ArcGIS 9.1. Este método proporciona clusters o zonas de NDVI con diferencias estadísticas significativas.

En el presente caso de estudio se obtuvieron 2 clases de acuerdo a experiencias previas sobre la definición de zonas de manejo en otras áreas de estudio (Proffitt y Malcom, 2005).

### **Determinación de las variables de desarrollo de la viña y calidad de la uva**

A lo largo del ciclo del cultivo se llevaron a cabo muestreos del número de yemas, número de brotes, número de racimos y peso de poda por metro lineal según un patrón regular de muestreo de 10 filas x 10 cepas. El rendimiento se determinó a través de un monitor de cosecha Canlink 3000 Farmscan (Bentley, WA, Australia) instalado en una máquina vendimiadora.

Dos días antes de la cosecha se tomaron muestras de uva según un patrón de muestreo de 5 filas x 10 cepas. Las muestras fueron georeferenciadas mediante un GPS Trimble Geo-explorer XT con precisión submétrica en post-proceso. Los parámetros analizados fueron: grado de alcohol probable ( $^{\circ}$  Baumé), acidez total (expresada en  $\text{g H}_2\text{SO}_4 \text{ l}^{-1}$ ), contenido de fenoles (expresado como la absorbancia a 420 nm) y color (expresado como suma de la absorbancia a 420 nm, 520 nm y 620 nm).

### **Relación entre las zonas de NDVI y parámetros de calidad de la uva**

Los puntos de muestreo de la uva fueron convertidos a una cobertura Shapefile de ArcView para poderlos relacionar con los clusters o zonas de NDVI resultado de la clasificación no supervisada. Esta relación se hizo mediante una superposición cartográfica de la cobertura de puntos con la cobertura de zonas del NDVI con la ayuda del programa ArcGIS 9.1.

El resultado de esta superposición indicó para cada punto de muestreo la zona de NDVI en la que se localizaba. Esto permitió clasificar los puntos de muestreo en dos grupos (puntos en zona NDVI alto y puntos en zona NDVI bajo) y llevar a cabo un test de Duncan de rango múltiple (Duncan, 1955) para analizar la separación de medias de los parámetros de calidad en las zonas de NDVI.

Los resultados derivados de este análisis mostrarán si la clasificación del NDVI en el periodo del invierno en la parcela de estudio (Cabernet Sauvignon) pueden servir para la zonificación del rendimiento de la viña y de la calidad de la uva.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

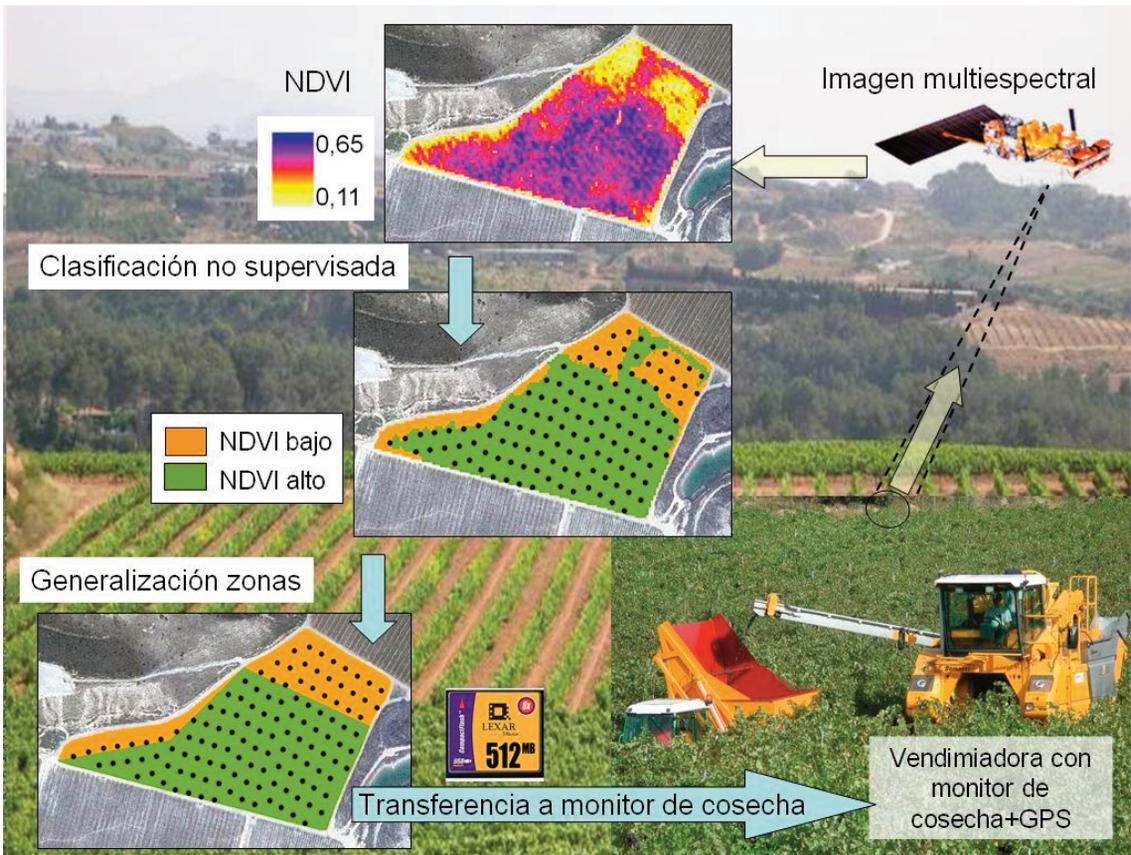
### **Clases de NDVI y relación con parámetros del cultivo**

En la Figura 1 se muestra la variabilidad intraparciliar del NDVI en la parcela objeto de estudio. Este índice presenta un valor medio en la parcela de  $0,5 \pm 0,07$ , con un coeficiente de variación del 13,1%. Los valores más bajos del NDVI que se observan en la figura corresponden con zonas donde el desarrollo de la planta es muy escaso y la respuesta viene determinada por la reflexión del suelo en la zona entre filas de cepas.

En estos casos, y según observaciones “in situ” llevadas a cabo en la parcela, la falta de desarrollo vegetativo viene condicionada por la escasa profundidad y alta pedregosidad superficial del suelo.

En la Tabla 1 se presentan los valores medios de las variables de desarrollo vegetativo, fertilidad, rendimiento y parámetros de calidad de la uva separadas por las clases de NDVI resultantes de la clasificación no supervisada mediante el algoritmo ISODATA.

La clase NDVI bajo presentó un valor medio de  $0,3774 \pm 0,0758$  y la clase NDVI alto un valor medio de  $0,5295 \pm 0,0682$ . Todas las variables de desarrollo y fertilidad del cultivo (número de yemas, número de brotes, número de racimos, peso de poda) y rendimiento mostraron diferencias significativas en las clases de NDVI identificadas. Esto es indicativo de la relación existente entre estas variables y el NDVI, sirviendo esta clasificación para establecer zonas con un posible objetivo de manejo diferencial del cultivo en la parcela.



**Figura 1.-** Índice de vegetación de la diferencia normalizada en la parcela de estudio obtenido a partir de la imagen Quick-bird-2 de julio de 2005 y protocolo para la vendimia selectiva a partir de una imagen multispectral

Parámetro de desarrollo de la planta o calidad de la uva	NDVI bajo (0,3774±0,0758) n= 22	NDVI alto (0,5295±0,0682) n= 106
Yemas ml <sup>-1</sup>	7,33 a	8,01 b
Brotos ml <sup>-1</sup>	7,24 a	7,70 b
Racimos ml <sup>-1</sup>	9,70 a	11,30 b
Peso poda kg ml <sup>-1</sup>	1,01 a	1,34 b
Rendimiento Mg ha <sup>-1</sup>	4,7 a	7,5 b
° Baumé	14,2 a	14,3 a
pH	3,9 b	3,7 a
Acidez total g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> l <sup>-1</sup>	2,6 a	3,1 b
Fenoles ua	13,4 b	11,7 a
Color ua	4,9 b	4,0 a

**Tabla 1.-** Resultados de la separación de medias según el test de rango múltiple de Duncan en las clases de clasificación no supervisada del NDVI: 2 clases (NDVI bajo y NDVI alto). Las letras a, b indican la existencia de diferencias significativas con un p-valor < 0,05

Por lo que respecta a las variables de calidad de la uva, el único parámetro que no presentó una diferencia estadística significativa en las dos clases de NDVI fue el grado alcohólico probable. Las demás variables, y en particular el contenido de fenoles y el color del mosto, sí muestran la diferenciación estadística con un p-valor <0,05. Estas propiedades presentan una relación inversa lógica y esperada con el NDVI, dado que a mayor desarrollo vegetativo de la planta, el tanto el contenido de fenoles es menor como la absorbancia del mosto en el espectro visible son menores. Estos resultados, sin embargo, difieren en parte con otros estudios desarrollados recientemente en zonas de mayor tamaño, como el de Santesteban *et al.* (2009). Esto seguramente se deba a la mayor variabilidad existente en una explotación por diferencias en prácticas agrícolas, a diferencia del presente estudio que muestra los resultados de una sola parcela. Estos autores también proponen complementar la zonificación basada en el NDVI con parámetros indicativos de la carga de las cepas, tales como el número de racimos o el peso de las bayas por racimo, dado que la carga determina la calidad de la uva en viñas con similar desarrollo vegetativo y estado de estrés hídrico (Santesteban *et al.* (2009). Esta misma controversia en la relación entre el NDVI y algunos parámetros de calidad de la uva también ha sido citada por otros autores como Bramley *et al.* (2003) y Arnó *et al.* (2009). En línea con lo sugerido por Santesteban *et al.* (2009), la complementariedad del NDVI con parámetros de vegetativos y de carga de las cepas se había puesto de manifiesto en un trabajo anterior de Martínez-Casasnovas y Bordes (2005), en el que se encontró una relación entre el NDVI y dichos parámetros vegetativos y de carga con el rendimiento, si bien no se analizó la relación con parámetros de calidad de la uva como en el presente caso de estudio.

### Protocolo para la vendimia selectiva

A la vista de la relación existente entre las zonas de NDVI establecidas y mayor parte de los parámetros cualitativos de la uva analizados se optó por el establecimiento del siguiente protocolo para llevar a cabo la vendimia selectiva basado en la zonificación del NDVI en enero (Figura 1). La simplificación a la zonificación de esta variable atiende a motivos puramente operacionales y de economía de recursos, dada la complejidad de realizar un muestreo detallado de otros parámetros vegetativos y de carga en grandes extensiones de viñedo (Pérez Quezada,

2006). El protocolo consiste en la adquisición de una imagen multiespectral de alta resolución espacial en el periodo del enero ( $\pm 2$  semanas), a partir de la cual se calcula el NDVI tras su corrección radiométrica y geométrica. El resultado se clasifica en dos clases o clusters (en este caso se ha utilizado el clasificador ISODATA). Estas clases se generalizan, delineando polígonos en formato vectorial con el fin de homogeneizar las clases de NDVI resultantes y facilitar el trabajo a las máquinas de vendimia. La información vectorial con los polígonos resultantes se transfiere al monitor de cosecha de la máquina vendimiadora, la cual a través del sensor GPS y ordenador de abordaje conocerá a qué clase de NDVI (bajo o alto) pertenece el punto de la parcela por donde pasa en ese momento. De acuerdo a esta información el maquinista decide el volcado de la uva recolectada a una u otra góndola (tractor con remolque recolector uva), que irá a diferentes depósitos de fermentación en bodega.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo propone una metodología para la zonificación de la vendimia en base a la clasificación no supervisada de mapas de NDVI obtenidos a partir de imágenes multiespectrales de alta resolución espacial. La zonificación de este índice, adquirido en el momento del enero, ha mostrado relación con los principales parámetros de desarrollo vegetativo, fertilidad y rendimiento del cultivo, así como con los de calidad de la uva. Este protocolo puede ser transferible a viticultores que deseen llevar a cabo viticultura de precisión en sus viñedos. No obstante, dada la controversia mostrada en otros trabajos en la relación entre el NDVI y parámetros indicadores de la calidad de la uva, previo a la adopción de este protocolo, sería recomendable analizar las diferencias en los parámetros cualitativos de la uva en zonas derivadas del NDVI según se muestra en el presente trabajo.

## 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.

## REFERENCIAS

- ARNÓ, J., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 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.
- BRAMLEY, R.G.V. & PROFFITT, A.P.B. 1999. Managing variability in viticultural production. *Grapegrower and Winemaker*. 427: 11-16.
- BRAMLEY, R.G.V. & 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. 35-54.
- CHAVEZ, P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 55: 339-348.
- CORTELL, J.M, HALBLEIB, M., GALLAGHER, A.V., RIGHETTI, T.L. & KENNEDY, J. 2005. Influence of Vine Vigor on Grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and Wine Proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 5798-5808.
- DUNCAN, D B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11: 1-42.
- HALL, A., LOUIS, J. & LAMB, D. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers and Geosciences*. 29: 813-822.
- KRAUSE, K. 2003. Radiance conversion of Quickbird data – Technical note. DigitalGlobe Inc., Longmont, Colorado, USA.
- LAMB, D.W., WEEDON, M.M. & 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 J. 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.
- PÉREZ QUEZADA, J. 2006. Viticultura de precisión aplicada al viñedo. *Revista de Enología*. 2: 1-8.
- PROFFITT, A.P.B. & MALCOM, A. 2005. Zonal vineyard management through airborne remote sensing. *Aust. NZ Grapegrower & Winemaker*. 502: 22-27.
- ROUSE, J. W. JR., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. & 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. 309-317.
- SANTESTEBAN, L.G., MIRANDA, C., FUENTECILLA, M., TISSEYRE, B., GUILLAUME, S. Y ROYO, J.B. 2009. Evaluación del interés del índice NDVI para la delimitación de unidades de manejo diferenciado dentro de una explotación vitícola. In: Montesinos, S., Fernández, L. (eds.), *Teledetección. Agua y desarrollo sostenible*. Gobierno de Aragón, Universidad de Zaragoza y Geosys SL, Calatayud (España). 93-96.
- WAMPLE, R.L., MILLS, L. & DAVENPORT, J.R. 1999. Use of precision farming practices in grape production. In: Robert, P.C., Rust, R.H. and Larson, W.E. (eds.) *Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, St. Paul, MN, Madison, WI. 897-905.