

Viticultura de precisión: Predicción de cosecha a partir de variables del cultivo e índices de vegetación

J.A. Martínez-Casasnovas¹ y X. Bordes²

¹ *Dep. Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida.
Avda. Rovira Roure 191, 25198 Lleida. j.martinez@macs.udl.es*

² *División Agrícola de Codornú, S.A. Bodegas Raimat s/n, 25111 Raimat (Lleida)
x.bordes@codorniu.es*

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados provisionales de un proyecto de viticultura de precisión, llevado a cabo entre la Universidad de Lleida y la empresa Codornú, S.A., con el objeto de predecir el rendimiento, de forma localizada, de diferentes variedades de viña para la producción de vinos y cavas de calidad. Las variables de cultivo muestreadas de forma detallada han sido: número de yemas, número de brotes, número de racimos, peso de la poda, vigor del cultivo y cosecha del año anterior (2003). El vigor del cultivo se ha extraído de una imagen multispectral Quickbird 2. Estas variables se han analizado en un modelo de regresión múltiple con la cosecha del año 2004 (variable dependiente), ofreciendo diferentes ajustes según la variedad considerada y variables incorporadas en el análisis.

PALABRAS CLAVE: viticultura de precisión, predicción de cosecha, regresión múltiple, Quickbird.

ABSTRACT

The present paper shows provisional results of a precision viticulture project carried out between the University of Lleida and the company Codornú, S.A. The main objective of the research is yield prediction of different grape varieties for high quality wine production. The crop variables sampled have been: number of blooms, number of sprouts, number of bunches, prune weight, vigour and previous yield (2003). The plant vigour was extracted from a multispectral Quickbird 2 image. With those variables multiple regressions models were developed to predict the 2004 yield (dependent variable), resulting in different adjusts depending on the considered variety and the variables incorporated to the model.

KEY WORDS: precision viticulture, yield prediction, multiple regression, Quickbird.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de los años 2000, en la agricultura extensiva, y en particular en la viticultura, se está produciendo una revolución tecnológica que hace uso de herramientas de localización y posicionamiento en el espacio y que se ha venido a denominar Agricultura de Precisión. Esta nueva concepción de la agricultura representa una estrategia de manejo orientada a la obtención de mayor producción minimizando el impacto ambiental. Utiliza tecnologías de la información geográfica para facilitar la obtención y análisis de la variabilidad del cultivo y de los factores de producción, con el objeto de mejorar el diagnóstico, la toma de decisiones

y la eficiencia en el uso de insumos; y utiliza también tecnologías de tratamiento variable para la aplicación de insumos (fertilizantes, semillas, plaguicidas, agua de riego, etc.) de forma diferencial dentro de una parcela. Las aplicaciones variables se realizan normalmente en función del potencial de rendimiento o calidad del cultivo en cada sitio específico.

En España, así como en otras partes del mundo, uno de los cultivos en los que se está comenzando a aplicar estas tecnologías es la viña, dado el gran auge que tiene este cultivo y la propia exigencia de las empresas a obtener un producto diferenciado de cada parcela para poder elaborar vinos de calidad.

El presente trabajo muestra los resultados provisionales de un proyecto de viticultura de precisión, llevado a cabo entre la Universidad de Lleida y la empresa Codorníu, S.A., con el objeto de predecir el rendimiento, de forma localizada, de diferentes variedades de viña para la producción de vinos y cavas de calidad.

ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se ha llevado a cabo de la finca de la empresa Codorníu, S.A. situada en Raimat (Lleida), la cual está enclavada en el área de la Denominación de Origen Costers del Segre. La finca tiene una superficie aproximada de 400 ha, distribuidas en 40 parcelas de entre 1,5 y 25 ha. Se cultivan 12 variedades de uva, siendo las principales: Chardonnay, Merlot, Cabernet Sauvignon, Pinot Noir y Tempranillo. Las plantaciones son diversas en cuanto a marco de plantación, cubierta herbácea, tipo de riego, tipos de suelos y relieve. El clima es semiárido, de tipo continental-mediterráneo. La precipitación media es de 375 mm/año. Se caracteriza por una notable diferencia estacional de las temperaturas y por la escasez de lluvias. Además, destacan las heladas primaverales y las frecuentes granizadas debidas a tormentas de verano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables de cultivo muestreadas en campo

La elaboración de modelos de predicción de cosecha de forma localizada se ha planteado de forma diferencial para tres de las principales variedades cultivadas en la finca y de las que se disponía de datos completos en cuanto al muestreo de las variables seleccionadas. Dichas variables son: Cabernet Sauvignon (3 parcelas de 4, 5 y 25 ha), Merlot (de 6, 15 y 17 ha) y Tempranillo (de 8, 13 y 15 ha).

En todos los casos, las variables muestreadas fueron: número de yemas, número de brotes, número de racimos y peso de poda tras la cosecha. Estos parámetros determinan el rendimiento del cultivo. Todas ellas fueron muestreadas según un marco cuadrado de 10 x 10 cepas, midiendo cada una de las variables en unidades por metro lineal. Para obtener una cobertura continua de cada variable muestreada se aplicó un procedimiento geoestadístico

(“kriging”). El variograma es la herramienta que utiliza el “kriging” para predecir dichos valores. Para ello se agruparon los valores en pares de puntos según su distancia de separación y se calculó la semivarianza media para cada intervalo. El semivariograma representa en ordenadas la semivarianza y en abscisas la distancia de separación, obteniéndose así el variograma experimental. En nuestro caso se ajustó un modelo esférico, en el que la semivarianza aumenta conforme lo hace la separación entre puntos hasta llegar al valor meseta, donde la semivarianza permanece constante, independientemente de la separación de los puntos.

El tamaño de celda dado a las coberturas raster generadas de cada una de las variables de cultivo consideradas fue de 3 m, dado que se ajusta al marco de plantación (distancia entre filas) y es similar a la resolución de la imagen de satélite multiespectral utilizada para obtener el vigor del cultivo (2,8 m).

Índice de vigor vegetativo

Además se obtuvo un mapa del vigor vegetativo de las viñas a partir de una imagen Quickbird 2 obtenida a finales de julio de 2004 (momento del envero o inicio de la maduración). La imagen se corrigió radiométricamente obteniendo valores de radiancia espectral y posteriormente de reflectancia espectral. Para la obtención de valores de radiancia se aplicaron las especificaciones del documento “Radiance Conversion of QuickBird Data” (Technical Note July 2003), según la ecuación 1.

$$L_{Pixel,Band} = \text{absCalfactor}_{Band} \cdot q_{Pixel,Band} \quad (1)$$

donde $L_{Pixel,Band}$ es la radiancia en la parte alta de la atmósfera ($W m^{-2} sr^{-1}$), $\text{absCalfactor}_{Band}$ es el factor de calibración radiométrica absoluto ($W m^{-2} sr^{-1} ND^{-1}$) y $q_{Pixel,Band}$ es el valor digital de los píxeles de la imagen.

La conversión de radiancia a reflectancia se realizó usando la ecuación para el cálculo de la reflectancia planetaria (ecuación 2).

$$R_{Pixel,Band} = \frac{L_{Pixel,Band} \cdot d^2 \cdot \pi}{E \cdot \cos \phi} \quad (2)$$

donde $R_{Pixel,Band}$ es la radiancia espectral calculada según la ecuación 1, d es la distancia entre la Tierra

y el sol en unidades astronómicas, E es la Irradiancia solar espectral exoatmosférica en $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ y Φ es 90 menos el ángulo de elevación solar en el momento de la adquisición de la imagen.

Con los valores de reflectancia espectral se calculó el NDVI, como índice indicador del vigor vegetativo del cultivo.

Mapa de cosecha

El mapa de cosecha de las parcelas de viña, para los años 2003 y 2004, fue obtenido mediante un monitor de cosecha modelo FARMSCAN Canlink 3000 instalado a la máquina cosechadora. Este sistema está conectado a un receptor DGPS para georeferenciar el dato de cosecha de los puntos muestreados. En concreto, el monitor de cosecha se programó para adquirir un dato cada 3 sg. A partir de la cobertura de puntos generada para cada parcela (Fig. 1) se procedió a generar coberturas raster de cosecha (Fig. 2), según el procedimiento geoestadístico descrito.

Modelos de predicción

Para la elaboración de los modelos de predicción de cosecha se aplicó un procedimiento de regresión multivariante mediante el programa IDRISI 14.02 (Kilimanjaro). Esta función aplica una regresión de mínimos cuadrados (Clark y Hosking, 1986; Kleinbaum, 1988), donde, en este

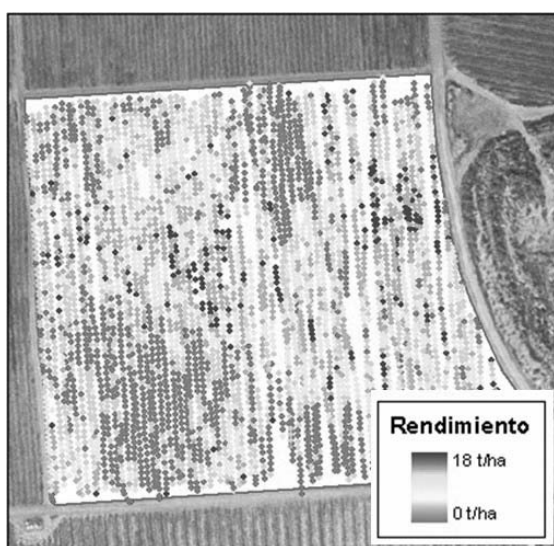


Figura 1. Cobertura de puntos resultante del monitor de cosecha. El rendimiento viene expresado en Tm/ha .

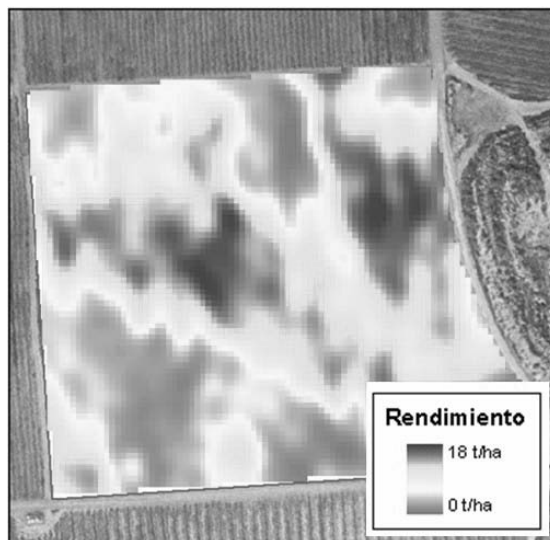


Figura 2. Mapa de cosecha obtenido a partir de la interpolación de la cobertura de puntos resultante del monitor de cosecha.

caso, como variable dependiente se ha considerado los mapas de cosecha (por variedades) del año 2004 (cosecha a predecir), y como variables independientes los siguientes parámetros: a) NDVI 2004, b) Cosecha 2003 y NDVI 2004, c) NDVI 2004, Yemas 2004, Brotes 2004, Racimos 2004 y Peso poda 2003, d) Cosecha 2003, NDVI 2004, Yemas 2004, Brotes 2004, Racimos 2004 y Peso poda 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las ecuaciones de regresión multivariante obtenidas para la variedad Cabernet Sauvignon se muestran en las ecuaciones 3, 4, 5 y 6.

$$(3) \text{ Cosecha04} = 0.8378 + 25.8371 \cdot \text{NDVI04} \\ R = 0.44, R^2 = 0.20$$

$$(4) \text{ Cosecha04} = -0.4743 + 19.1606 \cdot \text{NDVI04} + \\ 0.4062 \cdot \text{Cosecha03} \\ R = 0.49, R^2 = 0.24$$

$$(5) \text{ Cosecha04} = -9.4468 - 1.0528 \cdot \text{Brotes04} + \\ 12.2406 \cdot \text{NDVI04} - 0.3786 \cdot \text{Peso_poda03} + \\ 1.3523 \cdot \text{Racimos04} + 0.0622 \cdot \text{Yemas04} \\ R = 0.81, R^2 = 0.65$$

$$(6) \text{ Cosecha04} = -9.3381 + 0.6385 \cdot \text{Cosecha03} - 0.6410 \cdot \text{Brotos04} + 5.4218 \cdot \text{NDVI04} - 1.7601 \cdot \text{Peso_poda03} + 1.2583 \cdot \text{Racimos04} - 0.1856 \cdot \text{Yemas04}$$

$$R = 0.85, R^2 = 0.72$$

La ecuación 7 muestra el modelo de regresión múltiple elaborada para la variedad Merlot y la ecuación 8 el de la variedad Tempranillo. En estos dos casos solamente se presentan los resultados obtenidos a partir de las variables NDVI 2004, Yemas 2004, Brotes 2004, Racimos 2004 y Peso poda 2003, sin haber tenido en cuenta la cosecha del año anterior.

$$(7) \text{ Cosecha04} = -8.9135 - 1.9524 \cdot \text{Brotos04} + 1.8789 \cdot \text{NDVI04} + 2.5163 \cdot \text{Peso_poda03} + 1.9188 \cdot \text{Racimos04} + 0.1870 \cdot \text{Yemas04}$$

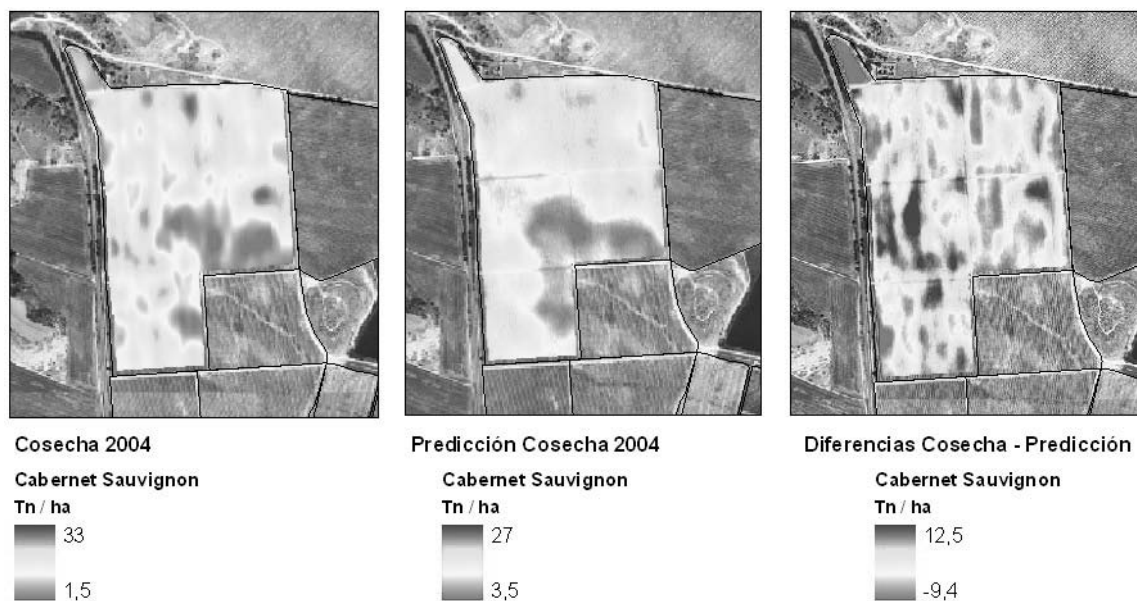
$$R = 0.79, R^2 = 0.63$$

$$(8) \text{ Cosecha04} = -6.6327 + 0.7945 \cdot \text{Brotos04} + 26.4166 \cdot \text{NDVI04} - 2.4090 \cdot \text{Peso_poda03} + 0.4504 \cdot \text{Racimos04} - 0.4791 \cdot \text{Yemas04}$$

$$R = 0.73, R^2 = 0.54$$

Las ecuaciones 3 y 4, obtenidas para la variedad Cabernet Sauvignon, indican que el índice de vege-

tación NDVI y la cosecha del año anterior son las variables que mayor importancia tienen en la determinación de la cosecha de 2004. No obstante, los coeficientes de correlación y determinación son bajos, indicando que estas variables no explican toda la variabilidad del comportamiento productivo del cultivo. Esto es en cierta manera esperable, ya que en la viña, y en relación al vigor, un mayor crecimiento vegetativo no significa una mayor producción de uva y/o una mayor calidad. Además, a pesar de que se ha constatado una cierta persistencia en el tiempo de las zonas con más y menos producción dentro de la parcela, el rendimiento en un mismo punto de la parcela puede variar de un año a otro, dependiendo de otros factores como las condiciones climatológicas durante la campaña o del aporte de agua de riego. La incorporación al modelo de regresión de las variables indicadoras del rendimiento del cultivo, como número de yemas, número de brotes y número de racimos, además del peso de la poda del año anterior (indicador del vigor de la planta), mejoran la predicción espacial del rendimiento, llegando a valores del coeficiente de determinación de 0.65. los mejores resultados se obtienen cuando, además de estas variables, se incluye el rendimiento localizado del año anterior (ecuación



***Figura 3.** Comparación del mapa de cosecha 2004 de una parcela de la variedad Cabernet Sauvignon (izquierda) con la predicción realizada según la ecuación 6 (centro). El mapa de la derecha muestra las diferencias entre los dos mapas.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

6, $R^2 = 0.75$). El mapa de predicción de cosecha relativo a la ecuación 6 se muestra en la Fig. 3.

Respecto a las otras variedades analizadas, Merlot y Tempranillo (ecuaciones 7 y 8 respectivamente), muestran resultados similares a la ecuación 5, que considera todas las variables independientes excepto la cosecha del año anterior.

A partir de los mapas de predicción de cosecha se realizó una operación de análisis zonal por parcela para obtener el rendimiento total y compararlo con la cosecha real obtenida. Los resultados muestran poca variabilidad, independientemente del modelo de regresión obtenido. Por ejemplo, en el caso de la variedad Cabernet Sauvignon, con una cosecha real de 11.6 Tn/ha, la cosecha predicha es de 12.7 Tn/ha (ecuaciones 3 y 4), 11.7 Tn/ha (ecuación 5) y 11.8 (ecuación 6). Estos datos indican que cualquiera de los modelos elaborados puede servir para predecir la cosecha total, aunque no se ajustan por igual a la predicción de la cosecha de forma localizada.

CONCLUSIONES

Los primeros resultados obtenidos en relación al proyecto de viticultura de precisión orientado,

entre otros objetivos, a la predicción localizada de cosecha de distintas variedades de viña en Raimat (Codorníu, S.A.), indican que es posible obtener modelos de predicción con una alta correlación cuando intervienen no solamente variables indicadoras del vigor del cultivo sino también variables determinantes de la fertilidad de la viña (número de yemas, brotes y racimos). Esto significa que, de cara a una buena predicción localizada de la cosecha, que puede ser de gran interés en la zonificación de las parcelas por áreas homogéneas de producción y/o calidad, se hace necesario el muestreo detallado de estas últimas variables.

BIBLIOGRAFÍA

- CLARK, W.A.V., HOSKING, P.L. 1986. *Statistical Methods for Geographers*. New York, John Wiley & Sons.
- KLEINBAUM, D.G., KUPPER, L.L., MULLER, K.E. 1988. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. Boston, PWS-KENT Publishing Company.

