

Estudio de la variabilidad espacial y temporal de variables vitícolas: caso de estudio en la D.O. Bierzo (León - España)

Ana Belén González-Fernández¹, José Ramón Rodríguez-Pérez²

²Grupo de Investigación GI202: Geomática e Ingeniería Cartográfica (Geoinca). Universidad de León. E.S.T. I.A. Avda. de Astorga s/n. 24400-Ponferrada (León). Tel: +34 987 442 000; Fax: +34 987 442 070

¹ anabelngf@yahoo.es; ² jr.rodriguez@unileon.es

Resumen

Mediante este trabajo se ha logrado identificar la variabilidad espacial y temporal de variables cualitativas y cuantitativas de vendimia mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología se dividió en cuatro fases: toma de datos, creación de la base de datos georreferenciada, estudio de la variabilidad espacial y estudio de la variabilidad temporal. Los resultados obtenidos permitieron identificar zonas en las que las variables permanecen estables en el tiempo dentro de una parcela. Cada una de las zonas delimitadas en el análisis podría ser tratada con técnicas vitícolas diferenciadas y así conseguir los objetivos de producción de la bodega.

Palabras clave: viticultura de precisión, geomática, gvSIG, SEXTANTE.

Summary

This work describes a method to identify the spatial and time variability of qualitative and quantitative vintage variables using gvSIG and SEXTANTE (software GIS). The methodology followed four steps: field data collection, geo-database management, analysis of spatial variability and study of time variability. The results allowed to identify areas in which the variables are stable over time within a plot. Each of the areas bounded in the analysis could be treated with different viticultural techniques and thus get the production goals of the winery.

Keywords: precision viticulture, geomatics, gvSIG, SEXTANTE..

Agradecimientos

Este trabajo ha podido ser desarrollado gracias a la financiación del proyecto *GEOVID* financiado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL) y a la colaboración de la bodega Ribas del Cúa S.A. (<http://www.ribasdelcua.com/>).

1. Introducción

Las condiciones dentro de una parcela son homogéneas, es decir las características ambientales, culturales y varietales son similares, sin embargo la producción de uva difiere en calidad y en cantidad dentro de la misma. Esto hace que la gestión de la parcela para conseguir los objetivos de producción deseados sea complicada. Para realizar una correcta gestión es necesario introducir una serie de inputs (fertilizantes, agua...) con el fin de conseguir la cantidad de uva y vino deseada por el viticultor (output) (Bramley y Hamilton, 2004).

Es posible realizar una zonificación de la parcela en función de los criterios de calidad analizados en el mosto y de criterios relacionados con la cantidad de producción vitícola para actuar en cada una de ellas de forma diferencial, y localizar las zonas de mejores características vitícolas y exportarlas al resto de la parcela para optimizar la producción y conseguir los objetivos productivos de a bodega, aplicando así la viticultura de precisión (VP). La VP es la técnica de manejo del cultivo de la vid que utiliza todos los elementos del conocimiento actual acerca del comportamiento de esta especie para la optimización de la producción de uvas de calidad superior (Marchevsky, 2005). Los sistemas de VP se basan en el uso de: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Monitores de Rendimiento, Teledetección e instrumentos y maquinaria especializada.

La imposición de un sistema de VP implica realizar una recogida de datos de forma cíclica, su interpretación y análisis mediante SIG y la aplicación del método para conseguir los objetivos esperados por el viticultor. Numerosos autores (Bohle et al 2008; Morais et al., 2008; Matese et al., 2009) han

demostrado la utilidad del sistema.

Sort et al. (2005) demostraron la utilidad de los SIG y la teledetección para obtener la distribución espacial de las necesidades de la vid y las dosis de fertilizantes a aplicar en función de la variabilidad del terreno y del cultivo. También se ha demostrado la utilidad de los SIG para determinar las variables que más afectan en la caracterización de “Terroir” en Sudáfrica (Carey et al., 2008) pudiendo así realizar una caracterización previa de los vinos de la zona.

Estudios previos (De Andrés-de Prado et al., 2007) han evidenciado una relación directa entre variables que definen la calidad del mosto y los vinos elaborados con él (pH, acidez total, grado alcohólico, etc) y variables del suelo como pH, materia orgánica, etc. Este método caracteriza de forma adecuada los viñedos, pero exige hacer microvinificaciones que están condicionadas a las técnicas de elaboración y tienen un alto coste ya que necesita una serie de instalaciones y materias de laboratorio.

Para implementar un sistema de VP es necesario disponer de datos fiables sobre la topografía del terreno, estado vegetativo y sanitario de las cepas, etc., así como información sobre la producción. Para ello se realiza una comparación de las variables estudiadas durante varios años, con el fin de eliminar la variabilidad causada por los factores extrínsecos que condicionan la cosecha de una campaña concreta (factores climáticos, enfermedades, etc.). Existen trabajos publicados en los que se realizan comparaciones de una variable dentro de la misma parcela durante varios años mediante los cuales se han desarrollado protocolos para elaboración de mapas de maduración y calidad de uva (Bramley, 2005), caracterización de suelos (Flores, 2005), rendimiento de uva (Esser y Ortega, 2002) y variables de calidad de la uva y suelos (Esser et al., 2002).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la variabilidad espacial y temporal de variables cualitativas y cuantitativas de vendimia mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) dentro de una parcela. Mediante este estudio se realizó una zonificación de las parcelas para cada año de estudio en función de dichas variables y se realizó una comparación entre las tres zonificaciones para determinar si la variación espacial de las variables permanece constante en el tiempo y el espacio o se ve afectada por factores externos, como los ambientales.

2. Zona de estudio

El estudio realizó en viñas propiedad de la empresa Ribas del Cúa S.A., La propiedad está localizada entre las coordenadas 4720400(N), 4719500(S), 687600(O) y 688800(E) (Coordenadas ETRS89/UTMzone29N) correspondiente al municipio de Cacabelos (DO Bierzo). Todas las viñas están formadas en espaldera con un marco de plantación de 2,80 m entre líneas y 1,10 m entre cepas. Dentro de los viñedos se seleccionaron tres parcelas de variedades diferentes (Cabernet Sauvignon, Mencía y Merlot) en los que se marcaron las cepas de muestreo.

3. Metodología

Para conseguir el objetivo planteado se ha seguido una metodología estructurada en las siguientes fases: toma de datos, creación de la base de datos georreferenciada, estudio de la variabilidad espacial y estudio de la variabilidad temporal.

3.1. Toma de datos

3.1.1. Diseño de muestreo

El criterio aplicado para la selección de cepas de muestreo consistió en la creación de una malla regular casi rectangular seleccionando una línea de cada diez y dentro de ellas, una cepa de cada veinte. Este método se aplicó para cada una de las parcelas de estudio obteniendo una malla de medidas aproximadas de 20 x 29 m, muestreándose unas 14 cepas/ha. En la tabla 1 se indican las características del muestreo de cepas en cada variedad.

Tabla 1. Características de los muestreos en cada bloque de viña

Variedad	Nº Líneas	Nº Cepas	Área (m2)	Altitud (m)
Cabernet Sauvignon	5	47	30687,9	588,0
Mencía	5	45	32128,0	582,0
Merlot	7	27	19253,7	569,8

3.1.2. Obtención de coordenadas

Las coordenadas de cada cepa se midieron con un par de receptores GPS de precisión centimétrica (marca Topcon, modelo Hiper+) trabajando en tiempo real (Real Time Kinematic –RTK)

La localización de cada cepa puede verse en la figura 1.

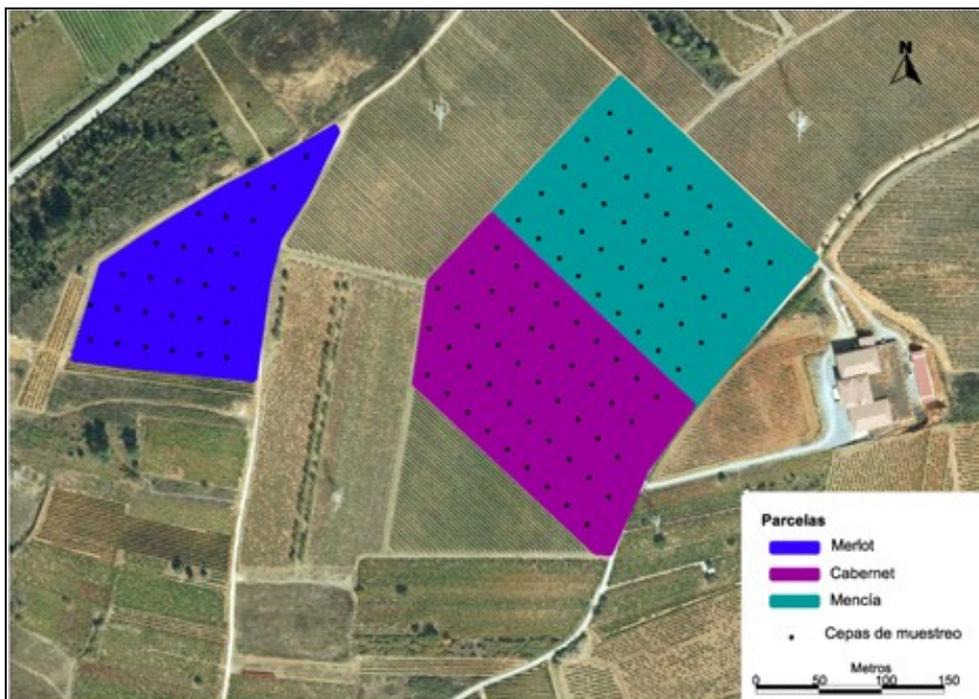


Figura 1. Localización de las parcelas de estudio y cepas de muestreo

[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:

http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

3.1.3. Análisis de mosto y producción

Durante la semana previa a la vendimia (mes de septiembre) de los años 2007, 2008 y 2009 se realizaron análisis de mosto de las uvas seleccionadas para determinar las variables de carácter cualitativo del estudio. Para realizar los análisis se siguieron los métodos oficiales descritos en Reglamento (CEE) N° 2676/90 de la Comisión de 17 de septiembre de 1990, por el que se determinan los métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino. Se tomaron muestras de uvas de cada cepa de las cuales se extrajo el mosto y se analizó el grado alcohólico probable (GAP) y la acidez total (AT).

El GAP es la variable más importante para decidir la época de vendimia ya que indica la cantidad de azúcares reductores presentes en el mosto. Su medición se realiza mediante refractometría.

La AT es la suma de los ácidos valorables del mosto (tartárico, málico y láctico) cuando se llevan a pH neutro. Se mide mediante una valoración con sosa, usando azul de bromotimol como indicador. (Blouin y Guimberteau, 2004).

Para estimar el potencial productivo de los viñedos es necesario conocer variables relacionadas con la producción de uva, para ello se midieron los sarmientos procedentes de las podas de las cepas (mes de diciembre de 2007, 2008 y 2009) y se calculó la longitud media del entrenudo (LME) para cada cepa de estudio, así se conocerá el vigor de la cepa. Una planta con poco vigor tendrá pámpanos delgados, con entrenudos cortos, bayas y hojas pequeñas provocando que su producción de uva sea baja. En una planta

con mucho vigor las características serán opuestas a la anterior, produciendo un mayor peso de las bayas, pero producirá mosto de peor calidad por la dilución de los azúcares y ácidos presentes en el mosto debido a una mayor acumulación de agua en las bayas.

3.2. Creación de la base de datos georreferenciada

Con ayuda del software gvSIG se creó un proyecto en el que se representaron las cepas seleccionadas mediante sus coordenadas obteniendo un archivo en formato shape. Como sistema de referencia de coordenadas se utilizó el EPSG: 25929 (ETRS89/UTMzone29N).

Los valores de las variables de estudio (GAP, AT y LME) se almacenaron en una hoja de cálculo ODF (OpenOffice) este archivo fue transformado al formato dbf (formato usado por el software gvSIG para tablas de datos).

Se añadieron todos los datos de las variables de interés a la capa con la localización de cada cepa mediante unión de tablas, obteniendo así una nueva capa georreferenciada con la información de interés para la viticultura de las parcelas estudiadas.

3.3. Estudio de la variabilidad espacial

La zonificación se realizó utilizando las opciones de rasterización e interpolación del módulo SEXTANTE (Sistema EXTremeño de ANálisis Territorial).

Los semivariogramas se calcularon con el software VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction with ERror) (http://www.usyd.edu.au/agriculture/acpa/software/download_vesper.shtml). Los semivariogramas se ajustaron a funciones de tipo esférico, ya que son los que lograron menores errores en los trabajos previos (Rodríguez-Pérez et al., 2008; González-Fernández et al., 2010). Los parámetros de ajuste se introdujeron en el módulo SEXTANTE para realizar las interpolaciones espaciales mediante krigeado obteniendo una capa raster para cada variable, variedad y año de estudio con un tamaño de celda de 5x5 m. El radio de análisis utilizado fue la distancia máxima entre puntos de muestreo (30m).

A continuación se definieron las categorías para cada criterio de estudio. Dichas categorías deben ser limitadas para poder realizar una detección correcta de las zonas en las que las variables presentan los mayores y menores valores. Se definirán tres categorías para cada variable y variedad (menor, media y mayor) en función de los valores que adopten las variables de estudio. Para hacer la reclasificación se tomaron los valores resultantes del krigeado y se dividieron en tres clases iguales (con la misma amplitud de valor) en función del valor máximo y mínimo que adopte la capa raster de estudio. De esta forma se asegura tener tres categorías siguiendo el mismo criterio para cada caso. A cada pixel se le asignó un nuevo valor en función de la categoría en la que esté englobado. La reclasificación será distinta para cada año, con el fin de disponer de una codificación que permita detectar la evolución de las variables a lo largo de los años de estudio. En la tabla 2 se muestra dicha codificación.

Tabla 2. Asignación de valores a las categorías para cada año de estudio

Año	Categoría		
	Menor	Media	Mayor
2007	1	2	3
2008	10	20	30
2009	100	200	300

3.4. Estudio de la variabilidad temporal

Se elaboraron mapas para cada variable utilizando la calculadora de mapas del módulo SEXTANTE. Para cada variedad se sumaron las capas reclasificadas de los tres años para cada variable y variedad, obteniendo así una nueva capa en la que cada pixel presenta una codificación que permite conocer el potencial productivo de cada parcela durante los tres años. De esta manera se pueden obtener mapas clasificados en cuatro categorías en función de la variabilidad temporal de las variables de estudio.

Tabla 3. Codificación de las categorías en función de la variabilidad temporal.

Categoría	Baja	Media	Alta	Variación
Codificación	111	222	333	112-221 / 223-332

La categoría baja corresponde a los píxeles que durante los tres años de estudio presentan categoría menor, por lo que se corresponde a zonas con poco potencial para la viticultura. Las zonas con categoría media pertenecen a zonas con calificación media para todos los años. La categoría alta incluyen las zonas en las que la variación espacial es mayor en todos los años. Los píxeles que varían su categoría espacial en el tiempo se engloban en la categoría variación.

4. Resultados y discusión

4.1. Análisis estadístico

Se eliminaron los outliers y valores anómalos con el fin de no introducir valores incorrectos que puedan producir errores en el krigeado. Los estadísticos se muestran en la tabla 4. En ella se pueden ver las diferencias entre los valores de las variables para cada variedad. Estas diferencias indican que será necesario establecer categorías y valores distintos en cada variable, año y variedad.

Tabla 4. Estadísticos de las variables y separados por variedades.

		Cabernet			Mencia			Merlot		
		2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
AT	Rango	5	6	5	2,3	7	3,0	2,1	5	3,5
	Mínimo	7,4	12	9	5,4	6	5,5	6,8	9	8,2
	Máximo	12,4	18	14	7,8	13	8,5	8,9	14	11,7
	Media	9,6	14,1	11,1	6,5	8,5	7,0	7,6	10,6	9,6
	Desv.tip	1,198	1,790	1,279	0,573	1,314	0,652	0,593	1,481	0,936
GAP	Rango	2,2	2,3	3,4	5,8	6,1	5,0	2,8	2,1	2,8
	Mínimo	12,2	9,4	11,2	9,1	6,6	10,6	12,3	10,6	13,0
	Máximo	14,4	11,9	14,6	14,9	12,7	15,6	15,2	12,7	15,8
	Media	12,9	10,7	13,1	12,7	10,1	13,7	13,71	11,8	14,4
	Desv.tip	0,488	0,450	0,798	1,314	1,371	1,002	0,651	0,558	0,862
LME	Rango	2,8	3,7	3,5	2,3	2,1	2,2	3,1	4,81	2,4
	Mínimo	5,1	6,3	6,6	2,1	3,9	4,0	5,1	6,4	6,4
	Máximo	7,9	10,0	10,1	4,4	6,1	6,2	8,2	11,1	8,8
	Media	6,6	8,1	8,1	3,6	4,7	5,4	7,1	7,6	7,3
	Desv.tip	0,596	0,998	0,896	0,442	0,453	0,523	0,673	1,079	0,682

GAP: Grado Alcohólico Probable (%vol.); AT: Acidez Total (mg/L de ácido tartárico); LME: Longitud media del entrenado (cm).

También se realizó un estudio de la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, concluyendo que la distribución de los mismos para cada variable, año y variedad es normal, por lo que los datos son adecuados para hacer interpolaciones mediante krigeado.

4.2. Variabilidad espacial

Tras realizar la interpolación mediante la técnica explicada en la metodología, se reclasificaron los píxeles en tres categorías para identificar zonas homogéneas dentro de la parcela.

En la tabla 5 se muestran los intervalos tomados para realizar la reclasificación. En ella se puede ver como la AT del año 2008 para Cabernet es la variable que presenta las mayores diferencias de valores (10-16,9)

mientras que el GAP del 2009 de Mencía presenta las menores diferencias (13-14,3). La variedad que presenta los valores inferiores para todos los años y variables es Mencía, mientras que Cabernet y Merlot muestran sus mayores valores en función de la variable y año de estudio.

Tabla 5. Intervalos tomados en la reclasificación de los píxeles del krigead

			Cabernet			Mencía			Merlot		
			2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
AT	Menor	Desde	7,1	10	8,3	5,5	6	5,5	6,9	8	8,2
		Hasta	8,9	12,3	10	6,6	8	6,8	7,5	10	9,4
	Media	Desde	8,9	12,3	10	6,6	8	6,8	7,5	10	9,4
		Hasta	10,6	14,6	11,7	7,7	10	8,1	8,1	12	10,6
	Mayor	Desde	10,6	14,6	11,7	7,7	10	8,1	8,1	12	10,6
		Hasta	12,4	16,9	13,5	8,8	12	9,5	8,7	14	11,7
GAP	Menor	Desde	12,2	10	12,3	11	9	13	12,8	11	13,4
		Hasta	12,8	10,4	12,8	12,1	9,7	13,4	13,4	11,4	14,1
	Media	Desde	12,8	10,4	12,8	12,1	9,7	13,4	13,4	11,4	14,1
		Hasta	13,4	10,8	13,3	13,2	10,4	13,8	14	11,8	14,8
	Mayor	Desde	13,4	10,8	13,3	13,2	10,4	13,8	14	11,8	14,8
		Hasta	14	11,2	13,8	14,3	11	14,3	14,7	12,2	15,5
LME	Menor	Desde	4,7	6	6,4	2,2	4	4	5,2	6,5	6,4
		Hasta	5,8	7,4	7,6	3,3	5	5	6,2	7,8	7,2
	Media	Desde	5,8	7,4	7,6	3,3	5	5	6,2	7,8	7,2
		Hasta	6,9	8,8	8,2	4,3	6	6	7,2	9,1	8
	Mayor	Desde	6,9	8,8	8,2	4,3	6	6	7,2	9,1	8
		Hasta	8	10,2	10,1	5,3	7	7,1	8,3	10,3	8,8

En la figura 2 se muestra la variación espacial para la variedad Cabernet.

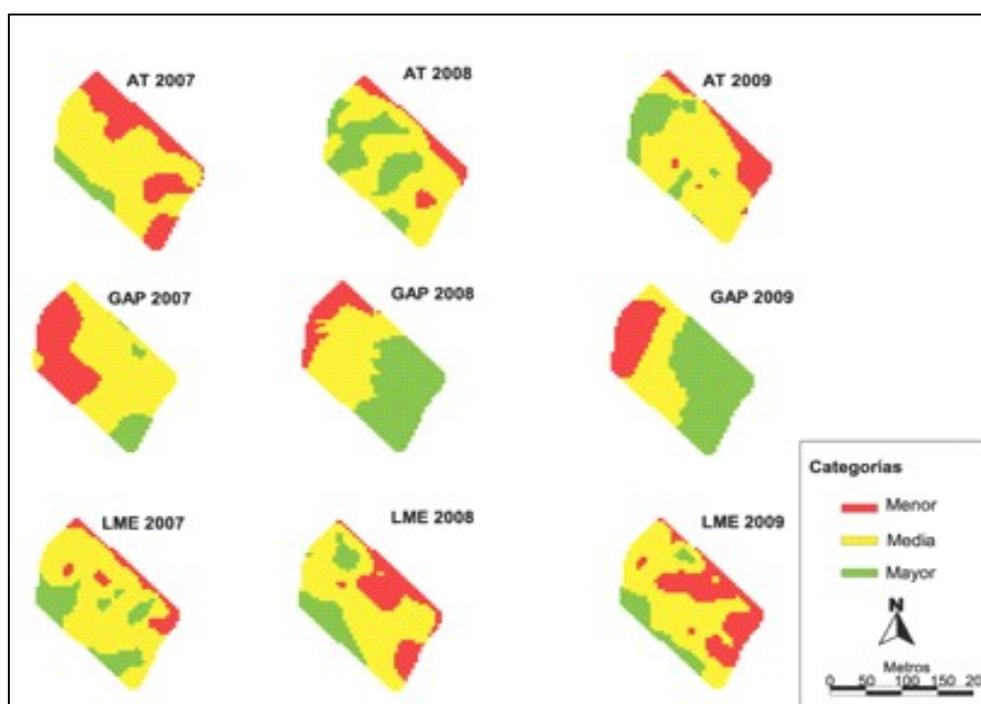


Figura 2. Variación espacial y reclasificación en categorías para la variedad Cabernet S.

En ella se puede observar una clara variación para cada variable y año, siendo más claro en el GAP, ya que en todos los casos muestra los mayores valores en la zona sureste de la parcela, mientras que los menores se dan en la zona noroeste. Esto puede ser debido a la topografía del terreno, ya que la zona noroeste tiene menor altitud a la zona sureste.

En el caso de AT y LME las zonas de mayores valores no están tan bien definidas como en el caso de GAP, pero puede apreciarse una tendencia a mostrar los mayores valores en la zona oeste de la parcela. En ambos casos se muestra los valores menores en la zona oeste de la parcela. Esto puede deberse a la cercanía con la parcela de Mencía y a una competencia por los nutrientes de las dos variedades, ya que Mencía es la variedad mejor adaptada a la zona D.O.Bierzo.

4.3. Variabilidad temporal

En la figura 3 se muestran los resultados para el variable AT.

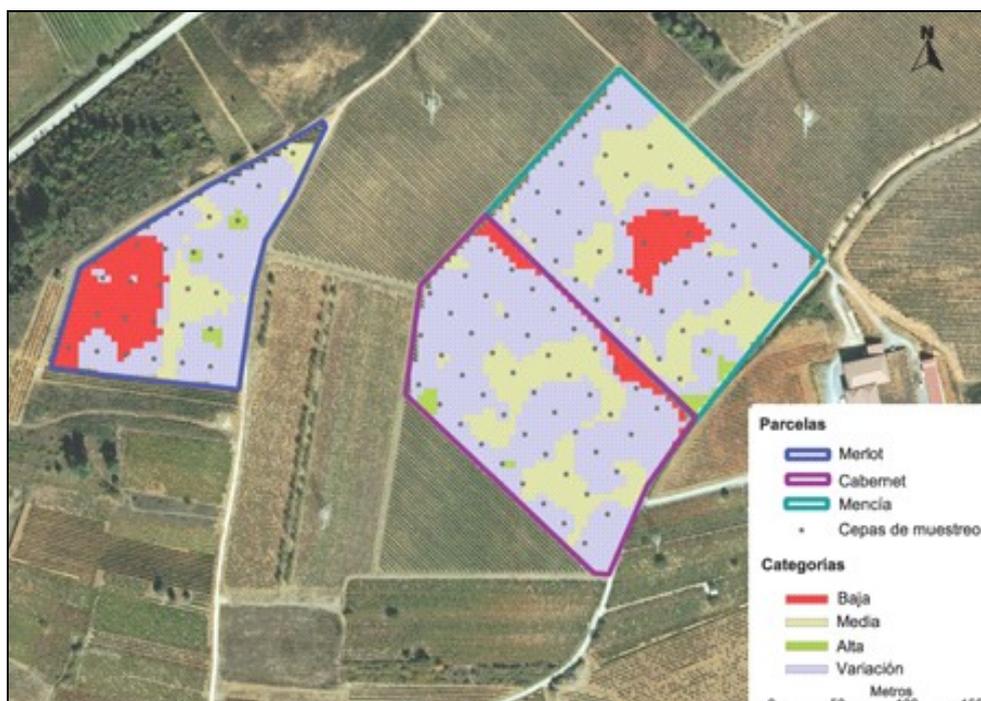


Figura 3. Variabilidad temporal en función de la acidez total (AT).

[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:

http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

Se observa como predominan las zonas en las que el valor de AT varía a lo largo del tiempo. Esto es un indicador de que esta variable se ve muy influenciado por las características ambientales que son variables a lo largo del tiempo.

En la parcela de Merlot se observa una amplia zona situada en el oeste de la parcela con categoría baja, es decir, en la que la AT no es favorable para la producción de vino. Este fenómeno se puede apreciar en una menor extensión en el resto de las parcelas.

En todas las variedades se pueden localizar zonas con valores medios y altos que indican que las parcelas tienen potencial para lograr aumentar el nivel de AT.

En la figura 4 se muestra la variabilidad temporal para el GAP. Se puede ver que en Merlot existe una zona de categoría alta (Oeste) que se corresponde con la zona de categoría baja del AT. Esto se debe a que cuando la baya madura acumula azúcares (aumenta el GAP), pero los ácidos presentes en la misma se consumen por respiración de la planta (disminuye AT). También se observan zonas de categoría alta en el resto de las parcelas que indica que la parcela tiene potencial para producir mosto de mayor GAP, y por tanto mayor calidad.

También se observa una amplia zona en el noroeste de la parcela de Cabernet, que presenta bajo GAP.

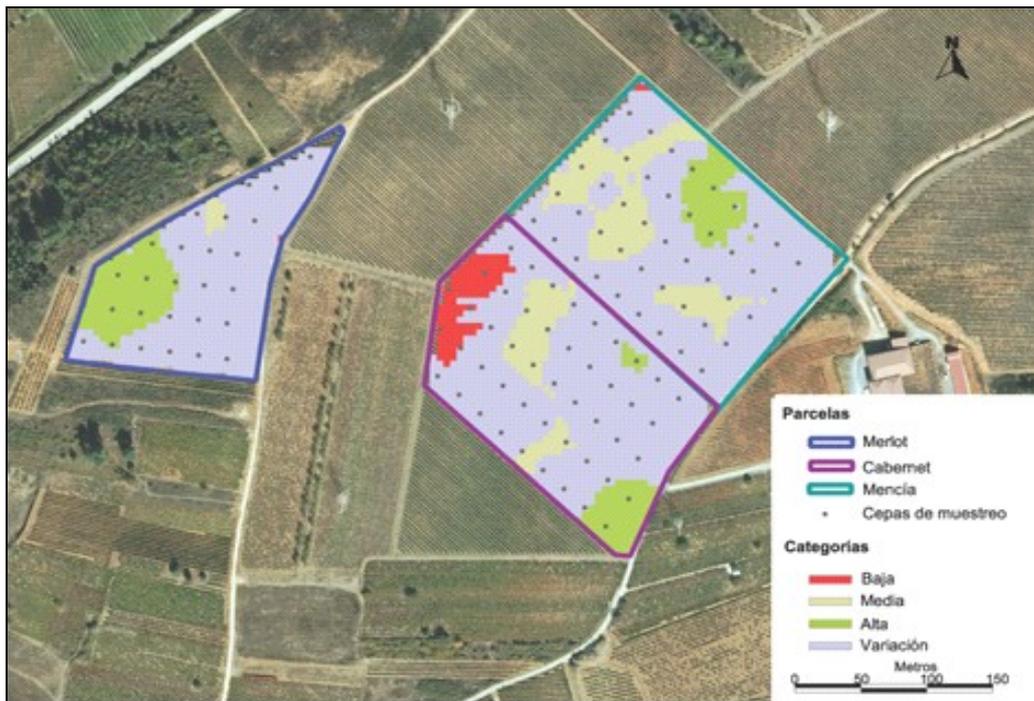


Figura 4. Variabilidad temporal en función del grado alcohólico probable (GAP).

[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:

http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

En la figura 5 se muestran los resultados para la LME.

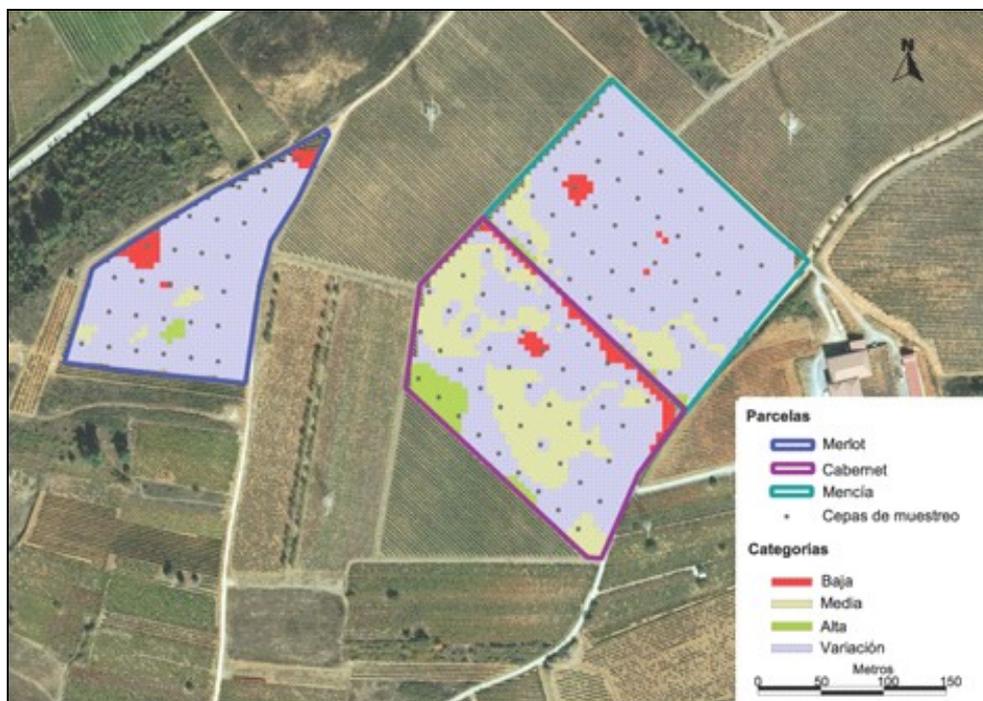


Figura 5. Variabilidad temporal en función de la longitud media del entrenudo (LME).

[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:

http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

Esta variable está muy influenciada por condiciones externas, ya que en la parcela se realizan podas en verde, que varía los valores reales del LME. En la zona noreste de la parcela de Cabernet se observa una clasificación baja debida a la competencia por los nutrientes con la variedad Mencía comentada anteriormente. Esta competencia se observa ahora de forma más clara, ya que la parcela de Mencía presenta en la zona limítrofe a Cabernet la categoría alta.

En todas las variedades se aprecia que no existen zonas constantes con la suficiente amplitud como para ser estudiadas. Deben suprimirse las podas en verde en las parcelas para conseguir resultados satisfactorios utilizando esta variable.

En todos los casos se deben estudiar los factores que producen las zonas de categorías alta para exportarlas al resto de las parcelas y así mejorar la producción. También deben estudiarse los factores que producen las zonas de baja categoría para poder corregirlos y optimizar su potencial para la viticultura

5. Conclusiones

Mediante este trabajo se ha estudiado la variabilidad temporal y espacial de variables relacionadas con la calidad y producción y localizar zonas en las que las variables de estudio permanecen constantes en el tiempo dentro de una parcela mediante el uso de herramientas SIG. Para realizar esta zonificación se utilizaron variables de calidad (GAP y AT) y variables de vigor de la cepa (LME).

Los viticultores suelen realizar análisis para determinar las variables estudiadas antes de realizar la vendimia, por lo que la implantación de este sistema no implicaría trabajo extra ni incrementaría los costes, ya que el software utilizado es gratuito.

Los mejores resultados se obtuvieron para las variables cualitativas en la parcela de Merlot, en la que se puede apreciar una amplia zona en el oeste de la parcela en la que el GAP presenta categoría alta mientras que el AT muestra categoría baja. Esta misma zonificación se puede apreciar en la zona centro de la parcela de Mencía, aunque su extensión es menor.

En la parcela de Cabernet la variable que muestra los mejores resultados es el GAP, ya que la localización de las zonas de alto, medio y bajo potencial permanecen estables a lo largo del tiempo, mientras que el AT muestra zonas con una mayor variación.

El LME no dio resultados satisfactorios en ninguna de las variedades ya que está muy influenciado por la realización de podas en verde y las zonas delimitadas no presentan una extensión suficiente como para ser estudiadas. Se recomienda suprimir este tipo de labores para poder obtener buenos resultados usando este parámetro.

Cada una de las zonas delimitadas en el análisis podrán ser tratada con técnicas vitícolas diferenciadas y estudiadas para corregir las características de las zonas que presentan un menor potencial vitícola y así conseguir los objetivos de producción de la bodega, ya que al permanecer estables en el tiempo no están influidas por las condiciones externas al terreno y se puede actuar sobre el mismo para optimizar el potencial vitícola.

6. Referencias Bibliográficas

Blouin, J., Guimberteau, G. (2004), *Maduración y madurez de la uva*, Madrid, Editorial Mundi-Prensa.

Bohle, C., Maturana, S., Vera, J. (2008), "A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling", *European Journal of Operational Research*, 200 (1), p. 245-252.

Bramley, R.G.V. Williams, S.K. (2001), "A protocol for the construction of yield maps from Bramley, R.G.V. Hamilton, R.P. (2004), "Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages", *Australian Journal of Grape and Vine Research*, 10 (1), p. 32-45.

Bramley, R.G.V. (2005), "Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages", *Australian Journal of Grape and Vine Research*, 11, p. 33-42.

Carey, V., Saayman, D., Archer, E., Barbeau, G., Wallace, M. (2008), "Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. I. The identification of natural terroir units", *International Journal of Vine and Wine Sciences*, 42 (4), p. 169-183.

De Andres-De Prado, R., Yuste-Rojas, M., Sort, X., Andres-Lacueva, C., Torres, M., Lamuela-Raventos, R.M. (2007), "Effect of soil type on wines produced from *vitis vinifera* L. Cv. Grenache in Commercial Vineyards", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55 (3), p. 779-786.

Esser, A., Ortega, R. (2002), "Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile: Estudio de casos", *Agronomía y forestal UC*, 17, p. 17-21.

Esser, A., Ortega, R., Santibáñez, O. (2002), "Viticultura de precisión: Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas", *Agronomía y forestal UC*, 15, p. 4-9.

Flores, L.A (2005), "Variabilidad espacial del rendimiento de uva y calidad del mosto en cuarteles de vid cv.Cabernet Sauvignon y Chardonnay en respuesta a la variabilidad de algunas propiedades del suelo", *Agricultura Técnica*, 62 (2), p 210-220.

González-Fernández, A.B., Catanzarite, T., Rodríguez-Pérez, J.R (2010), "Una metodología apoyada en SIG para el seguimiento vitícola y la delimitación de zonas homogéneas de vendimia en la D.O. Bierzo (León-España.)" *Geofocus*, 10, p. 185-207 <http://geofocus.rediris.es/principal.html> fecha consulta: Octubre 2010.

Marchevsky, P.L. (2005), "Viticultura de precisión", *ACE Revista de Enología*, 63. <http://www.acenologia.com/dossier73.htm> fecha consulta: Octubre 2010.

Matese, A., Di Gennaro, S.F., Zaldei, A., Genesio, L., Vaccari, F.P., (2009), "A wireless sensor network for precision viticulture: the NAV system", *Computers and Electronics in Agriculture*, 69, p. 51-58.

Morais, R., Fernandes, M.A., Matos, S.G., Serôdio, C. (2008), "A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture", *Computers and Electronics in Agriculture*, 62, p. 94-106.

Rodríguez-Pérez, J.R., Álvarez, M.F., Peters, S. (2008), "Aplicación de los SIG para determinar la variabilidad espacial de variables de calidad del mosto de uva. Experiencia en la D.O. Bierzo", *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*, 1, (1). p. 412-423.

http://age.ieg.csic.es/metodos/gran_canaria08/ponencia_2/Rodriguez%20Perez%20et%20al.pdf fecha consulta: Septiembre 2010.

Sort, X., Ubalde, J.M. (2005), "Aspectos de viticultura de precisión en la práctica de la fertilización razonada" *ACE Revista de Enología*, 63

http://www.acenologia.com/ciencia73_1.htm fecha consulta: Octubre 2010.