

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VARIABLES VITIVINÍCOLAS MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Ana Belén González-Fernández

Víctor Marcelo Gabella

José Benito Valenciano Montenegro

José Ramón Rodríguez-Pérez

GI202 (GEOINCA). Universidad de León. Campus de Ponferrada

Abstract

A method based on GIS (geographic information systems) has been implemented for monitoring the spatial and temporal variations of related variables to quality and quantity of grape juice.

Samples were taken to determine the quality of the must, the total weight of the grapes and vegetative vigor during four wine years of 161 samples of four plots of vines (Cabernet S., Mencia, Merlot and Tempranillo). Correlations were reached for data using statistical software and sampled data were interpolated by kriging to the rest of the plot, allowing to know the spatial and temporal variability of the variables in each plot during the years of study.

The results are different depending on the variety and the parameter study. The most stable was for the GAP of the Cabernet, while the least stable were vigor for all plots. Tempranillo is the major change that reflects a downward adjustment because of the variety to the study area.

Keywords: *Kriging, spatial and temporal variations, viticulture.*

Resumen

Mediante este trabajo se ha implementado un método basado en sistemas de información geográfica (SIG) para el seguimiento de la variación espacio-temporal de variables relacionados con la calidad y cantidad de mosto.

Se realizaron muestreos para determinar la calidad del mosto, el peso total de las uvas y el vigor vegetativo de las cepas durante cuatro campañas vitivinícolas de 161 cepas de cuatro parcelas de vid (Cabernet S., Mencia, Merlot y Tempranillo). Se buscaron correlaciones de los datos utilizando software estadístico y se interpolaron los datos muestreados mediante krigeado al resto de la parcela, permitiendo conocer la variabilidad espacial y temporal de las variables en cada parcela durante los años de estudio.

Los resultados obtenidos son diferentes en función de la variedad y el parámetro de estudio. Los más estables fueron para el grado alcohólico probable (GAP) de la variedad Cabernet, mientras que, los menos estables se dieron en el caso del vigor vegetativo para todas las parcelas. La variedad Tempranillo es la que refleja una mayor variación debido a la baja adaptación de la variedad a la zona de estudio.

Palabras clave: *krigeado, variación espacio-temporal, viticultura.*

1. Introducción

Para conseguir los objetivos productivos de una bodega, es necesario gestionar de manera adecuada las entradas (fertilizantes, agua, fitosanitarios, etc.) y salidas (uvas) que se producen en la misma (Bramley & Hamilton, 2004). Este trabajo no es sencillo, ya que las características cualitativas y cuantitativas de una misma parcela son heterogéneas, aunque las características ambientales, culturales y varietales de la viña sean idénticas. Por ello se hace necesario realizar zonificaciones *intraparcelarias* que permitan definir bloques homogéneos dentro de la viña en función de la calidad del mosto y la cantidad de uva producida en cada zona y así poder actuar en cada bloque individualmente para optimizar los beneficios de la bodega.

Una forma de realizar estas zonificaciones *intraparcelarias* es realizando microvinificaciones, ya que existe una fuerte relación directa entre variables que definen la calidad del mosto y los vinos elaborados con él (pH, acidez total, grado alcohólico, etc.) y variables medidas en el suelo como pH, nitrógeno, etc. (de Andrés-de Prado et al., 2007). El inconveniente es el alto coste por la necesidad de disponer de instalaciones y material para llevarlas a cabo, además de la falta de homogeneidad en los resultados en función de las técnicas de elaboración.

Otras técnicas más eficaces se basan en la viticultura de precisión (VP). Esta técnica combina el conocimiento del comportamiento de la vid con el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Monitores de Rendimiento, Teledetección e instrumentos y maquinaria especializada, para la optimización de la producción de uvas de mayor calidad (Marchevsky, 2005).

Para implementar un sistema de VP es necesario recoger datos durante varias campañas vitícolas para obtener los resultados esperados por el viticultor y verificar el sistema. Existen trabajos previos en los que se demuestra la validez de este sistema (Bohle, Maturana & Vera, 2010; Morais et al., 2008; Matese, et al., 2009; Carey et al., 2008; Ubalde & Sort, 2005). Además es indispensable disponer de datos fiables sobre la topografía del terreno, estado vegetativo y sanitario de las cepas, etc., así como información sobre la producción. Al disponer de datos de varios años sobre las mismas variables y la misma zona de estudio se descartan los factores puntuales que condicionan la cosecha de una campaña concreta (climatología, enfermedades, etc.). Siguiendo estos protocolos se han desarrollado trabajos de elaboración de mapas de maduración y calidad de uva (Bramley, 2005), caracterización de suelos (Flores, 2005), rendimiento de uva (Esser, Ortega & Santibañez, 2002) y variables de calidad de la uva y suelos (Esser & Ortega, 2002).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo fue la implementación de un método basado en sistemas de información geográfica (SIG) que permita realizar un seguimiento de la variación espacio-temporal de variables relacionados con la calidad y cantidad de mosto.

De esta forma se realizó una zonificación intraparcela para cada año de estudio en función de cada variable y se estudió la variabilidad global de cada parcela y cada variable para poder actuar en cada bloque individualmente y así optimizar los beneficios de la bodega.

3. Metodología

3.1. Zona de estudio

Las cuatro parcelas de estudio pertenecen a la empresa Ribas del Cúa S.A., localizada en Cacabelos (D.O. Bierzo) entre las coordenadas 4720400(N), 4719500(S), 687600(O) y 688800(E) (Coordenadas ETRS89/UTMzone29N). Cada parcela pertenece a una variedad distinta, en las que sus cepas están formadas en espaldera con un marco de plantación de 2,80 m entre líneas y 1,10 m entre cepas.

3.2. Toma de datos

3.2.1. Diseño de muestreo

Para seleccionar las cepas de muestreo se creó una malla regular rectangular de medidas 20 x 29 m. De este modo se seleccionó una línea de cada diez y dentro de ellas, una cepa de cada veinte, muestreándose unas 14 cepas/ha.

En la tabla 1 se indican las características del muestreo de cepas en cada variedad.

Tabla 1: Características de las parcelas de estudio

Variedad	Nº Líneas	Nº Cepas	Superficie (m ²)	Perímetro (m)
Mencia	5	45	32128	729.2
Cabernet Sauvignon	5	47	30687.9	716.7
Merlot	7	27	19253.7	660.5
Tempranillo	8	43	29455.4	749.3

3.2.2. Obtención de coordenadas

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

3.2.3. Análisis de mosto y producción

El estudio se realizó con datos tomados durante los años 2007, 2008, 2009 y 2010.

Para las variables cualitativas se tomaron muestras de 200 uvas de cada cepa durante la semana anterior a la vendimia de los años de estudio (mes de septiembre) con las que se realizó mosto y se analizó el grado alcohólico probable (GAP) y la acidez total (AT). Estas variables indican la calidad del mosto.

Para realizar los análisis se siguieron los métodos oficiales descritos en Reglamento (CEE) Nº 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.

El GAP es el parámetro más importante para decidir la época de vendimia ya que es una estimación del contenido de azúcar fermentable de la baya. El contenido en glúcidos de la uva (y la relación glucosa/fructosa) condicionará los procesos fermentativos para la obtención del vino. La mayor concentración de azúcares en la baya se da en el momento en que finaliza la maduración y es cuando debe ser recolectada. Se determinó mediante refractometría que es una medida basada en la desviación de la luz por refracción.

La AT es la suma de los ácidos valorables del mosto (tartárico y málico) cuando se llevan a pH neutro. Estos ácidos determinan las características organolépticas del vino. Estos ácidos

se acumulan en el envero, pero su concentración disminuye durante la maduración debido a una acumulación de agua en la baya y al consumo de estos ácidos en la respiración de la planta. Para determinar la AT se realizó una valoración ácido-base utilizando hidróxido sódico (0,1 N) y Azul de Bromotimol (0,4 %) como indicador. Los resultados se expresan en g/L de ácido tartárico.

También es necesario conocer el vigor de las cepas de muestreo, ya que indica el grado de equilibrio de la cepa. Una cepa poco vigorosa tendrá pámpanos con entrenudos cortos, bayas y hojas pequeñas y una producción de uva baja. Las plantas muy vigorosas tienen características opuestas a la anterior, produciendo un mayor peso de las bayas, pero este peso se debe a una mayor acumulación de agua y la calidad del mosto se verá reducida por la dilución de los compuestos responsables de la calidad. Para la determinación del vigor se midieron los sarmientos recogidos en las podas realizadas durante el mes de diciembre de los años de estudio en las cepas (no se disponen de datos del año 2010) y se calculó la longitud media del entrenudo (LME).

El estudio de las variables cualitativas y cuantitativas en conjunto indica el potencial productivo de la parcela.

3.3. Creación de la base de datos georreferenciada

Para la creación de la base de datos georreferenciada se utilizó el software gvSIG. Se creó un archivo en formato shape en el que se representaron las cepas seleccionadas mediante sus coordenadas utilizando el sistema de referencia EPSG: 25929 (ETRS89/UTMzone29N).

Los valores de las variables de estudio se almacenaron en una hoja de cálculo, este archivo fue transformado al formato dbf, ya que es el utilizado por el software gvSIG para adjuntar tablas de datos. Mediante el comando *unir tablas*, se añadieron los datos de las variables de interés a la capa de localización de cepas, obteniendo así una nueva capa georreferenciada con la información necesaria para desarrollar el estudio.

3.4. Estudio de la variabilidad espacial

Para realizar la zonificación intraparcela se utilizó el módulo SEXTANTE (Sistema EXTremeño de ANálisis Territorial), integrado en el software gvSIG.

Para calcular los semivariogramas se tuvieron en cuenta trabajos previos realizados en la misma zona de (Rodríguez-Pérez et al., 2008 y González-Fernández, Torres & Rodríguez-Pérez, 2010). Se utilizó el software VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction with ERror) (http://www.usyd.edu.au/agriculture/acpa/software/download_vesper.shtml), ya que SEXTANTE no permite su cálculo y se ajustó a funciones de tipo esférico. Los parámetros de ajuste obtenidos se introdujeron en la opción krigeado del módulo SEXTANTE para realizar las interpolaciones espaciales 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 (60m), ya que aunque la distancia máxima en el marco de plantación es de 29m, se han eliminado puntos (outliers) en el análisis estadístico, que hace necesario doblar esa distancia para poder realizar de forma correcta los krigeados.

Para definir las categorías y asignar los valores cuantitativos a cada una de ellas se definieron tres clases iguales (misma amplitud de valor) en función del valor máximo y mínimo que adopte la capa raster de estudio. Se definieron tres categorías (mayor, media y menor) para cada variable, parcela y año de estudio. Con estas variables se pudo realizar una reclasificación de la capa en la que a cada pixel se le asignó un nuevo valor en función de la categoría en la que esté englobado. 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 además de poder tener una aplicación para el viticultor, por lo que no es recomendable poner demasiadas categorías. De esta forma se asegura tener tres categorías siguiendo el mismo criterio para cada caso. 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. No se pueden establecer valores fijos para diferenciar cada categoría, puesto que estos variarán en función de cada variedad, época de muestreo o campaña vitícola. En la Tabla 2 se muestra dicha codificación.

Tabla 2: Reclasificación de la los krigeados en función del año de estudio

Año	Categoría		
	Menor	Media	Mayor
2007	1	2	3
2008	10	20	30
2009	100	200	300
2010	1000	2000	3000

3.5. Estudio de la variabilidad temporal

Para realizar la integración de los criterios se utilizó la calculadora de mapas del módulo SEXTANTE. De esta forma se sumaron las capas previamente reclasificadas para los cuatro años de estudio (tres en el caso de la productividad) superponiendo cada pixel de 5x5m obteniendo así una capa que permite conocer el potencial productivo de la parcela durante todos los años.

En la categoría *baja* se engloban los píxeles que durante todos los 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*. Los intervalos que integra cada categoría pueden verse en la Tabla 3.

Tabla 3: Codificación de la variabilidad temporal en función de la variable de estudio

Categoría	Baja	Media	Alta	Variación
Codificación LME	111	222	333	112-221 / 223-332
Codificación GAP y AT	1111	2222	3333	1112-2221 / 2223- 3332

Cada uno de estos bloques podrá ser tratado de forma distinta para optimizar los objetivos de la bodega. Además se puede estudiar las características de los bloques de mayor potencial para tratar de extrapolarlas al resto de la parcela

4. Resultados

4.1. Análisis estadísticos

Se realizó un análisis estadístico de los datos para todas las variables e estudio y se eliminaron los valores anómalos (outliers) para no cometer errores en el krigeado.

También se realizó un estudio de la normalidad de los datos aplicando el test de Kolmogorov-Smirnov, concluyendo que todos los datos siguen una distribución de tipo *normal*, por lo que son aptos para realizar interpolaciones, pero el debido a la naturaleza de los mismos y a la diferencia de rango entre variables y variedades es necesario establecer categorías diferentes en función de la variable de estudio, variedad y año.

4.2. Variabilidad espacial

La ubicación de las parcelas de estudio y la localización las cepas de muestreo 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

Una vez realizados los krigeados tal y como se describen en la metodología se reclasificaron los píxeles en tres categorías en función de la variable, variedad y año de estudio, pero siguiendo el criterio de reclasificación descrito en el apartado 3.4, para localizar zonas homogéneas dentro de la parcela. No se disponen de datos para el LME del año 2010, por lo que este año será analizado únicamente desde el punto de vista cualitativo.

En la Tabla 4 se muestran los intervalos tomados para realizar la reclasificación. En ella se corrobora la necesidad de establecer distintas categorías en función de la variable, variedad y año de estudio. Esta necesidad se puede ver claramente en la AT de Cabernet del año 2010, que varía entre 6,2 y 10,4, mientras que esa variable en la misma variedad pero el año 2008 varía entre 10 y 16,9.

Tabla 4: Intervalos de codificación en función de la variabilidad espacial para cada variable de estudio, año y variedad

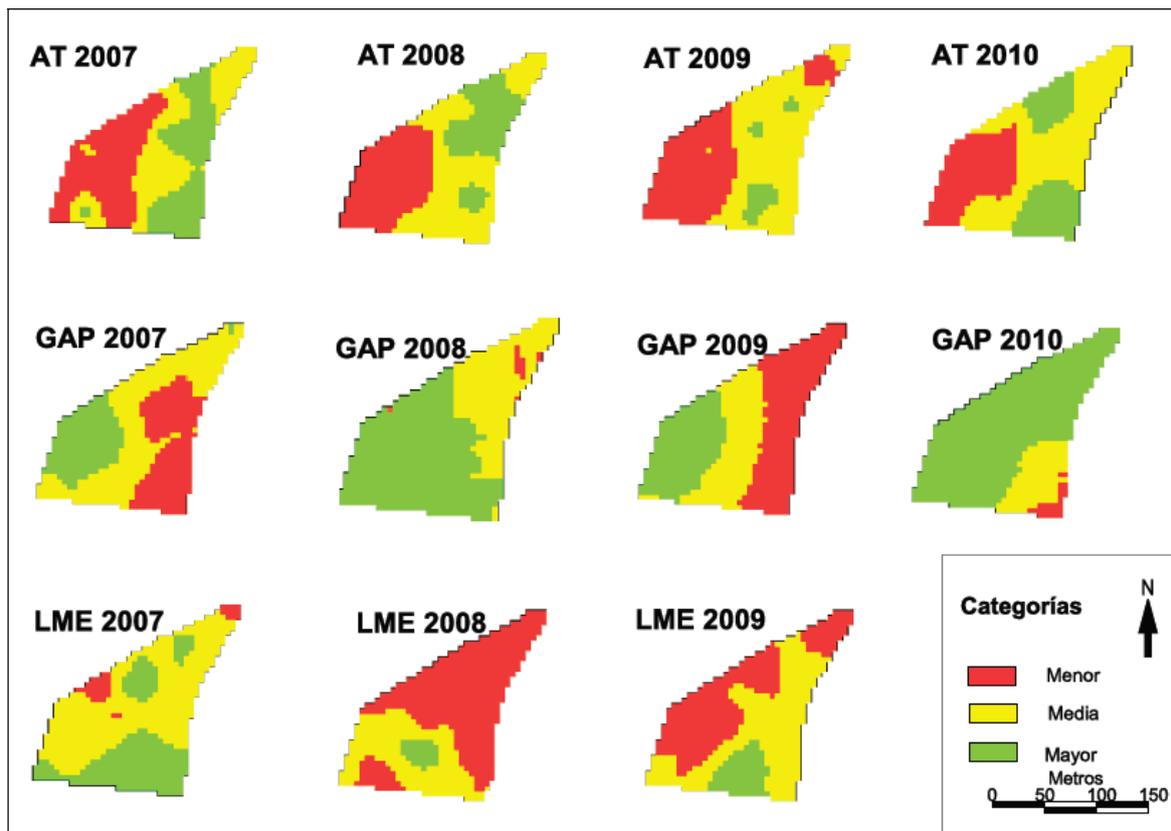
	Año		AT			GAP			LME		
			Menor	Media	Mayor	Menor	Media	Mayor	Menor	Media	Mayor
Cabernet	2007	Desde	7,1	8,9	10,7	12,2	12,8	13,4	4,7	5,8	6,9
		Hasta	8,9	10,7	12,5	12,8	13,4	14,0	5,8	6,9	8,0
	2008	Desde	10,0	12,3	14,6	10,0	10,4	10,8	6,0	7,4	8,8
		Hasta	12,3	14,6	16,9	10,4	10,8	11,2	7,4	8,8	10,2
	2009	Desde	8,3	10,0	11,7	12,3	12,8	13,3	6,4	7,6	8,2
		Hasta	10,0	11,7	13,5	12,8	13,3	13,8	7,6	8,2	10,1
	2010	Desde	6,2	7,6	9,0	12,0	12,4	12,8	---	---	---
		Hasta	7,6	9,0	10,4	12,4	12,8	13,2	---	---	---
Mencia	2007	Desde	5,5	6,6	7,7	11	12,1	13,2	2,2	3,3	4,3
		Hasta	6,6	7,7	8,8	12,1	13,2	14,3	3,3	4,3	5,3
	2008	Desde	6,0	8,0	10,0	9,0	9,7	10,4	4,0	5,0	6,0
		Hasta	8,0	10,0	12,0	9,7	10,4	11,0	5,0	6,0	7,0
	2009	Desde	5,5	6,8	8,1	13,0	13,4	13,8	4,0	5,0	6,0
		Hasta	6,8	8,1	9,5	13,4	13,8	14,3	5,0	6,0	7,1
	2010	Desde	4,4	5,4	6,4	11,9	12,4	12,9	---	---	---
		Hasta	5,4	6,4	7,4	12,4	12,9	13,4	---	---	---
Merlot	2007	Desde	6,9	7,5	8,1	12,8	13,4	14,0	5,2	6,2	7,2
		Hasta	7,5	8,1	8,8	13,4	14,0	14,7	6,2	7,2	8,3
	2008	Desde	8,0	10,0	12,0	11,0	11,4	11,8	6,5	7,8	9,1
		Hasta	10,0	12,0	14,0	11,4	11,8	12,2	7,8	9,1	10,3
	2009	Desde	8,2	9,4	10,6	13,4	14,1	14,8	6,4	7,2	8,0
		Hasta	9,4	10,6	11,7	14,1	14,8	15,5	7,2	8	8,8
	2010	Desde	5,5	6,5	7,5	12,8	13,1	13,4	---	---	---
		Hasta	6,5	7,5	8,5	13,1	13,4	13,8	---	---	---
Tempranillo	2007	Desde	6,9	8,8	10,7	11,3	12,2	13,1	6,7	7,8	8,9
		Hasta	8,8	10,7	12,6	12,2	13,1	14,0	7,8	8,9	10,1
	2008	Desde	7,7	9,4	11,1	10,2	10,9	11,6	8,9	10,1	11,3
		Hasta	9,4	11,1	12,8	10,9	11,6	12,4	10,1	11,3	12,5
	2009	Desde	6,3	7,5	8,7	13,0	13,5	14,0	7,8	9,2	10,6
		Hasta	7,5	8,7	9,9	13,5	14,0	14,5	9,2	10,6	11,9
	2010	Desde	4,9	6,0	7,1	12,4	12,8	13,2	---	---	---
		Hasta	6,0	7,1	8,2	12,8	13,2	13,7	---	---	---

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

También se puede ver que la variable que presenta intervalos de reclasificación mayores es la AT del año 2008 para Cabernet (10-16,9) mientras que el GAP del 2010 de Merlot presenta las menores diferencias (12,8-13,8). Mencía es la variedad que presenta los valores inferiores para todos los años, mientras que Cabernet, Merlot y Tempranillo muestran sus mayores valores en función de la variable y año de estudio. Esto se debe exclusivamente a características de la variedad de estudio.

En la Figura 2 se muestra el resultado de aplicar la reclasificación para la variedad Merlot.

Figura 2: Variación espacial reclasificada de la variedad Merlot



En ella se observa una variación para cada variable y año siendo más notable para las variables cualitativas.

Para la AT se ve como la zona oeste de la parcela presenta los valores *menores* mientras que en la zona este se localizan los *mayores* valores. El GAP muestra la tendencia inversa a la AT, localizándose los valores *mayores* en la zona Este y los *menores* en el Oeste de la parcela. Esto es lo esperado puesto que una mayor acumulación de azúcares en la baya (mayor GAP) implica una menor concentración de ácidos (menor AT) y viceversa.

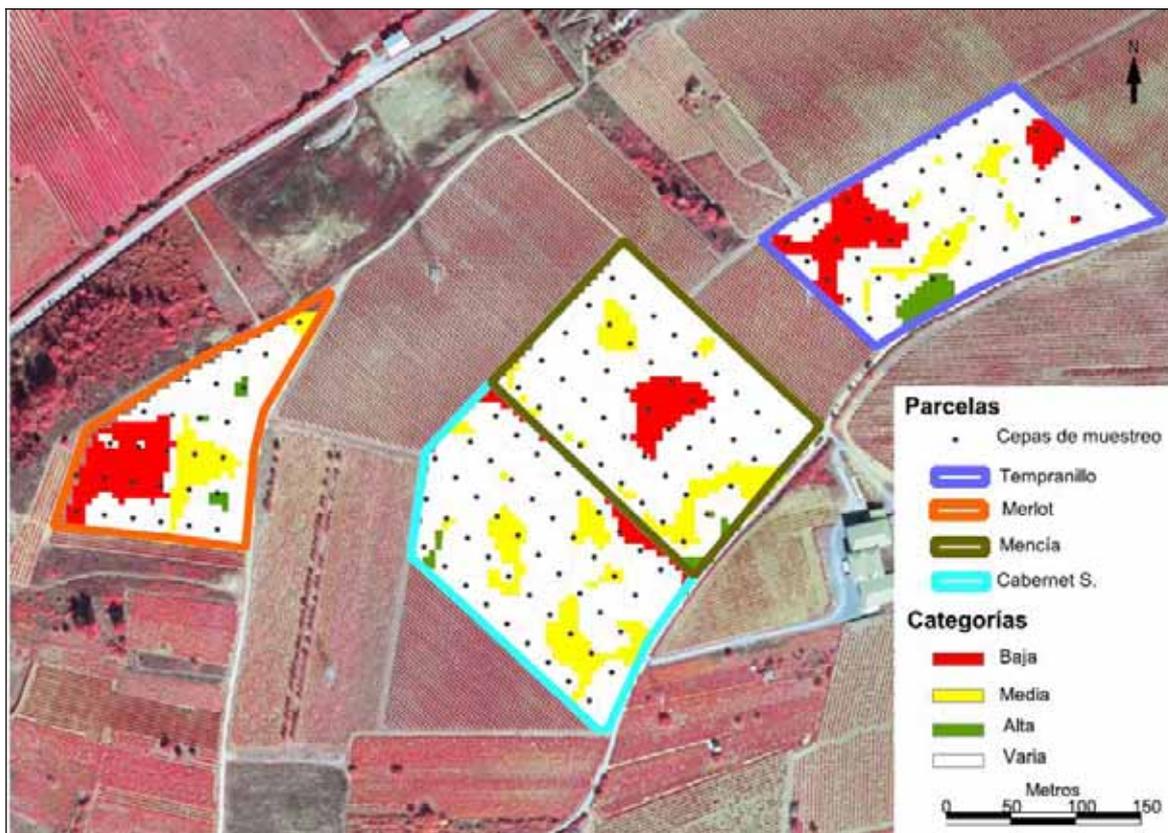
En el caso de la variable de producción (LME) no se muestra una tendencia clara a mostrar los *mayores* o *menores* valores en zonas concretas de la parcela, pero se puede distinguir como la tendencia es que muestre los valores menores en la zona Noroeste. Falta de homogeneidad puede ser debida a la realización de podas en verde, que influyen sobre las muestras de poda recogidas en la parcela falseando los resultados.

4.3. Variabilidad temporal

Se realizó el sumatorio de mapas como se indica e la metodología. Se detectaron problemas a la hora de aplicar escala de color directamente sobre la capa raster resultante de la suma, por lo que se *vectorizaron* las capas raster a vectoriales de polígonos mediante el módulo SEXTANTE y se aplicó la *simbología* de color deseada en función de la codificación de cada polígono resultante.

En la Figura 3 se muestra la variación temporal para la AT.

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



[Sobre ortofotografía en falso color infrarrojo facilitada por el ITACyL:
http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html

En esta variable de estudio predominan las zonas en las que los valores de AT varían a lo largo del tiempo. Esto indica que la AT está muy influenciada por características ambientales que son variables en cada año.

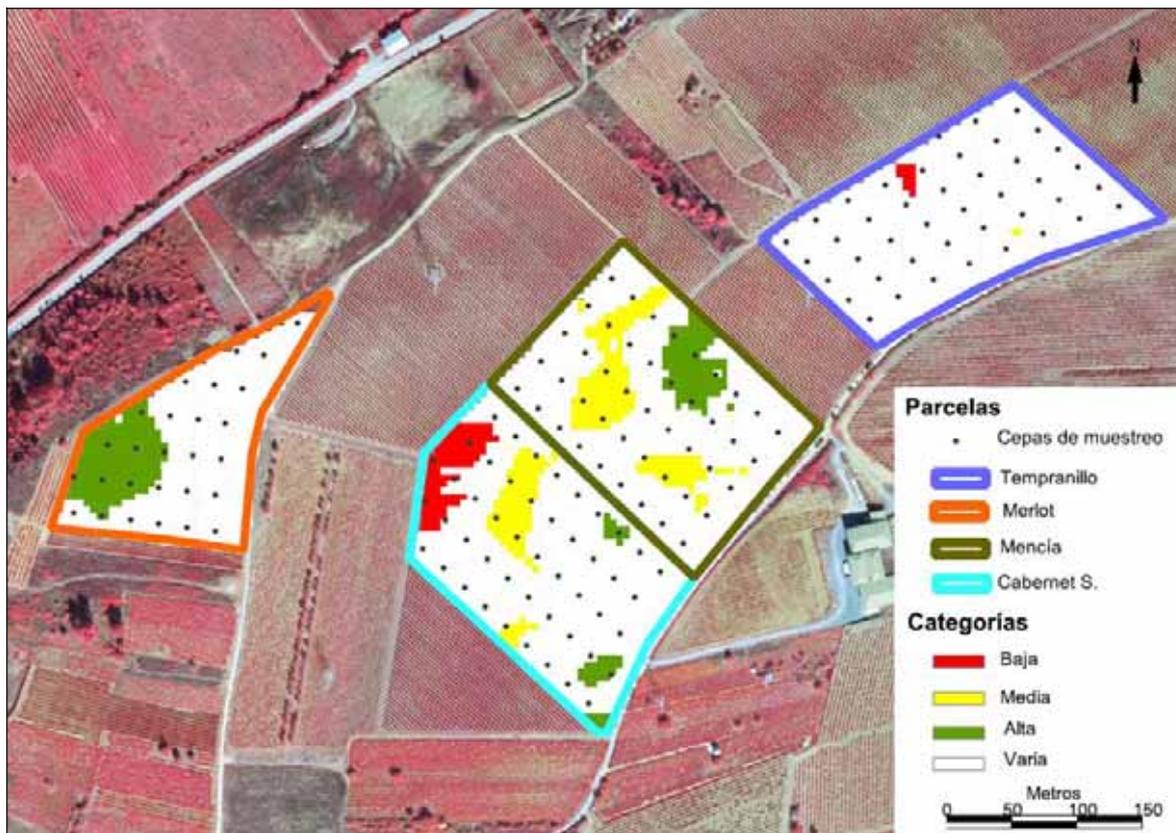
Como se indicó en el apartado anterior, la parcela de Merlot muestra una zona localizada al oeste de la parcela con categoría *baja*, es decir, en la que la AT no es adecuada para la producción de vino de calidad, mientras que el resto de la parcela muestra una gran variabilidad. Al ser constante a lo largo del tiempo, esta menor categoría indica que se debe a condiciones del terreno de la parcela y no a características externas a la parcela.

Esta categoría *baja* también se observa en el resto de las parcelas, siendo muy notable en Tempranillo, que es la variedad menos adaptada a la zona de cultivo.

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

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



[Sobre ortofotografía en falso color infrarrojo facilitada por el ITACyL:

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

En esta variable se corrobora la relación inversa anteriormente citada del GAP y la AT, ya que en la zona oeste de la parcela de Merlot mantiene una categoría *alta* para el GAP, que coincide con la categoría *baja* de la AT. También se observan zonas de categoría *alta* en el resto de las parcelas que muestra el potencial de la misma para producir mosto de mayor gran calidad.

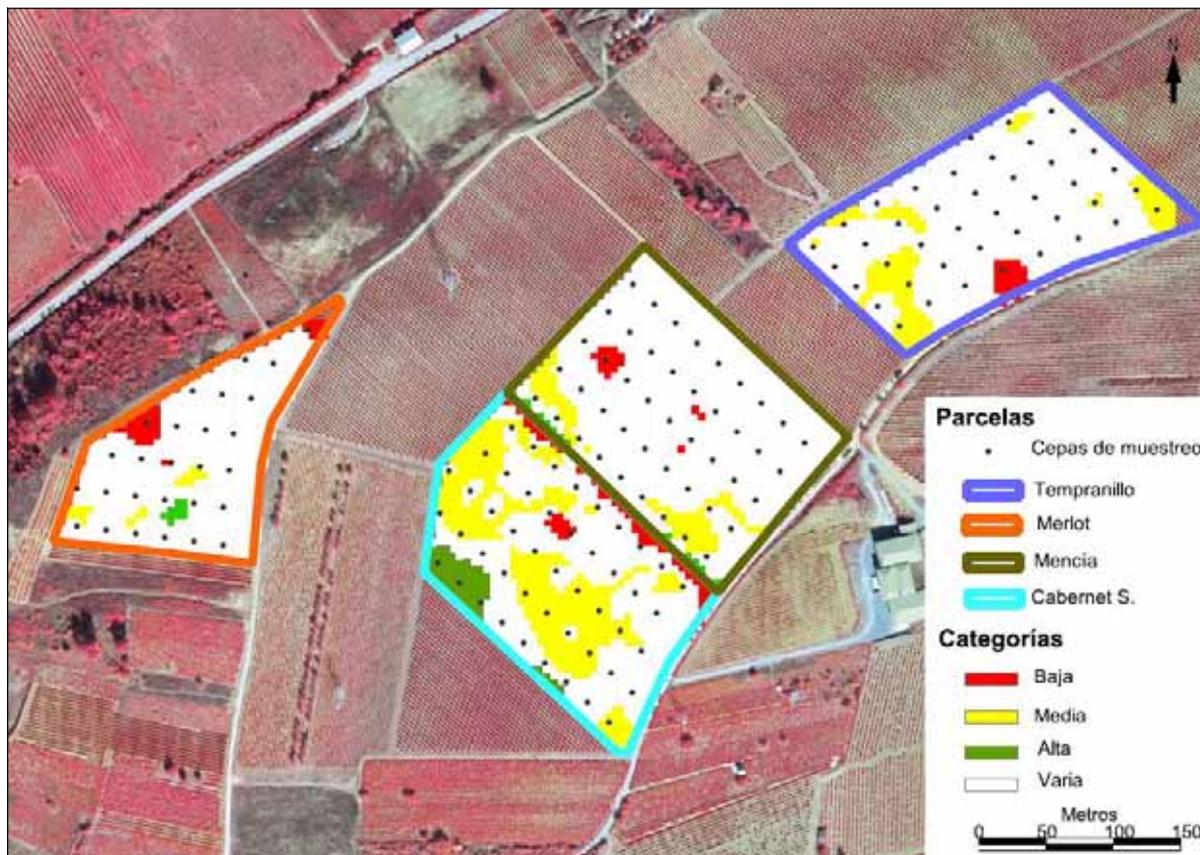
También se observa una amplia zona en el noroeste de la parcela de Cabernet, que presenta bajo GAP y debe ser estudiada para intentar corregirla.

La parcela de Tempranillo está muy influenciada por condiciones externas, por lo que no sería representativa del estudio.

En la Figura 5 se muestran los resultados para la LME. Esta variable está muy influenciada por las podas en verde que se realizan en la parcela y modifican los valores del LME. Las únicas zonas representativas de esta variable son la zona noreste de la parcela de Cabernet, en la que se observa una clasificación *baja* y la zona limítrofe a esta de la variedad Mencía, que muestra categoría *alta*. Esto es debido a la competencia por los nutrientes, que la variedad Mencía es la mejor adaptada a la zona de cultivo.

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.

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



[Sobre ortofotografía en falso color infrarrojo facilitada por el ITACyL:

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

En la Figura 6 se muestra una ortofotografía aérea en la que se delimita la parcela de Mencía. En el centro de la parcela se observa una amplia zona de color claro que coincide con las zonas en las que el AT muestra una categoría *baja* y el GAP alta. Esta zona de color claro indica una menor densidad de vegetación en esa zona y corrobora la relación entre el vigor y la calidad del mosto descrita en la metodología, en la que se explica que la mayor concentración de azúcares en la baya se producirá en zonas en la que la densidad de vegetación de la planta será menor (menor vigor).

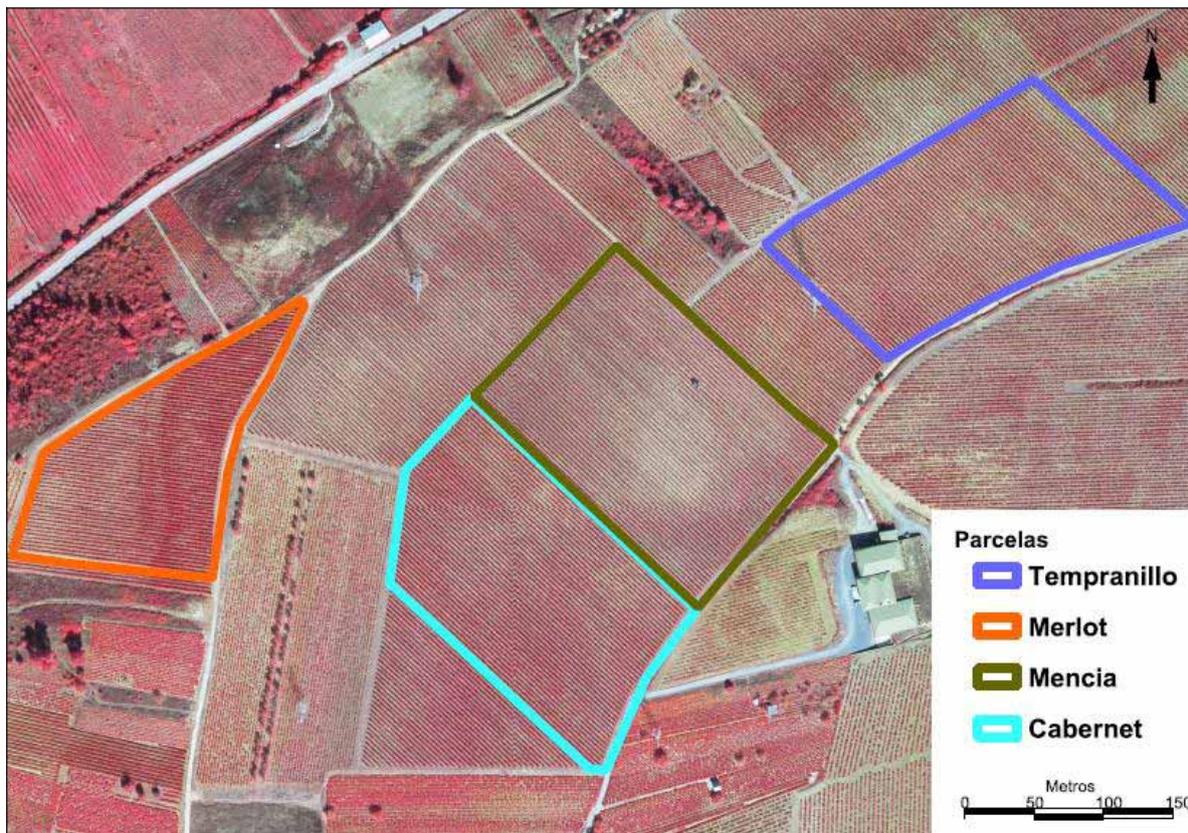
En la parcela de Merlot también se ve una amplia zona de color claro (Oeste) que coincide con la zona de mayor GAP y menor AT.

En Cabernet se observa una zona de alto vigor (más oscura) al Noroeste de la parcela que coincide con la categoría baja de AT, pero que no muestra el mayor valor para el GAP. Se debe profundizar en el estudio del GAP de esta zona para poder localizar la falta de correlación con el terreno y la AT.

La parcela de Tempranillo no muestra zonas en las que la variación del color del terreno corresponda con las categorías de las variables de estudio debido a los problemas de adaptación de esta variedad a la zona citados anteriormente.

Esta relación no se observa en el LME por la influencia que tienen las podas en verde realizadas. Se propone no realizar labores de poda en verde ni aclareo en las parcelas en los próximos años de estudio para tratar de establecer una relación entre esta variable y el suelo.

Figura 6: Ortofotografía aérea del terreno en falso color infrarrojo



[Sobre ortofotografía en falso color infrarrojo facilitada por el ITACyL:

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

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

Gracias a este trabajo se ha podido implementar un método que permita realizar un seguimiento de la variación espacio-temporal de variables relacionados con la calidad del mosto (GAP y AT) y producción vitícola (LME) permitiendo la realización de zonificaciones intraparcelarias utilizando herramientas SIG.

El software utilizado en este trabajo es libre y gratuito por lo que la aplicación de este sistema no incrementaría los costes. Además para decidir la fecha de vendimia los viticultores realizan análisis de las variables que se han estudiado no incrementaría el trabajo.

Los mejores resultados se obtuvieron para las variables cualitativas en la parcela de Merlot, en la que se puede apreciar una zona al oeste de la parcela en la que el AT muestra categoría *baja* mientras que el GAP presenta categoría *alta*. Además en esta zona se puede observar que la ortofotografía aérea muestra una menor densidad de vegetación, corroborando la relación inversa entre la producción y la calidad. Esta relación se observa también en la zona centro de la parcela de Mencía, aunque con una menor extensión.

En la parcela de Cabernet sólo se muestra relación entre el AT y las zonas de baja densidad de vegetación, por lo que el GAP debe ser estudiado para detectar las causas que producen esta falta de correlación.

Tempranillo no muestra valores representativos para ninguna de las variables, ya que esta variedad está poco adaptada a las condiciones climáticas de la zona y por tanto no sería una variedad representativa del estudio.

El LME está muy influenciado por la realización de podas en verde por los que sus resultados no fueron satisfactorios para el estudio. Para corregirlo se recomienda suprimir las este tipo de labores en los próximos estudios.

Para conseguir los objetivos productivos de la bodega se debe tratar cada zona de forma diferenciada, pudiéndose vendimiar las zonas de *alta* calidad de forma separada al resto de la parcela para conseguir vino de *alta* calidad. Además de deben de estudiar las características de la parcela que hacen que se produzcan zonas de *bajo* potencial para corregirla, y las zonas *alto* potencial para extrapolarlas al resto de la parcela y optimizar la producción.

Referencias

- Bohle, C., Maturana, S. & Vera, J.(2010). A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling. *European Journal of Operational Research*, 200 (1), 245-252.
- Bramley, R. (2005). Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1), 33-42.
- Bramley, R. & Hamilton, H. (2004). Understanding variability in winegrape production systems. *Australian journal of grape and wine research*, 10 (1), 32-45.
- Carey, V.A., Saayman, D., Archer, E., Barbeau, G. & Wallace, M. (2008). Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. I. The identification of natural terroir units. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(4), 169-183.
- De Andrés-de Prado, R., Yuste-Rojas, M., Sort, X., Andrés-Lacueva, C., Torres, M. & Lamuela-Raventós, R.M. (2007). Effect of soil type on wines produced from vitis vinifera L. Cv. Grenache in commercial vineyards. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 779-786.
- Esser, A. & Ortega, R. (2002). Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile: estudio de casos. *Agronomía y Forestal UC*, 5(17), 17-21.
- Esser, A., Ortega, R. & Santibañez, O. (2002). Viticultura de precisión: nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas. *Agronomía y Forestal UC*, 15, 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*, 65(2), 210-220.
- González-Fernández, A.B., Torres, T., A & Rodríguez-Pérez, J.R. (2010). Una metodología apoyada en SIG para el seguimiento vitícola y la delimitación de zonas homogéneas de vendimia en la DO Bierzo (León-España). *Geofocus*, 10, 185-207.
- Marchevsky, P.L. (2005). Viticultura de precisión. *ACE*, 63, (1).
- Mateo, 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(1), 51-58.

- Morais, R., Fernandes, M.A., Matos, S.G., Serodio, C., Ferreira, P.J.S.G. & Reis, M.J.C.S. (2008). A Zigbee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(2), 94-106.
- Rodriguez-Perez, J.R., Alvarez-Lopez, C.J., Miranda, D. & Alvarez, M.F. (2008). Vineyard area estimation using medium spatial resolution satellite imagery. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 441-452.
- Ubalde, J.M. & Sort, X.,(2005). Aspectos de viticultura de precisión en la práctica de la fertilización razonada. *ACE*, 63 (2).

Agradecimientos

Este trabajo ha podido ser desarrollado gracias a la financiación del proyecto GEOVID, financiado por el ITACYL; y al Programa de Formación mediante prácticas en materia de investigación e innovación tecnológica para titulados universitarios y para titulados superiores de formación profesional y de enseñanzas escolares de régimen especial, y en el Programa de Formación práctica de titulados universitarios (R. de 24 de agosto de 2010 – BOCYL N° 168, 31 de agosto 2010). También expresamos nuestro agradecimiento a la Bodega Ribas del Cúa S.A. (www.ribasdelcua.com) por ceder sus instalaciones y personal.

Correspondencia

Grupo de investigación 202 (GEOINCA). Universidad de León. Campus de Ponferrada. ESTIA,

Dirección: Avenida de Astorga, s/n. 24400 Ponferrada (León, España).

Phone: 987442000,

Fax: 987442070.

E mail:

Ana Belén González-Fernández: anabelengf@yahoo.es