

DELIMITACIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS DE VENDIMIA MEDIANTE SIG EN LA D.O. BIERZO (LEÓN-ESPAÑA.)

Ana Belén González Fernández
Ingeniera Agrónoma, por la Universidad de León

José Ramón Rodríguez Pérez
Departamento de Tecnología Minera, Topográfica y de Estructuras. Universidad de León.

RESUMEN:

Mediante este trabajo se creó un sistema de asistencia al viticultor para la zonificación de viñedos en función de criterios de calidad del mosto y peso de uva, basado en un Sistema de Información Geográfica (software ArcGIS) y evaluación multicriterio. El proceso metodológico siguió cuatro etapas: toma de datos, creación de la base de datos georreferenciada, análisis espacial de la información y delimitación e identificación de las zonas homogéneas. Los resultados permitieron hacer tres zonificaciones diferentes basadas respectivamente en calidad del mosto, cantidad de uva y combinación de ambos criterios. En cada viñedo se diferenciaron zonas con tres calificaciones diferentes: alta, media y baja, según la calidad del mosto y cantidad de uva sean elevadas, intermedias o bajas. Cada una de las zonas delimitadas en el análisis podría ser tratada con técnicas vitícolas diferenciadas para conseguir los distintos tipos de vino ofertados por la bodega.

PALABRAS CLAVE: Viticultura de precisión, Geomática, *Vitis vinifera L.*, Sistemas de Información Geográfica.

1. INTRODUCCIÓN

La viticultura es uno de los sectores con más proyección actual y de futuro de la Comunidad Autónoma de Castilla y León especialmente en El Bierzo. Además la Viticultura de Precisión es un sistema que ayuda a tomar las decisiones más adecuadas (tanto desde el punto de vista económico como ambiental) para la producción vitícola, haciéndola más sostenible y compatible con el medio.

El conocimiento de la variabilidad espacial de parámetros relacionados con la calidad y cantidad de uva en un viñedo es un aspecto fundamental para la producción de vino. Lo más habitual es que las cepas de una viña ocupen extensiones de terreno con características ambientales similares (climatología, geología, topografía, etc.), que las líneas de plantación se orienten en una dirección, que se apliquen idénticas labores culturales y el mismo sistema de cultivo, que se utilice el mismo patrón y variedad, etc. Sin embargo la uva producida difiere tanto en cantidad como en calidad para cada parte de la viña. Identificar bloques homogéneos dentro de una misma viña puede contribuir a mejorar la calidad y/o cantidad de vino según las necesidades de la bodega, ya que permite aplicar distintas técnicas en función de si desea aumentar la calidad del mosto o la producción de uva.

Algunos autores han tratado de evidenciar la relación existente entre los vinos producidos y el tipo de suelo de la viña de la que proceden. De Andrés-de Prado et al. (2007) relacionaron las características de los mostos (pH, acidez total y contenido en azúcares) y vinos (grado alcohólico, acidez y color) con variables del suelo como pH, materia orgánica, nitrógeno total, etc. Así se consigue una buena caracterización de los viñedos pero este tipo de estudios exige hacer microvinificaciones, que están condicionadas a las características climáticas anuales y a los procedimientos de elaboración.

Los nuevos países productores de vino como Australia, Chile, EE.UU., Nueva Zelanda y Sudáfrica, usan técnicas de interpolación espacial para conseguir mapas que permitan identificar bloques homogéneos dentro de una misma parcela. Uno de los países más avanzados en este tipo de técnicas es Australia, donde se han desarrollado protocolos para generar mapas continuos de rendimiento de uva a partir de información puntual (Brambley & Williams, 2001), parámetros de

maduración y calidad de uva (Brambley, 2005), relación suelo/uva (Brambley, 2001), entre otros. Se han realizado trabajos similares en Chile en los que se caracterizan suelos de viña (Flores, 2005), se definen metodologías para hacer mapas de rendimiento de uva (Esser & Ortega, 2002) y parámetros de calidad de uva relacionados con parámetros edáficos (Esser et al., 2002). Arnó et al. (2005) generaron mapas de rendimiento y del estado nutricional de las cepas (a partir de análisis químicos de pecíolos) y los relacionaron con imágenes multiespectrales, para su integración en uno de los primeros sistemas de viticultura de precisión aplicado en nuestro país.

La viticultura de precisión se apoya en la teledetección (Hall et al., 2002), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y receptores GPS. Estas técnicas se han adaptado al cultivo de la vid, creando la viticultura de precisión (Bramley, 2000; Esser et al., 2002). En viticultura las técnicas más empleadas se centran en la identificación y localización puntual de las variaciones de vigor y niveles de estrés en la viña, así como su correlación con la topografía del terreno. El viticultor cuenta así con información de lo que ocurre en cada bloque de viña con la antelación suficiente para poder actuar antes de producirse cualquier pérdida de producción o de calidad.

La viticultura de precisión se basa en la utilización de monitores de rendimiento y calidad, incorporados a cosechadoras mecánicas. La producción vitícola se considera un sistema con sus entradas (nutrientes, agua, etc.) y salidas (uvas y vino), controladas por el viticultor para atender la demanda del mercado (Bramley & Hamilton, 2004). El proceso será más eficiente cuanto mejor se controlen las entradas y salidas, es decir, cuanto mejor sea la información introducida en el sistema (Bramley, 2000; Esser et al., 2002; Esser & Ortega, 2002). En cada parte de la viña se deben aportar los input necesarios (fertilizantes, pesticidas, labores, etc.) en función de los resultados obtenidos o esperados (output).

La viticultura de precisión implica un sistema cíclico de recogida de datos (mediante observaciones de campo, o mediante sensores aerotransportados o a bordo de satélites), interpretación y análisis de los datos recogidos (mediante herramientas SIG) e implementación de métodos de cultivo para conseguir los objetivos planteados (calidad y cantidad de uva y vino). Hay numerosos ejemplos de trabajos de investigación en

los que se demuestra la utilidad de este sistema (Bohle et al., 2008; Morais et al., 2008; Matese et al., 2009).

En función de los factores cualitativos de la uva y del objetivo del cultivo existen distintos tipos de madurez como la fisiológica, la vitícola, la fenológica, la industrial... En el presente trabajo interesa estudiar la madurez enológica, ya que el objetivo del cultivo de las vides de estudio es la elaboración de vino. La madurez enológica es aquella que permitirá elaborar el mejor vino posible en una situación y añada determinadas, en función del tipo de vino buscado.

La maduración se puede definir como el periodo comprendido entre el envero y la vendimia (Boulin & Guimberteau, 2004). En este tiempo la baya acumula ácidos grasos insaturados, sobre todo ácido linoléico, presente en los lípidos neutros y los glicolípidos.

La fecha de vendimia debe determinarse para cada parcela y además de la madurez de las uvas hay que tener en cuenta el estado sanitario de las mismas y otros factores como la previsión meteorológica.

Durante la maduración el tamaño de las bayas aumenta de forma constante. El seguimiento del crecimiento puede realizarse midiendo el peso o su diámetro. La velocidad de crecimiento es irregular y varía en función del estado de desarrollo de la baya.

En las bayas se encuentran ácidos como el tartárico, el málico (los más importantes), cítrico y ascórbico, entre otros. Cada uno de estos ácidos se comporta de manera distinta durante la maduración. Este comportamiento individual es el que regula la acidez de la uva en el momento de la vendimia y será determinante sobre la composición final y sus caracteres organolépticos. En la maduración se produce una reducción de los ácidos presentes en el mosto debido a que la baya acumula agua disminuyendo el contenido de estos ácidos. Además se produce un consumo de los ácidos por la respiración de la planta. En ocasiones se puede presentar otra causa, que es la saturación de los ácidos por las bases procedentes de las raíces. Su medición se realiza mediante pH y Acidez total.

En la baya la concentración de ácido málico es máxima en el envero, pero a partir de ese momento la degradación es más intensa que la síntesis y se produce una disminución cuya velocidad depende fundamentalmente de la temperatura de la uva, ya que a medida que esta aumenta, las necesidades energéticas de la planta crecen y recurre al ácido málico para crear energía (Boulin & Guimberteau, 2004).

El ácido tartárico se sintetiza a partir de las hojas jóvenes y las bayas verdes. A partir del envero su síntesis es muy lenta. Este ácido se acumula en la planta sin sufrir transformaciones ya que tiene un metabolismo muy lento. Su reducción en la maduración se explica por la acumulación de agua en la baya, explicada anteriormente.

En el crecimiento de la vid, los órganos jóvenes son consumidores de azúcar, mientras que las hojas adultas son productoras de azúcar. A partir del envero la clorofila de las uvas desaparece y por tanto cesa su fotosíntesis: son las hojas adultas las encargadas de exportar los azúcares a las bayas. Además la respiración y el crecimiento se ralentizan, limitando la degradación de los glúcidos. Son por tanto las bayas los órganos de reserva de la planta, que van a acumular azúcar.

En la uva los azúcares están representados por glucosa y fructosa, que durante la madurez se encuentran en cantidades muy parecidas. Estos azúcares se denominan fermentables o reductores. También se encuentra sacarosa, que no es reductor y es hidrolizada a glucosa y fructosa. En el momento del envero es cuando se produce una mayor velocidad de acumulación de azúcar, y va disminuyendo hasta el momento de la vendimia, en la que la velocidad es casi nula. Es en este momento cuando debe realizarse la vendimia, ya que es cuando se produce la mayor concentración de azúcares en la baya.

La estimación del contenido en azúcares presentes en el mosto de uva se realiza por refractometría, que es una medida basada en la desviación de la luz por refracción, o por densimetría, que mide la densidad del líquido con un aerómetro (Guirard, 2004). Los compuestos fenólicos de la uva están fundamentalmente localizados en las pepitas y en el hollejo. Estas sustancias proporcionan las características organolépticas al mosto como el color y sabor, además de que permiten el envejecimiento en los grandes vinos tintos, ya que proporcionan las características aromáticas de los mismos. Los más importantes en la medida del color son los taninos y los antocianos. Los compuestos fenólicos son objeto de la traslocación entre diferentes territorios celulares. En las pepitas, los contenidos en taninos alcanzan el máximo en el envero y van disminuyendo hasta la madurez fisiológica; a partir de entonces permanecen estables. En los hollejos los antocianos se acumulan desde 15 días antes del envero, aumentando su contenido durante la madurez y disminuyendo levemente al final del periodo de maduración. En todos los casos su concentración depende de la variedad de uva. (Boulin & Guimberteau, 2004). Para conocer su concentración se mide la intensidad y tonalidad del color y el índice de polifenoles totales por absorbancia.

El objetivo principal de este trabajo consistió en desarrollar una metodología para la identificación y definición de bloques homogéneos (criterios de calidad del mosto y cantidad de uva) de viñedo. Ésta se basó en la utilización de herramientas SIG y evaluación de variables de interés vitivinícola. En este artículo se explica la metodología y los resultados obtenidos en su aplicación a unos viñedos situados en la Denominación de Origen Bierzo (DO Bierzo).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio

El estudio se hizo en viñas propiedad de la empresa Ribas del Cúa S.A., situadas en el municipio de Cacabelos (DO Bierzo). La propiedad de la empresa ocupa unas 40 ha, situadas entre las coordenadas 4720400(N), 4719500(S), 687600(O) y 688800(E) (Coordenadas ETRS89/UTMzone29N). Todas las viñas están formadas en espaldera. El marco de plantación es de 2,80 m entre líneas y 1,10 m entre cepas. Dentro de los viñedos se seleccionaron cuatro parcelas (con variedades diferentes: Cabernet Sauvignon, Mencía, Merlot y Tempranillo) en los que se seleccionaron las cepas de muestreo (161 cepas en total). En la figura 1 se representan los viñedos de la bodega, las parcelas seleccionadas para este trabajo y la posición de las cepas muestreadas.

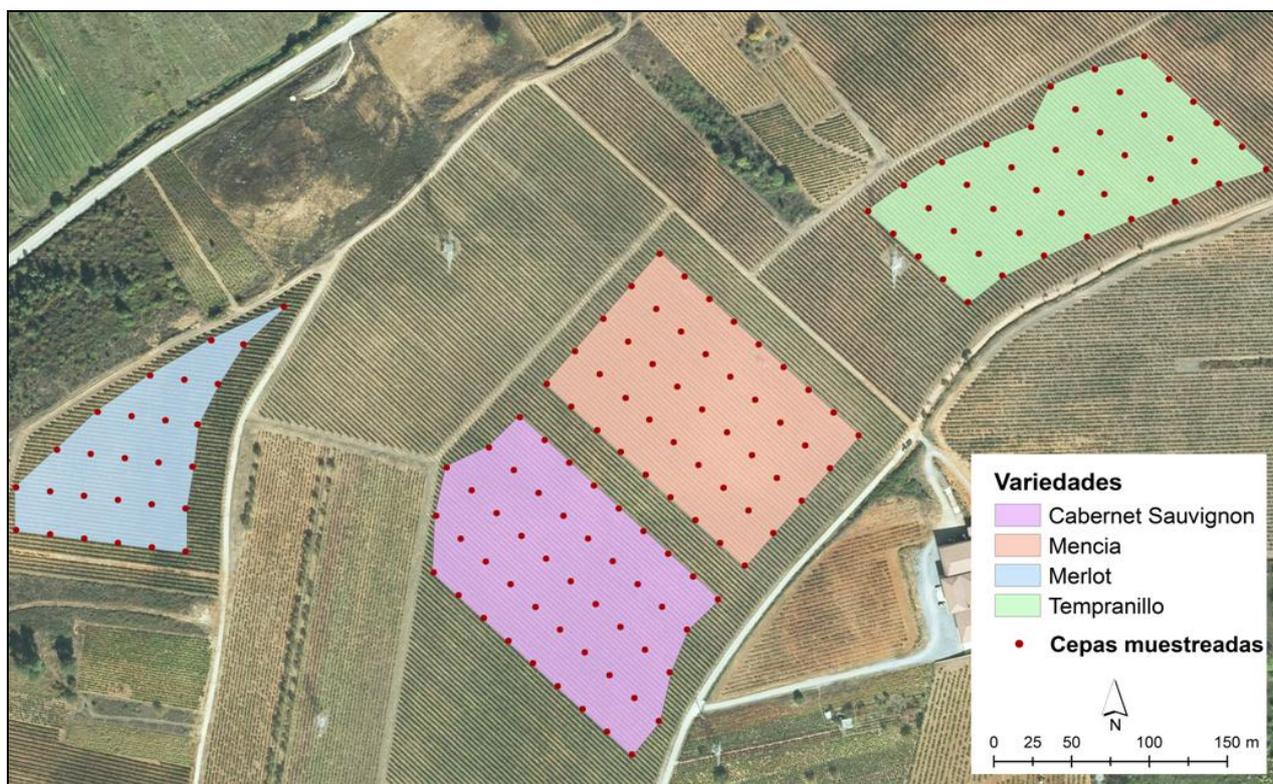


Figura 1. Parcelas de estudio (Bodega Ribas del Cúa, S.A. Cacabelos, León): variedades de uva y localización de las cepas de muestreo

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

2.2 Metodología

Para conseguir el objetivo planteado se ha seguido una metodología estructurada en las siguientes fases: toma de datos en las parcelas de trabajo, creación de la base de datos georreferenciada, análisis espacial de la información y delimitación e identificación de las zonas homogéneas en cada parcela.

2.2.1 Toma de datos en las parcelas de trabajo

A) Diseño de la red de muestreo

Dentro de cada parcela de estudio se seleccionaron líneas (una de cada diez) y dentro de cada línea se marcaron las cepas (una de cada veinte), definiendo una malla rectangular regular con una separación media entre cepas 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 m ²	Altitud media m
Cabernet S.	5	47	30687,9	588,0
Mencía	5	45	32128,0	582,0
Merlot	7	27	19253,7	569,8
Tempranillo	8	43	29455,4	599,7

B) 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); uno de los receptores se mantuvo posicionado en una localización de coordenadas conocidas y el otro receptor se usó para medir las coordenadas en el centro de cada cepa.

C) Análisis de mosto y producción

Durante la semana del 21 al 25 de septiembre de 2009 se tomaron muestras uvas en cada cepa seleccionada y se determinaron variables de interés vitivinícola desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

Para realizar los análisis se tomaron 150 uvas de cada cepa de las cuales se extrajo el mosto y se analizó el grado alcohólico probable (GAP), pH, acidez total (AT), índice de polifenoles totales (IPT) e intensidad colorante (I). Todos los análisis se hicieron siguiendo 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. Asimismo también se calculó el peso medio de una baya (PMB) y el peso total de uvas (PTU) en cada cepa.

Las variables utilizadas para evaluar la calidad fueron el GAP, pH, AT, IPT e I.

El PTU y el PMB se definieron como variables cuantitativas.

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. Se determinó mediante refractometría.

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. 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.

El pH es una de las determinaciones más importantes ya que ejerce influencia sobre la presencia de microorganismos, sobre el matiz del vino, el sabor, potencial redox, etc. Se midió mediante un potenciómetro con electrodo calibrado específico para mosto. En el mosto el pH es una medida complementaria de la AT puesto que permite estimar la fuerza de los ácidos que contiene.

El ITP influye sobre las características organolépticas del vino (sobre todo sabor). Se obtuvo por la medida de la absorbancia del mosto a 280 nm, puesto que el núcleo bencénico característico de los polifenoles tiene su máximo de absorbancia a esta longitud de onda.

La I deriva de la absorbancia a tres longitudes de onda dentro del espectro visible: 420, 520 y 620 nm. La suma de las absorbancias a las tres longitudes de onda, permitirá estimar la intensidad del color del mosto.

Para estimar el potencial productivo de los viñedos es necesario conocer el PTU y el PMB.

Para determinar el PMB se pesaron las uvas recogidas en las cepas de muestreo para realizar los análisis de mosto, mientras que para el PTU se midió el peso del total de los racimos de cada una de las cepas de muestreo, añadiendo el peso de las uvas utilizadas en la determinación de las características cualitativas del mosto.

Utilizando estos parámetros se conocerá si la cepa está equilibrada, es decir, si su estado vegetativo es adecuado para los objetivos de producción. Una planta con poco vigor producirá bayas pequeñas y pocos racimos, por lo que el PTU será bajo. En una planta con mucho vigor las características serán opuestas a la anterior, pero también producirá mosto de baja calidad, ya que la concentración de azúcares en la baya será menor. Interesa mantener la planta en un estado de vigor intermedio para producir mosto que podrá ser usado en la elaboración de vinos de calidad (Cortell et al., 2005).

2.2.2 Creación de la base de datos georreferenciada

Con ayuda del software ArcGIS se creó un proyecto en el que se representaron las cepas seleccionadas mediante sus coordenadas y se creó un archivo en formato shape. Se utilizó como sistema de referencia de coordenadas (CRS) el EPSG: 25929 (ETRS89/UTMzone29N). Los valores de las variables cualitativas (GAP, pH, AT, IPT e I) y cuantitativas (PMB y PTU) se almacenaron en una hoja de cálculo ODF (OpenOffice, Sum Microsystems Inc.); este archivo fue transformado al formato dbf, (formato usado por el software ArcGIS para tablas de datos).

Se añadieron todos los datos de las variables de interés a la capa con la localización de cada cepa mediante conexiones relacionales entre tablas; de esta forma se obtuvo una nueva capa georreferenciada con la información temática de interés para la viticultura de las parcelas estudiadas.

2.2.3 Análisis espacial de la información

La zonificación se hizo mediante la evaluación de la aptitud para la producción vitícola de cada parcela de estudio, siguiendo una metodología similar a la evaluación multicriterio (EMC). Barredo (1996) y Santos & Borderías (2002) definen la EMC como un conjunto de técnicas que permiten ayudar en los procesos de tomas de decisión, estudiando varias alternativas mediante múltiples criterios y objetivos en conflicto. El objetivo principal de la EMC aplicada en este trabajo fue la delimitación de zonas homogéneas en cada parcela en función de los parámetros de calidad del mosto y cantidad de uva. Los criterios de la EMC fueron las variables vitivinícolas.

Cada criterio o variable se representó mediante una capa raster con un tamaño de celda de 5x5m. Cada capa raster se obtuvo mediante interpolación espacial a partir de los datos puntuales de los muestreos. Atendiendo a los resultados obtenidos durante otras campañas en esas mismas zonas (Rodríguez-Pérez et al., 2008), las interpolaciones espaciales se hicieron mediante krigeado (kriging), ajustando los semivariogramas a funciones esféricas y con distancia de análisis próxima a la distancia entre puntos de muestreo (lag=30 m). Por tanto cada criterio se representó mediante una capa georreferenciada.

El paso siguiente consistió en la definición de categorías y asignación de valores cuantitativos a cada categoría de cada criterio. Para cada criterio se establecieron tres categorías: superior, media e inferior. La decisión de establecer tres categorías se debió a que los resultados serán de aplicación práctica para los viticultores, por lo que se necesita establecer un número limitado de categorías que faciliten su aplicación en la zona de estudio. El centro del intervalo de la categoría media se corresponde con su media aritmética y los límites con los intervalos de las clases superior e inferior se fijan a 1,5 veces la desviación típica, para asegurar que estas clases engloben los casos con valores superiores e inferiores al promedio. De esta forma se podrán establecer las tres categorías para cada criterio siguiendo las mismas pautas. Una vez fijadas las categorías se asignaron los valores 3-2-1 a los píxeles de las categorías superior-media-inferior, respectivamente. Siendo el intervalo de la categoría superior igual a la media + 1,5 desviaciones típicas y el de la inferior a la media - 1,5 desviaciones típicas. 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.

Para la asignación de valores respecto al GAP, se consideró que la mayor concentración de azúcares en la baya se produce en el momento de la vendimia (Blouin & Guimberteau, 2004). Este es un criterio muy importante de calidad y es deseable que sea el mayor posible, por tanto se asignó el valor de 1 a las cepas de menor GAP y mientras que las cepas con mayor GAP se valoraron con 3.

Los compuestos fenólicos son los principales responsables del color y sabor, por lo que su concentración influye en la decisión de envejecer o no los vinos tintos. (Blouin & Guimberteau, 2004). Las superficies de vid con mejores aptitudes cromáticas (mayor I) se puntuaron con un valor de 3 y el valor 1 se asignó a las zonas de menor I. Respecto a la aptitud para el envejecimiento del vino, las zonas con menor IPT se valoraron con 1 y se asignó un valor de 3 a las superficies de mayor IPT.

Los principales ácidos presentes en la uva son el tartárico, málico entre otros. A medida que la uva va madurando, la concentración de estos ácidos va disminuyendo ya que la baya acumula agua (diluye los ácidos disminuyendo su proporción) y la respiración de la planta provoca su combustión (Blouin and Guimberteau, 2004). Por tanto, los mayores valores de aptitud fueron asignados a los mostos con menor pH.

Desde el cuajado hasta la vendimia, el volumen de las bayas evoluciona constantemente ya que acumulan agua, azúcares y otras sustancias (Blouin & Guimberteau, 2004). El valor asignado para la EMC fue mayor cuanto mayor fue el PMB. El valor asignado al PTU también fue proporcional al peso.

2.2.4 Delimitación e identificación de las zonas homogéneas en cada parcela

La integración de los criterios se hizo mediante la superposición espacial de las capas y haciendo la suma de los valores para cada píxel de 5x5 m. La capa final resultante contendrá información de todos los criterios, permitiendo la zonificación en tres intervalos en función de la aptitud (alta, media y baja).

El modelo descrito se aplicó para cada variedad por separado. Para cada variedad se hicieron dos zonificaciones: una en función de la calidad del mosto y otra en función de la cantidad de uva. Finalmente se integraron ambas en una única que permitió diferenciar las zonas en tres tipos en función del valor resultante de la suma total: alta (calidad y cantidad de uva elevadas) para valores superiores a 12, media (calidad y cantidad de uva medias) para las zonas con valor 12 y baja

(calidad y cantidad de uva bajas) para los píxeles con valor inferior a 12. Cada bloque homogéneo podrá ser tratado con técnicas vitícolas diferenciadas o podrá ser cosechado en diferentes fechas para conseguir los tipos de vino ofertados por la bodega. Además permitirá estudiar las condiciones por las que se producen zonas de mayor potencial vitícola y extrapolárselas al resto de la parcela para optimizar la aptitud de la zona a la viticultura.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis estadístico

En la tabla 2 se muestran los estadísticos básicos de cada variable de interés, diferenciados por la variedad de uva (se excluyeron los outliers o valores anómalos). Puede apreciarse las diferencias entre las variedades tanto para los parámetros de calidad (especialmente el GAP y el IPT) como los relacionados con cantidad de uva (PMB y PTU). Estas diferencias indican que para hacer la EMC será necesario establecer categorías y valores distintos en cada criterio y variedad.

Tabla 2. Caracterización de los bloques en función de la producción y calidad de uva

Variedad	Estadístico	GAP	pH	AT	IPT	I	PMB	PTU
		% vol		mg/L	A _{280 nm}	A _{420+520+620nm}	g	g
Cabernet Sauvignon	Media	13,15	3,24	8,31	13,75	1,59	1,43	1698,38
	Mediana	13,20	3,25	8,10	13,80	1,55	1,42	1605,70
	Desv. típica	0,79	0,08	0,95	1,02	0,40	0,14	673,01
	Mínimo	11,30	3,02	6,80	11,50	0,78	0,93	470,50
	Máximo	14,60	3,39	10,60	15,60	2,29	1,94	3262,70
	Rango	3,30	0,37	3,80	4,10	1,50	1,01	2792,20
Mencía	Media	13,78	3,41	5,26	18,64	4,83	2,15	3289,04
	Mediana	13,70	3,42	5,30	18,55	4,78	2,15	3280,1
	Desv. típica	0,88	0,09	0,50	2,50	0,47	0,21	1504,12
	Mínimo	11,70	3,23	4,10	14,10	3,76	1,70	624,40
	Máximo	15,60	3,58	6,40	23,20	5,88	2,60	6805,50
	Rango	3,90	0,35	2,30	9,10	2,12	0,90	6181,10
Merlot	Media	14,49	3,31	7,20	12,33	2,63	1,42	1267,85
	Mediana	14,60	3,33	7,10	11,90	2,56	1,40	1171,3
	Desv. típica	0,86	0,09	0,70	2,10	0,58	0,17	570,10
	Mínimo	13,00	3,12	6,20	9,50	1,70	1,17	324,70
	Máximo	15,80	3,47	8,80	18,00	3,99	1,79	2932,80
	Rango	2,80	0,35	2,60	8,50	2,28	0,62	2608,10
Tempranillo	Media	13,49	3,53	5,82	19,52	3,14	2,00	757,08
	Mediana	13,50	3,52	5,60	19,75	3,21	2,03	654,85
	Desv. típica	0,74	0,12	0,82	3,38	0,97	0,40	598,03
	Mínimo	11,60	3,30	4,60	12,3	1,49	1,24	63,80
	Máximo	15,00	3,86	8,00	26,40	5,51	2,91	2205,10
	Rango	3,40	0,56	3,40	14,10	4,01	1,67	2141,30

GAP: Grado Alcohólico Probable (% vol.); AT: Acidez Total (mg/L de ácido tartárico); IPT: Índice de Polifenoles Totales (Absorbancia a 280 nm); I: Intensidad de color (suma de absorbancias a 420, 520 y 620nm); PMB: Peso Medio de la Baya (g); PTU: Peso Total Uva producida (g)

La tabla 3 muestra los valores calculados del Coeficiente de Correlación de Pearson entre las variables utilizadas en el estudio. Los coeficientes de correlación más altos (con significación estadística 0,05) son los que corresponden al

criterio AT con el pH (R=-0.76) y con I (R=-0.71). Para el resto de variables los valores de R son más bajos, indicando que la correlación entre las mismas es baja.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables del estudio

Variable	pH	AT	IPT	I	PMB	PTU
GAP	0,32	-0,42	0,09	0,21	-0,13	-0,17
pH		-0,76	0,65	0,48	0,42	-0,2
AT			-0,64	-0,71	-0,6	-0,19
IPT				0,67	0,48	-0,03
I					0,54	0,36
PMB						0,35

Para poder hacer las interpolaciones mediante krigado y que los valores promedio sean representativos de las variables es recomendable que los datos se ajusten a una distribución normal. Para estudiar la distribución de los datos de cada variable se aplicó el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (KS); los resultados se muestran en tabla 4. Casi todas las series de datos siguen una distribución normal en cada una de las variedades. La variable AT no se ajusta a la distribución normal para ninguna de las variedades, por tanto no es aconsejable hacer interpolaciones mediante este criterio y el AT se excluyó del análisis espacial (además es una variable correlacionada con pH e I que sí fueron utilizados en el análisis).

Tabla 4. Resultados de la prueba de normalidad utilizando el estadístico Kolmogorov-Smirnov

Variable	Cabernet Sauvignon			Mencía			Merlot			Tempranillo		
	KS	gl	Sig.	KS	gl	Sig.	KS	gl	Sig.	KS	gl	Sig.
GAP	0,083	47	0,20**	0,131	44	0,06	0,120	27	0,20**	0,062	41	0,20**
pH	0,120	47	0,09	0,081	45	0,20**	0,129	27	0,20**	0,096	42	0,20**
AT	0,141	47	0,02	0,160	45	0,01	0,188	27	0,01	0,180	42	0,00
IPT	0,072	46	0,20**	0,085	44	0,20**	0,222	23	0,00	0,099	42	0,20**
I	0,076	47	0,20**	0,092	43	0,20**	0,117	26	0,20**	0,079	42	0,20**
PMB	0,145	47	0,01	0,080	45	0,20	0,135	27	0,20	0,104	42	0,20
PTU	0,105	47	0,20	0,061	45	0,20	0,136	27	0,20	0,123	42	0,11

KS: estadístico Kolmogorov-Smirnov; gl: grados de libertad; **Sig.: significación (0,05)

3.2 Resultados de las interpolaciones espaciales

Los resultados de las interpolaciones mediante krigado fueron muy satisfactorios. La evaluación de cada interpolación se hizo mediante validación cruzada. Este procedimiento consistió en aislar cada dato de muestreo, hacer la interpolación con el resto de datos y calcular la diferencia entre el valor estimado y el real para el punto previamente separado (esta operación se repite para cada valor individual). En la tabla 5 se muestran los valores de los residuos obtenidos en cada criterio o variable. Como era de esperar, los peores resultados se obtuvieron para el PTU (tiene el mayor EMC), puesto que depende de la intensidad del aclareo de racimos y de las pérdidas de uva provocada por los muestreos de calidad del mosto.

Tabla 5: Residuos en las validaciones cruzadas (evaluación de la interpolación por krigado)

Residuo	GAP	pH	IPT	I	PMB	PTU
	% vol		A _{280nm}	A _{420+520+620nm}	g	g
EM	0,004	-0,001	-0,013	-0,003	-0,001	-1,608
EMC	0,786	0,097	2,529	0,771	0,272	1088,0
EME	0,793	0,099	2,511	0,756	0,276	1091,0

EM: error medio; EMC: error medio cuadrático; EME: error medio estándar

En las figuras 2 y 3 se muestran los resultados finales de las interpolaciones para la variedad Mencía. Puede apreciarse como varía espacialmente cada uno de los criterios facilitando la localización de las áreas más o menos favorables desde el punto de vista de cada criterio cualitativo o cuantitativo. La variabilidad espacial en los criterios de calidad (GAP, pH, IPT e I) es más gradual, mientras que la variabilidad espacial de los criterios de cantidad de uva es más abrupta, en especial para PTU.

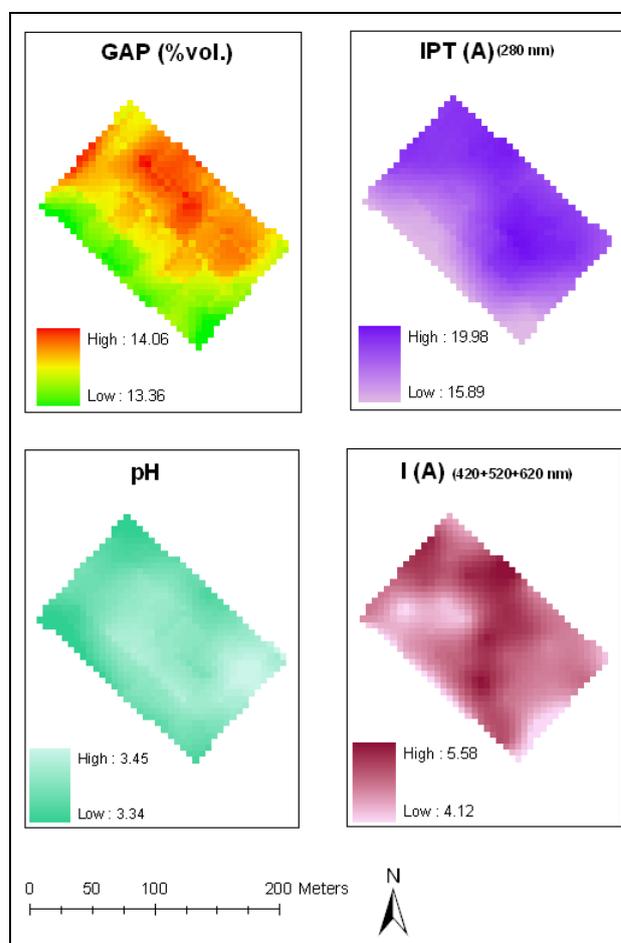


Figura 2. Capas resultantes de las interpolaciones en la variedad Mencía: criterios cualitativos.

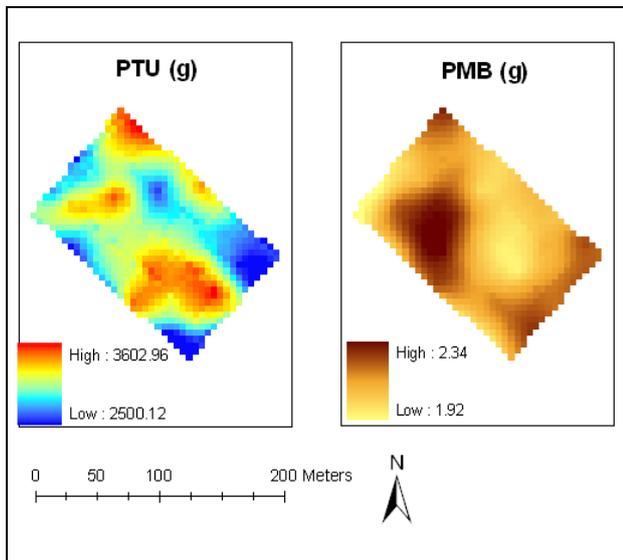


Figura 3. Capas resultantes de las interpolaciones en la variedad Mencía: criterios cuantitativos.

3.3 Asignación de valores a los criterios.

Partiendo de los resultados de las interpolaciones se establecieron tres categorías en cada criterio y variedad y a cada categoría se le asignó un valor representativo de su potencial vitivinícola.

En las figuras 4 y 5 se muestran las categorías resultantes al aplicar la metodología descrita en el apartado 2.2.3., para cada criterio en la variedad Mencía. El método permite identificar claramente las zonas de aptitud superior o inferior a la media, para cada criterio. Gracias a esta zonificación se observa como las zonas en las que el GAP (que es el parámetro más importante para determinar la calidad del mosto) presenta los valores superiores coinciden con las zonas en las que el PMB presenta valores inferiores (Zona Noroeste de la parcela). El mosto procedente de estas zonas podría ser utilizado para elaborar vinos de alta calidad, pero deben estudiarse los parámetros de calidad en conjunto para poder tomar esa decisión.

También se aprecia como la zona oeste de la parcela presenta los valores inferiores para la calidad del mosto (GAP, IPT e I), mientras que en esa misma zona se aprecian valores medios para el PMB.

El estudio del GAP junto con el resto de los parámetros de calidad y del PMB y PTU proporcionará al gestor de la bodega la información necesaria para decidir si le interesa más aumentar la producción para conseguir un mayor volumen de cosecha o centrarse en mejorar la calidad del mosto para producir vinos de mayor calidad, que alcanzan un mayor precio en el mercado.

Los valores del intervalo (mínimo-máximo) utilizados para establecer cada categoría se muestran en la tabla 6. Estos intervalos se establecieron siguiendo las pautas explicadas en el apartado de metodología y han permitido obtener las capas de información preparadas para la superposición final.

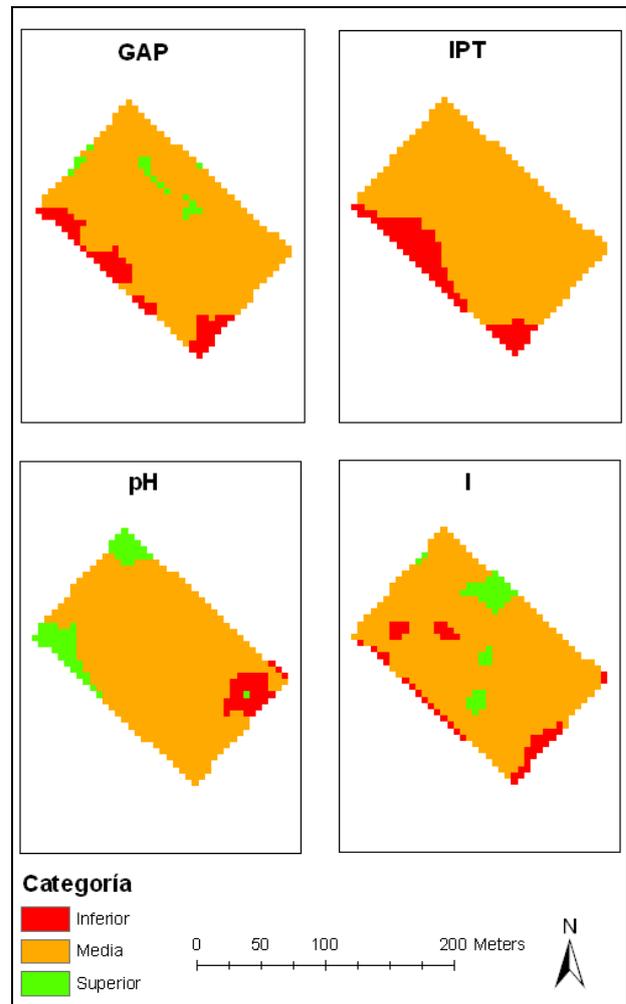


Figura 4. Capas resultantes de la asignación de valores (3-2-1) a cada categoría (superior media-inferior) para la variedad Mencía: criterios cualitativos

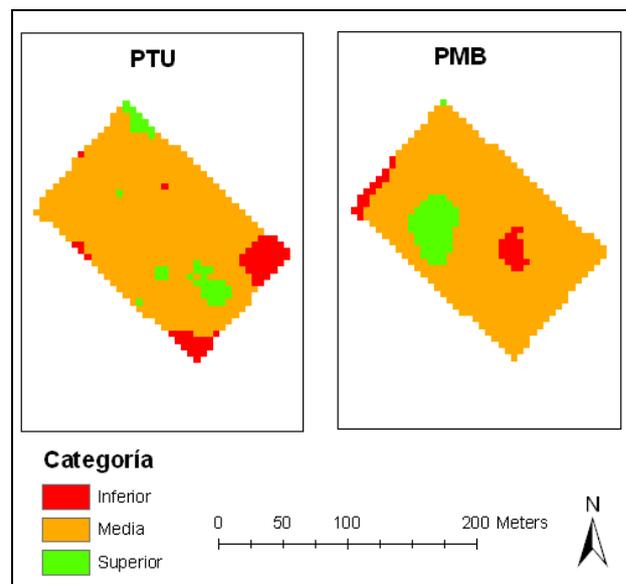


Figura 5. Capas resultantes de la asignación de valores (3-2-1) a cada categoría (superior media-inferior) para la variedad Mencía: criterios cuantitativos

Tabla 6: Intervalos utilizados para establecer las categorías en cada criterio

Variedad	Cabernet Sauvignon		Mencia		Merlot		Tempranillo	
	Intervalo	Valor	Intervalo	Valor	Intervalo	Valor	Intervalo	Valor
GAP (% vol.)	12,4-12,6	1	13,3-13,5	1	13,7-13,9	1	13,1-13,3	1
	12,7-13,7	2	13,6-14,0	2	14,0-15,1	2	13,4-13,6	2
	-	-	14,1-14,2	3	15,2-15,4	3	13,7-13,9	3
pH	3,10-3,20	3	3,34-3,38	3	3,20-3,40	2	3,42-3,45	3
	3,21-3,30	2	3,39-3,42	2	3,41-3,50	1	3,46-3,59	2
	3,31-3,40	1	3,43-3,45	1	-	-	3,60-3,63	1
IPT (A ₂₈₀ nm)	13,4-13,5	1	15,8-17,1	1	11,4-13,3	1	17,5-18,4	1
	13,6-14,2	2	17,2-20,0	2	13,4-14,0	2	18,5-20,4	2
	14,3-14,9	3	-	-	-	-	20,5-21,1	3
I(A _{420+520+620nm})	0,9-1,2	1	4,1-4,5	1	1,9-2,1	1	1,9-2,2	1
	1,3-1,8	2	4,6-5,3	2	2,2-3,0	2	2,3-3,7	2
	1,9-2,2	3	5,4-5,6	3	3,1-3,6	3	3,8-4,7	3
PMB (g)	1,2-1,3	1	1,9-2,0	1	1,2-1,4	2	1,5-1,8	1
	1,4-1,5	2	2,1-2,3	2	1,5-1,7	3	1,9-2,3	2
	1,6-1,7	3	2,4-2,5	3	-	-	2,4-2,5	3
PTU (g)	1303,7-1502,7	1	2500,1-2851,2	1	1010,0-1026,1	1	392,0-480,8	1
	1502,8-2076,5	2	2851,3-3456,2	2	1026,2-1411,8	2	480,9-1072,8	2
	2076,6-2158,7	3	3456,3-3602,9	3	1411,9-1704,0	3	1072,9-1293,6	3

Valores/Categorías: 3 / Superior, 2 / Media, 1 / Inferior

3.4 Zonificación intraparcela mediante superposición espacial

Finalmente se hizo la superposición espacial de las capas con los valores de aptitud asignados. Superponiendo los criterios relativos a la calidad del mosto (GAP, pH, I, IPT) se obtuvieron

los resultados mostrados en la figura 6. En la tabla 7 se cuantifica el área ocupada por cada valor de aptitud en función de los criterios de calidad del mosto. Durante las siguientes campañas vitivinícolas, será necesario validar los resultados obtenidos en este trabajo.

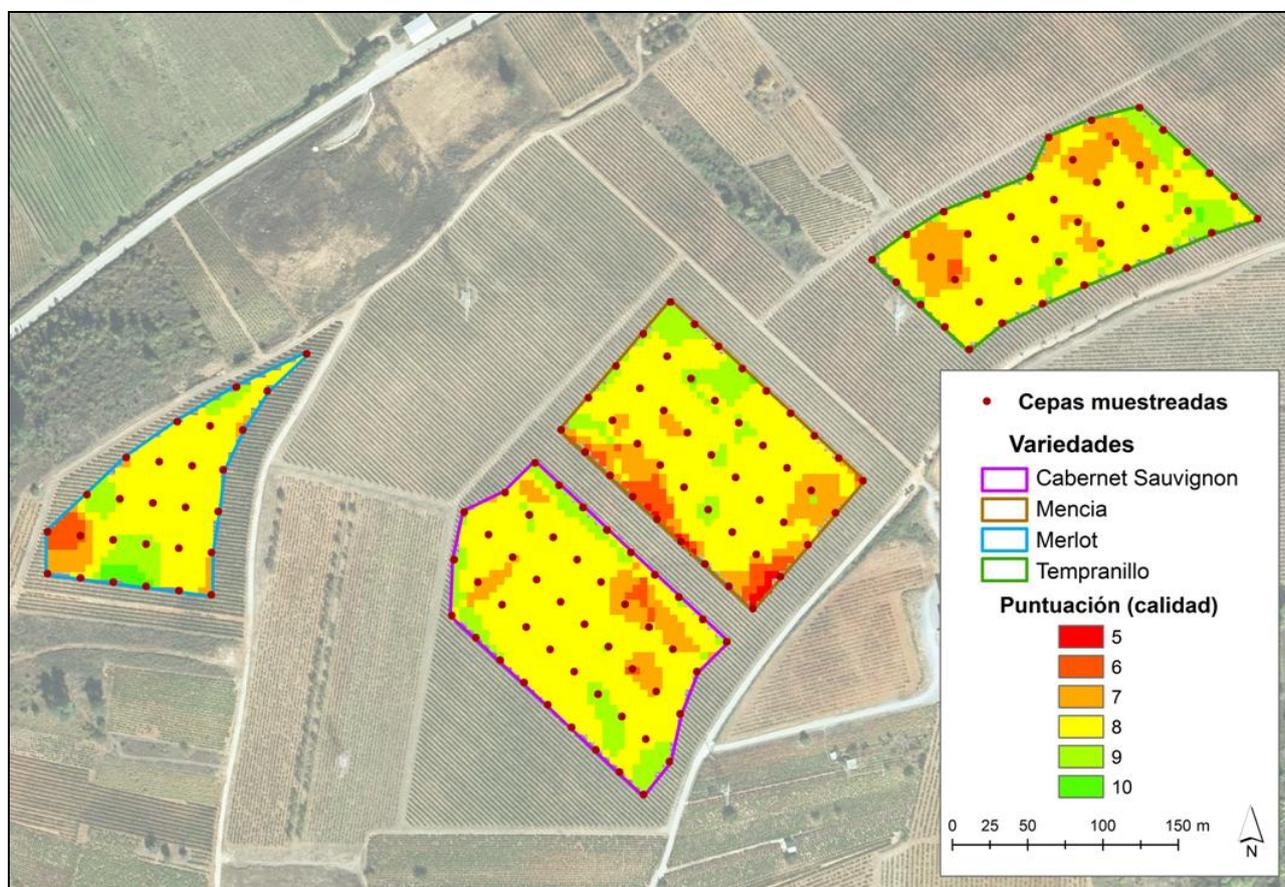


Figura 6. Zonificación según criterios de calidad del mosto
 [Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:
http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

Tabla 7. Superficie ocupada por cada rango de aptitud potencial según criterios de calidad del mosto

Aptitud según calidad	Cabernet Sauvignon	Mencía	Merlot	Tempranillo
	m ²	m ²	m ²	m ²
5	-	325	-	-
6	275	1150	500	150
7	2325	2800	850	3400
8	15550	12900	7450	13150
9	2675	2375	1550	1900
10	-	50	375	75

La tabla 8 resume la extensión ocupada por cada valor de aptitud en función de la cantidad de uva para cada variedad. En la figura 7 se representa la zonificación en función de la cantidad de uva de cada cepa.

Estas diferencias se deben fundamentalmente a variaciones en las características del terreno (topografía, textura, composición química, etc.) que condicionan la producción por carencia de algún elemento esencial o de agua (Flores, 2005).

Tabla 8. Superficie ocupada por cada rango de aptitud potencial según criterios de cantidad de uva

Aptitud según cantidad	Cabernet Sauvignon	Mencía	Merlot	Tempranillo
	m ²	m ²	m ²	m ²
2	-	-	-	100
3	3850	2525	225	2225
4	14675	14525	8725	14825
5	2275	2525	1525	1525
6	25	25	250	-

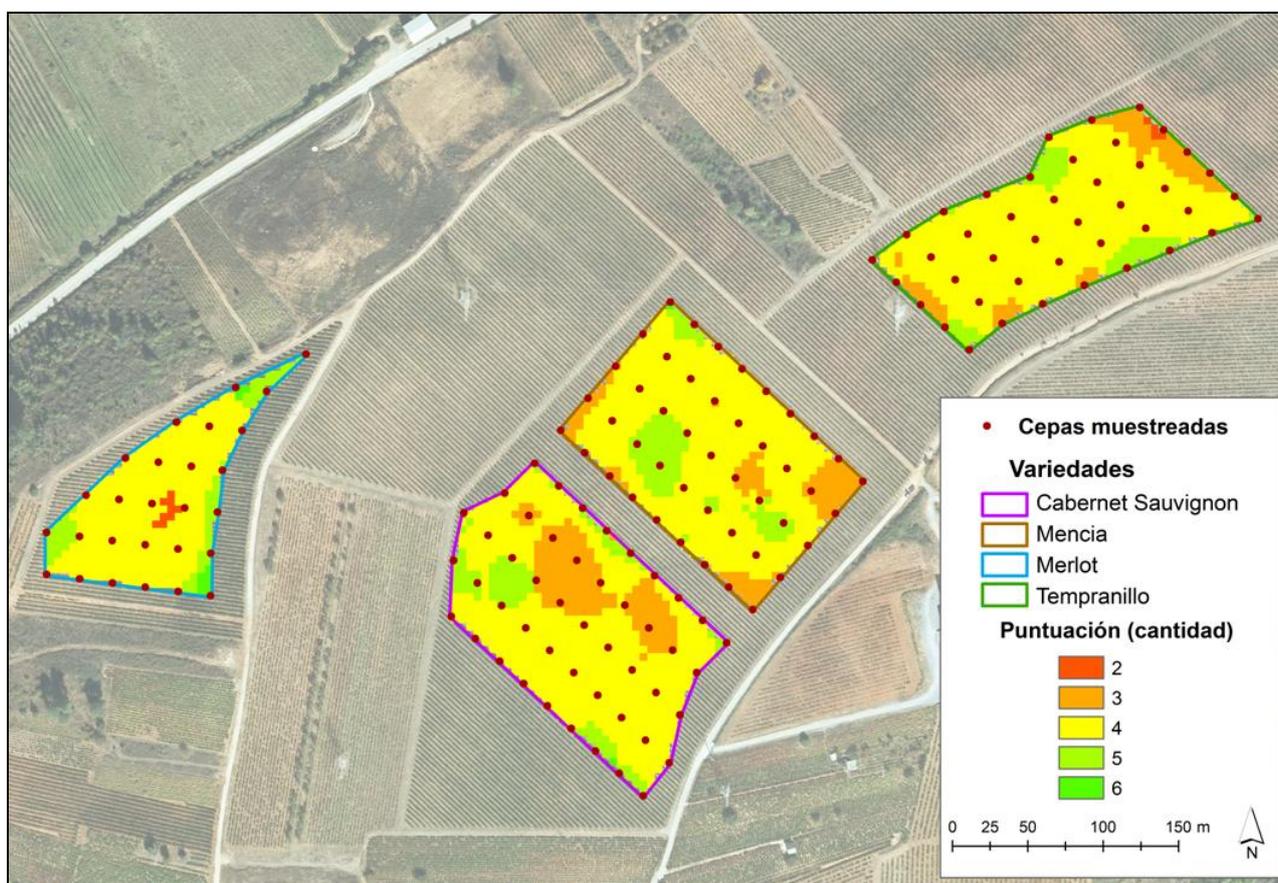


Figura 7. Zonificación según criterios de cantidad de uva
[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:
http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms/index.html]

En ambas zonificaciones las zonas delimitadas en rojo muestran áreas en las que la calidad (figura 6) y la producción de la uva (figura 7) son inferiores a lo normal. Las zonas marcadas en naranja y amarillo son zonas cuyos parámetros tienen valores promedio en cada variedad y las zonas marcadas en verde son las que tienen valores superiores a la media. Coincidiendo con los resultados de trabajos realizados por otros autores (Cortell et al., 2005; Cortell et al., 2007) se puede observar una relación inversa entre la calidad del mosto (figura 6) y la producción (figura 7).

En la parcela de Merlot, tanto la calidad como la producción, son homogéneas en el centro de la parcela mientras de las zonas

de mayor o menor calidad se sitúan en las zonas limítrofes. Esto puede ser debido a efectos provocados por la heterogeneidad en la aplicación de los productos fertilizantes y fitosanitarios. Existe una pequeña zona en el centro de la parcela donde hay una disminución de la producción de uva, que representa el 2% del total. Las zonas de mayor producción suponen el 17% de la superficie de la parcela, y deben ser consideradas como referencia para modificar las técnicas de cultivo en el resto de la parcela para aumentar el potencial.

En la parcela de Cabernet se puede observar una amplia zona central de baja producción (figura 7), que supone el 18% del total de la parcela. En esta zona se deberán estudiar los factores

a los que es debida esta baja producción e intentar aplicar medidas correctoras. También es aconsejable analizar qué otros factores son los responsables de la alta producción puesto que la parcela tiene potencial para conseguir una mayor producción. En este caso la relación inversa entre la calidad y la producción no es tan clara, ya que las zonas de mayor producción coinciden con las de mayor calidad o son muy próximas entre si por lo que se debe estudiar qué factor es el que tiene un mayor peso y potenciarlo.

Los resultados obtenidos en Tempranillo son los más complejos de interpretar, ya que las variaciones espaciales del potencial vitícola son muy irregulares y la distribución de los criterios no es homogénea. Esto puede ser debido a que esta variedad no está adaptada a las condiciones climáticas de la comarca. Aún así se observa una relación inversa entre parámetros de calidad y de producción en la parcela.

Mencía es la principal variedad acogida a la D.O. Bierzo y es la que mejor está adaptada a las condiciones de la comarca. Observando la figura 6 se aprecian claramente las diferentes zonas, situándose las de peor calidad en el límite suroeste; además en esta misma localización, la variedad Mencía tiene una producción inferior a la media (figura 7). Esta baja calidad puede deberse a la competencia con las plantas de Cabernet Sauvignon puesto que esta variedad en ese tipo de suelo da la mayor calidad y producción. También se puede observar que las zonas de menor producción y calidad se sitúan en la zona sur de la parcela, que corresponde con la zona más alta, mientras que la zona de mayor calidad y producción están en el norte, que es la zona de menor altitud; esto puede deberse al mayor desarrollo del suelo en las zonas bajas.

La integración de los criterios cualitativos y cuantitativos ha permitido zonificar las cuatro parcelas en zonas con los tres tipos de calificación vitivinícola (figura 8). La extensión de cada zona se muestra en la tabla 9. Mediante la aplicación de herramientas SIG a la viticultura se han conseguido identificar zonas homogéneas dentro de cada viña, permitiendo aumentar la eficiencia de los inputs aplicados, ya que se aplicarían únicamente a las zonas en las que son necesarias (Esser & Ortega, 2002; Esser et. al, 2002).

Tabla 9. Extensión de las calificaciones vitivinícolas en cada variedad

Variedad	Calificación vitivinícola	Área
Cabernet Sauvignon	Baja	5200
	Media	11625
	Alta	4000
Mencía	Baja	4725
	Media	11200
	Alta	3675
Merlot	Baja	1325
	Media	6275
	Alta	3125
Tempranillo	Baja	4700
	Media	11375
	Alta	2600

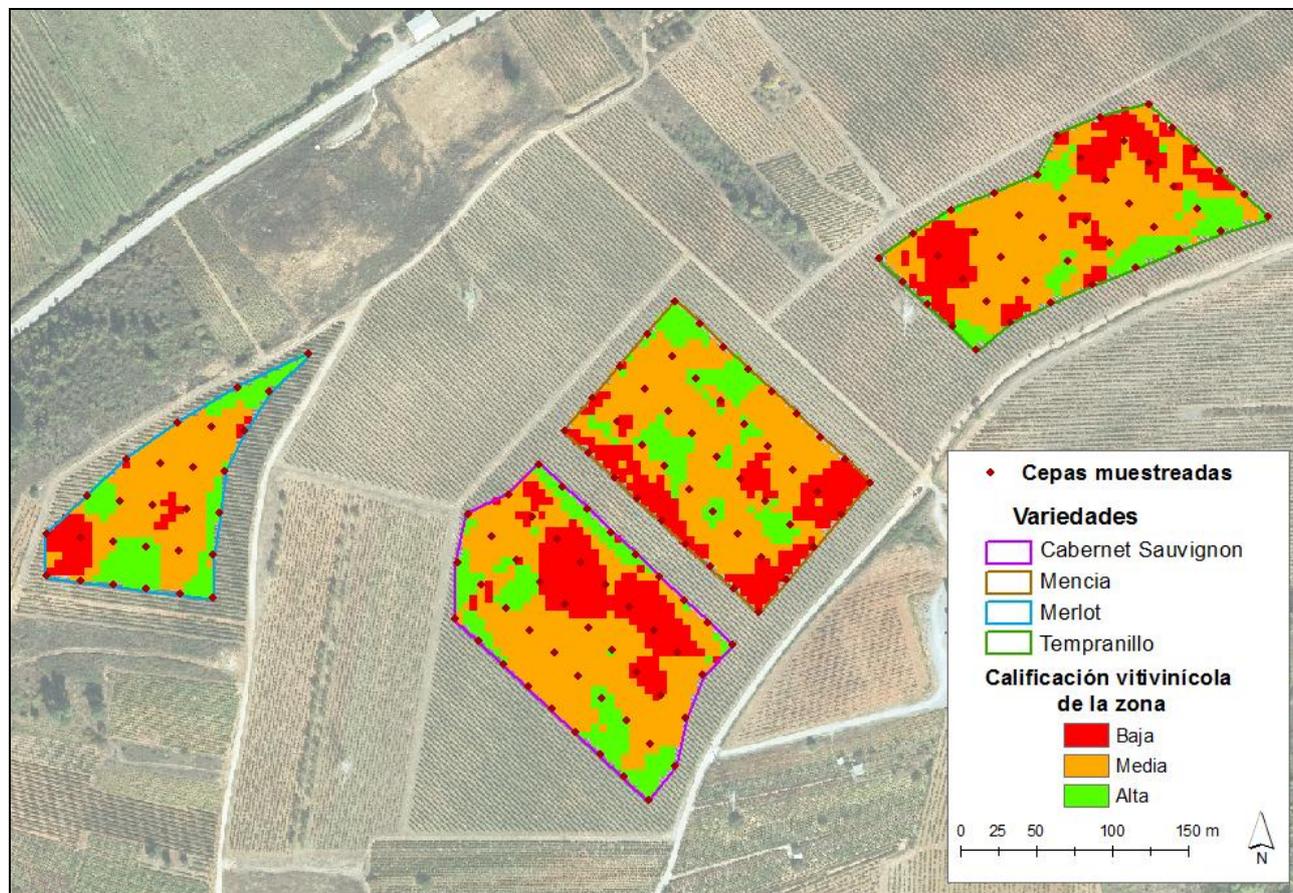


Figura 8. Zonificación agrupando criterios cualitativos y cuantitativos

[Sobre ortofotografía en color verdadero facilitada por el ITACyL:

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

Al igual que en el trabajo de Flores (2007), el potencial vitivinícola presenta un alto grado de variabilidad que hace difícil su caracterización precisa. Para un mejor conocimiento habría que estudiar la correspondencia entre las variables muestreadas y nuevos parámetros relacionados con la estructura y fertilidad del suelo.

En la variedad Cabernet Sauvignon las zonas de mayor potencial vitícola ocupan un 20% del total de la parcela y se encuentran en las zonas limítrofes de la parcela. Las zonas de menor potencial ocupan un 25% y se encuentran situadas en el centro de la parcela.

En el bloque de Mencía las zonas de mayor potencial vitícola ocupan un 19% del total de la parcela, mientras que las de menor potencial ocupan un 25%. La superficie ocupada por cada calificación es similar a Cabernet, sin embargo la localización en la parcela (centro/límite) es opuesta en ambas variedades.

La variedad con mayor extensión de la primera categoría es Merlot (30%) y también presenta la menor superficie de menor potencial (13%). Por tanto, puede afirmarse que esta variedad, durante la campaña 2009, ha tenido mejor aptitud para producir vinos de calidad. Se deberían hacer análisis más exhaustivos para identificar qué otros parámetros condicionan su potencial, aunque puede deberse a que las características edáficas sean mejores que en el resto de variedades, puesto que el bloque de Merlot está más alejado que los otros tres.

En Tempranillo las zonas de mayor potencial vitícola ocupan un 14% del total de la parcela mientras que las de menor potencial ocupan un 25%. Esta es la variedad que presenta un menor potencial para la viticultura y es posible que se deba a la peor adaptación de esta variedad a las condiciones meteorológicas del 2009.

En general las zonas de peor categoría ocupan una gran extensión (figura 8) y sería necesario identificar los motivos con análisis más detallados y aplicar medidas correctoras. Las zonas de alto potencial están muy dispersas en todas las variedades y sería recomendable hacer un estudio sobre el beneficio económico que representaría vendimiar estas zonas de forma independiente al resto. Por otro lado, esta dispersión espacial en las zonas de mejor aptitud indica el alto potencial de las parcelas y se deberían aplicar tratamiento diferenciado para extender esta calificación a una mayor superficie.

Un problema operativo de las zonificaciones se produce a la hora de vendimiar, ya que en los viñedos estudiados la uva se recoge con vendimiadora (recolecta la uva forma continua en cada línea de cepas) y si la zona diferenciada es de pequeña extensión no es factible usar la vendimiadora. Para solventar este problema se propone que estas zonas de pequeño tamaño se vendimien de forma manual y antes del paso de la máquina vendimiadora.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una metodología que, partiendo del conocimiento de parámetros de calidad del mosto y cantidad de uva, permite hacer una zonificación de viñedos mediante la utilización de herramientas SIG y técnicas de evaluación multicriterio. El método permite hacer zonificaciones basadas en criterios de calidad, criterios productivos o una combinación de ambos.

Una de las principales aportaciones del método propuesto es su versatilidad, ya que permite una zonificación relativa aplicable a otras variedades y zonas de producción, válida para otras campañas vitivinícolas y útil para los viticultores que pretendan mejorar la calidad del vino o incrementar su volumen de producción.

Los criterios para la evaluación del potencial vitivinícola son los parámetros que habitualmente se determinan antes de decidir la fecha la vendimia. Por tanto, cualquier viticultor puede poner en marcha este sistema en sus viñedos con un bajo coste y le permitirá identificar zonas homogéneas en sus viñedos y su localización espacial.

Aplicando la metodología en las cuatro parcelas de la D.O. Bierzo, se ha determinado la variabilidad espacial de la calidad del mosto y de la cantidad de uva en cada parcela. Esta información permite al viticultor actuar de forma diferenciada en cada zona y así disminuir costes y fijar nuevos objetivos para las siguientes campañas.

Como línea futura de trabajo se plantea utilizar software sobre dispositivos PDA para la captura simultánea de información espacial y características de la uva, así como la introducción de nuevos criterios que representen la variabilidad del suelo (topografía, análisis químico, etc.) para la mejora de las zonificaciones.

5. REFERENCIAS

Arnó J, Martínez-Casasnovas JA, Blanco R, Bordes X, Esteve, J. 2005. *Viticultura de precisión en Raimat (Lleida). Experiencias durante el período 2002-2004*. ACE: Revista de Enología 64. [Consulta: 16-08- 2010].

Disponible en: http://www.acenologia.com/ciencia73_01.htm

Barredo JI. 1996. *Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio*. Madrid: RA-MA.

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

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

Bramley RGV. 2000. *Measuring within vineyard variability in yield and quality attributes*. In: Lamb DW. (Ed): *Vineyard monitoring and management beyond 2000*. Final report on a workshop investigating the latest technologies for monitoring and managing variability in vineyard productivity. Wagga Wagga, Cooperative Research Centre for Viticulture / National Wine Grape Industry Centre: 8–14.

Bramley RGV. 2001. *Research supporting the development of optimal resource management for grape and wine production*. In: Bramley, R.G.V. (Ed): *Precision Viticulture-Principles, opportunities and applications*. Adelaide, Australian Wine Industry: 29–33.

Bramley RGV, Williams SK. 2001. *A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercial available yield monitors*. Adelaide, Cooperative Centre for Viticulture and CSIRO Land and Water [Consulta: 16-08-2010].
Disponible en: http://www.cse.csiro.au/client_serv/resources/crcvyield_map_ping_protocol.pdf

Bramley RGV, Hamilton RP. 2004. *Understanding variability in winegrape production systems I. Within vineyard variation in yield over several vintages*. Australian Journal of Grape and Vine Research 10(1): 32–45.

Bramley RGV. 2005. *Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages*. Australian Journal of Grape and Vine Research 11(1): 33–42.

Cortell JM, Halbleib M, Gallagher AV, Righetti TY, Kennedy JA. 2005. *Influence of vine vigor on grape (Vitis Vinifera L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins*. Journal of Agriculture and Food Chemistry 53(14): 5798–5808.

Cortell JM, Halbleib M, Gallagher AV, Righetti TY, Kennedy, JA. 2007. *Influence of vine vigor on grape (Vitis Vinifera L. cv. Pinot Noir) anthocyanins. 1. Anthocyanin concentration and composition in fruit*. Journal of Agriculture and Food Chemistry 55(16): 6575–6584.

De Andres-De Prado R, Yuste-Rojas M, Sort X, Andres-Lacueva C, Torres M, Lamuela-Raventos RM. 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): 779–786.

Esser A, Ortega R. 2002. *Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile: Estudio de casos*. Agronomía y forestal UC 17: 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 15:4–9.

Flores LA. 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): 210–220.

Girard G. 2004. *Bases científicas y tecnológicas de la enología*. Madrid: AMV Ediciones

Hall A, Lamb DW, Holzapfel B, Louis J. 2002. *Optical remote sensing applications in viticulture. A review*. Australian Journal of Grape and Vine Research 8(1): 36–47.

Matese A, Di Gennaro SF, 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 MA, Matos SG, Serôdio C. 2008. *A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture*. Computers and Electronics in Agriculture 62(2):94–106.

Rodríguez-Pérez JR, Álvarez MF, Peters S. 2008. *Aplicación de los SIG para determinar la variabilidad espacial de parámetros de calidad del mosto de uva. Experiencia en la D.O. Bierzo*. Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial 1(1): 412–423. [Consulta en: 16-08-2010]. Disponible en http://age.ieg.csic.es/metodos/gran_canaria08/ponencia_2/Rodriguez%20Perez%20et%20al.pdf

Santos Preciado JM, Borderías Uribeondo MP. 2002. *Introducción al análisis medioambiental de un territorio*. Madrid: UNED.