



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TESIS DOCTORAL

Título
Análisis y manejo de la variabilidad intraparcularia del viñedo en relación con la calidad de la uva y del vino
Autor/es
Irene Bonilla García
Director/es
José Antonio Martínez-Casasnovas y Fernando Martínez de Toda Fernández
Facultad
Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática
Titulación
Departamento
Agricultura y Alimentación
Curso Académico
2014-2015



Análisis y manejo de la variabilidad intraparcularia del viñedo en relación con la calidad de la uva y del vino, tesis doctoral

de Irene Bonilla García, dirigida por José Antonio Martínez-Casasnovas y Fernando Martínez de Toda Fernández (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



IRENE BONILLA GARCÍA

JULIO 2015 • TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS Y MANEJO DE LA VARIABILIDAD INTRAPARCELARIA
DEL VIÑEDO EN RELACIÓN CON LA CALIDAD DE LA UVA Y DEL VINO**

Tesis Doctoral

"Análisis y manejo de la variabilidad intraparcclaria del viñedo en relación con la calidad de la uva y del vino"

Irene Bonilla García

Julio 2015

Directores:

Dr. JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ-CASASNOVAS

Catedrático de Edafología y Química Agrícola en el Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universidad de Lleida

Dr. FERNANDO MARTÍNEZ DE TODA FERNÁNDEZ

Catedrático de Producción Vegetal en el Departamento de Agricultura y Alimentación de la Universidad de La Rioja

El **Dr. José Antonio Martínez-Casasnovas**, Catedrático del Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universidad de Lleida y el **Dr. Fernando Martínez de Toda Fernández**, Catedrático del Departamento de Agricultura y Alimentación de la Universidad de La Rioja, como Directores de la Tesis Doctoral

CERTIFICAN:

Que la presente Memoria, de título, "*Análisis y manejo de la variabilidad intraparcelsaria del viñedo en relación con la calidad de la uva y del vino*" que, para optar al grado de Doctora, presenta la Ingeniera Técnica Agrícola y Licenciada en Enología Doña Irene Bonilla García, ha sido realizada bajo nuestra dirección.

Que consideran que el trabajo está finalizado y representa materia de Tesis por lo que autorizan su presentación en la Universidad de La Rioja.

Y para que así conste, expedimos el presente certificado en Logroño, a seis de Julio de dos mil quince.



Dr. J. A. Martínez-Casasnovas



Dr. F. Martínez de Toda

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer ante todo a mis dos directores de tesis, José Antonio y Fernando, por todo lo que he aprendido en este tiempo gracias a vosotros. Por el gran equipo La Rioja - Lleida que hemos formado durante estos años, y la buena sintonía que hemos conseguido establecer, cada uno aportando su valiosa visión en cada discusión surgida a lo largo del trabajo. Por vuestra disponibilidad, ya fuera lunes o domingo, por vuestra comprensión y sobre todo, por el apoyo y por haber confiado en mí, a sabiendas que era una misión difícil la nuestra. No tengo suficientes palabras para mostraros mi agradecimiento.

No puedo olvidarme de los que me acompañaron en mis primeros pasos en el mundo de la investigación del grupo de Viticultura de la Universidad de La Rioja, muchas gracias a todos ellos: Pedro, Juanan, Maripaz, Ángel, Lya, Rodrigo, Wei... Y también a los profesores Javier Tardáguila y Manuel Oliveira, por haber contribuido a mi formación como investigadora.

Dar también las gracias a todo el equipo de Eguren Ugarte, del que he formado parte durante cuatro años y del que guardo para siempre muy buenos recuerdos. Esther, Javi, Rocío, José Miguel, Asun, y muchos más... Habéis sido una ayuda indispensable para el desarrollo de esta tesis y vuestro es también este trabajo.

A todos aquellos, que de una manera o de otra, han colaborado en la elaboración de la tesis: al equipo de Ana Aizpurúa en la descripción de calicatas, a Jose María Cornejo de Argongra por su gran labor con el sensor de suelos, al profesor Jaume Arnó por su atención en Lleida, y a los magníficos enólogos que desinteresadamente han catado los vinos: a los ya nombrados y también a Pedro Pablo, Raquel, Susana, Ruth, Ángel y Fernando. Y a Cris, por lo artista que es y su gran diseño de las portadas.

A mis amigas y amigos, a mis compañeras de equipo, por levantarme el ánimo en el día a día, por tener siempre una palabra de ánimo, un detalle para seguir adelante, entender mis ausencias y apoyarme siempre.

Por último, a los míos. A mi hermana Silvia, porque tengo la gran responsabilidad de ser su ejemplo a seguir y no puedo estar más orgullosa de ella. A mi incansable abuela, ejemplo de trabajo y superación. A mi madre, María Rosa, porque ella me ha enseñado a esforzarme por lo que quiero y a no tirar la toalla en los momentos difíciles. A mi padre, Juan Antonio, que me ha inculcado la pasión por el vino y el amor a la viña. Y por supuesto, a mi compañero de viaje, de penas y alegrías, Fer, responsable de la parte invisible de esta tesis, gracias por estar ahí, siempre, sin condiciones.

“

La tecnología por sí sola no basta.

También tenemos que poner el corazón.

”

Jane Goodall

Publicaciones

Durante el periodo de elaboración de la Tesis, se han publicado varios artículos en revistas científicas y revistas técnicas, así como varias comunicaciones en congresos. A continuación se exponen todos ellos.

Artículos científicos y comunicaciones en congresos relacionados con la temática de la tesis:

Bonilla, I., Martínez de Toda, F., Martínez-Casasnovas, J.A. 2013. Grape quality assessment by airborne remote sensing over three years. J Stafford (ed.). Precision Agriculture '13. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

Bonilla, I., Martínez de Toda, F., Martínez-Casasnovas, J.A. 2014. Vineyard zonal management for grape quality assessment by combining airborne remote sensed imagery and soil sensors. SPIE Proceedings Vol. 9239 Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XVI, Noviembre de 2014. Ed. Neale, C.M.U. y Maltese, A.

Bonilla, I., Martínez de Toda, F., Martínez-Casasnovas, J.A. 2014. Relación positiva entre antocianos y vigor en añadas cálidas. I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Noviembre de 2014, Logroño.

Bonilla, I., Martínez de Toda, F., Martínez-Casasnovas, J.A. 2015. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo". Spanish Journal of Agricultural Research, 13 (2): 1-8.

Bonilla, I., Martínez de Toda, F., Martínez-Casasnovas, J.A. 2015. Unexpected relationships between vine vigor and grape composition in warm climate conditions. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 49: 153-162.

Artículos técnicos y comunicaciones en congresos no relacionados directamente con la temática de la tesis:

Serrano de la Hoz, K., Pedroza, M.A., Bonilla, I., Carmona, M. y Salinas, M.R. 2013. Efecto de diferentes prácticas agronómicas en el potencial aromático glicosídico de uvas de la variedad tempranillo. Congreso GIENOL, Junio de 2013, Madrid.

Serrano de la Hoz, K., Bonilla, I. Zalacain, A., Carmona, M., Alonso, G.L., Salinas, M.R. 2015. IPAy, una herramienta para diferenciar el potencial aromático de uvas Tempranillo sometidas a distintas prácticas agronómicas. Revista Winetech, nº Febrero 2015: 22-25.

Índice

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problemática.....	3
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Estructura de la Tesis.....	5
Capítulo 2. ANTECEDENTES.....	10
2.1. Viticultura de precisión.....	13
2.1.1. Orígenes de la viticultura de precisión.....	13
2.1.2. Ciclo de la viticultura de precisión.....	14
2.1.3. Aplicaciones de la viticultura de precisión.....	16
2.1.4. Tecnologías empleadas en la viticultura de precisión.....	17
2.2. Factores de calidad de la uva.....	28
2.2.1. El suelo.....	30
2.2.2. El clima	31
2.2.3. La variedad.....	33
2.2.4. Técnicas de cultivo.....	34
2.3. Calentamiento climático y calidad de uva.....	35
Capítulo 3. ÁREA DE ESTUDIO.....	40
3.1. Localización del viñedo experimental.....	43
3.2. Caracterización climática.....	44
3.3. Caracterización edafológica.....	46
Capítulo 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	54
4.1. Descripción general de la investigación	57
4.2. Cálculo del NDVI y mapas de vigor a partir de imágenes aéreas multiespectrales ...	58
4.3. Cartografía de la conductividad eléctrica aparente del suelo	60
4.4. Extracción de valores individuales de cepa y zonificaciones de la parcela.....	61
4.5. Toma de datos en campo.....	61
4.6. Análisis en laboratorio.....	64
4.7. Microvinificaciones.....	64
4.8. Composición y características sensoriales del vino.....	66
4.8.1. Análisis físico-químico de los vinos.....	66
4.8.2. Análisis sensorial de los vinos	67
4.9. Análisis estadístico.....	68

Capítulo 5. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y CUALITATIVOS DE LA UVA A TRAVÉS DE UN ÍNDICE DE ESTIMACIÓN DEL VIGOR Y DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA APARENTE DEL SUELO.....	70
5.1. Introducción.....	73
5.2. Desarrollo.....	74
5.3. Resultados y discusión.....	77
5.3.1. Variabilidad de los parámetros vegetativos, productivos y de calidad de uva.....	77
5.3.2. Coeficientes de correlación.....	77
5.3.3. Zonificación en base al NDVI.....	79
5.3.4. Zonificaciones combinadas: evaluación de la estabilidad temporal de las unidades de manejo.....	82
5.4. Conclusiones del capítulo.....	87
Capítulo 6. INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA EN LAS RELACIONES ENTRE VIGOR Y ANTOCIANOS DE UVA.....	90
6.1. Introducción.....	93
6.2. Desarrollo.....	94
6.3. Resultados y discusión.....	95
6.4. Conclusiones del capítulo.....	100
Capítulo 7. VARIABLES VITÍCOLAS MÁS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE LA UVA EN LOS DIFERENTES AÑOS DE ESTUDIO.....	102
7.1. Introducción.....	105
7.2. Desarrollo.....	106
7.3. Resultados y discusión.....	110
7.4. Conclusiones del capítulo.....	113
Capítulo 8. INFLUENCIA DEL VIGOR DEL VIÑEDO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VINO...	114
8.1. Introducción	117
8.2. Desarrollo.....	118
8.3. Resultados y discusión.....	119
8.3.1. Composición físico-química del vino.....	119
8.3.2. Evaluación sensorial del vino.....	123
8.4. Conclusiones del capítulo.....	127
Capítulo 9. CONCLUSIONES GENERALES.....	130
BIBLIOGRAFÍA.....	136

Índice de Figuras

Figura 1.1. Mapas de vigor (NDVI) de los viñedos de una explotación vitícola de tamaño medio en 2011 donde se aprecia la gran variabilidad de los viñedos.....	4
Figura 1.2. Esquema de la Tesis.....	7
Figura 2.1. Ciclo de la viticultura de precisión.....	15
Figura 2.2. Ejemplo de procesado con herramientas SIG	18
Figura 2.3. Mapa de producción de uva obtenido mediante un monitor de rendimiento montado en una vendimiadora	19
Figura 2.4. Sensores CropCircle montados sobre un quad en un viñedo de Rioja Alavesa. ...	20
Figura 2.5. Sensor edáfico EM38 de conductividad eléctrica: calibración y uso sobre trineo plástico en un viñedo de Rioja Alavesa.....	22
Figura 2.6. Atomizador y sensores de ultrasonidos para VRD	23
Figura 2.7. Factores que influyen en la calidad de la uva y del vino	29
Figura 2.8. Diferencias en suelos: perfiles con composición, profundidad y disponibilidad hídrica diversa.....	30
Figura 2.9. Mapa de temperaturas medias durante el ciclo vegetativo: modelo de predicción moderado para 2100	36
Figura 3.1. Localización del viñedo experimental en el término municipal de Párganos, Laguardia (Álava). Línea X-X' corresponde al perfil topográfico de la Figura 3.2.....	43
Figura 3.2. Perfil transversal a lo largo del viñedo experimental de X a X'.....	44
Figura 3.3. Unidades cartográficas de suelos según el estudio de Barrios (1994) y localización de las calicatas.....	46
Figura 4.1. (a) Imagen de la espaldera del viñedo experimental y (b) localización de las cepas seleccionadas para su muestreo en campo.....	57
Figura 4.2. Esquema de la metodología empleada.....	58
Figura 4.3. Avioneta Cessna utilizada en la adquisición de las imágenes aéreas, propiedad de la empresa RS Aviation, S.L.....	59
Figura 4.4. Sensor EM38 montado sobre trineo y arrastrado por un quad en el viñedo experimental.....	60
Figura 4.5. Concepto simplificado de Superficie Foliar Expuesta (superficie foliar externa de la vegetación)	63
Figura 4.6. Mostos de uva extraídos para análisis físico-químico en laboratorio.....	64
Figura 4.7. Despalillado y estrujado de la uva y encubado en depósitos de 30L.....	65

Figura 5.1. Mapas continuos de NDVI para los cuatro años de estudio y mapa continuo de ECa.....	75
Figura 5.2. Mapas de zonificación para las cinco combinaciones posibles: (a) NDVI, (b) ECa, (c)NDVI & ECa, (d) NDVI y (e) NDVI & ECa.(CL1= Cluster 1; CL2= Cluster 2).....	84
Figura 6.1. Evolución de temperaturas máximas y mínimas en los años vitícolas 2010-2013	95
Figura 6.2. Representación del Índice de Winkler en los años 2010-2013.....	96
Figura 8.1. Gráficos radiales para los valores obtenidos en el análisis sensorial descriptivo-cuantitativo sobre los vinos elaborados en los cuatro años de estudio.....	123
Figura 8.2. Gráficos bi-plot correspondientes al análisis de componentes principales del análisis sensorial descriptivo-cuantitativo de los vinos. Los vinos están graficados como la posición media de las repeticiones.....	125

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Caracterización climática en la finca experimental en los años 2010, 2011, 2012 y 2013.....	45
Tabla 3.3. Fotografía, descripción y clasificación de la calicata 1	51
Tabla 3.4. Fotografía, descripción y clasificación de la calicata 2	52
Tabla 3.5. Análisis físico-químico y descripción en campo de la calicata 1.....	53
Tabla 3.6. Análisis físico-químico y descripción en campo de la calicata 2.....	53
Tabla 4.1. Fechas de toma de datos en los cuatro años de estudio.....	62
Tabla 4.2. Estándares aromáticos y de percepción para el análisis sensorial de los vinos.....	67
Tabla 5.1. Resumen estadístico de los parámetros de vigor, producción y uva analizados....	78
Tabla 5.2. Coeficientes de Spearman entre el NDVI y los diferentes parámetros de vigor, producción y uva analizados.	79
Tabla 5.3. Análisis ANOVA y separación de medias (LSD Fisher) para la zonificación del vigor (NDVI) en tres zonas: alto, medio y bajo vigor.....	80
Tabla 5.4. Resumen del análisis ANOVA para las cinco posibilidades de zonificación.....	85
Tabla 5.5. Resumen de los <i>clusters</i> o zonas significativamente diferentes para los parámetros de analizados según tipología: desarrollo vegetativo, producción, madurez tecnológica y madurez fenólica.....	86
Tabla 6.1. Análisis ANOVA y separación de medias (LSD Fisher) para la zonificación del índice de vegetación (NDVI) en dos zonas: alto y bajo vigor.....	97
Tabla 6.2. Diferencia en porcentaje de antocianos entre la zona de alto vigor con respecto a la de bajo vigor. Datos como concentración y por unidad de superficie de hollejo.....	99
Tabla 6.3. Períodos de temperatura superior a 35°C en los cuatro años de estudio.....	100
Tabla 7.1. Cuadro resumen de las variables medidas y sus características e idoneidad para el modelo de regresión del índice de calidad.	108
Tabla 7.2. Resultados de la modelización por análisis de regresión del Índice de calidad de la uva 1 (QI_1)	110
Tabla 7.3. Resultados de la modelización por análisis de regresión del Índice de calidad de la uva 2 (QI_2).....	112
Tabla 8.1. Análisis ANOVA y separación de medias para los parámetros físico-químicos del vino en base al vigor.....	120
Tabla 8.2. Vectores propios de las variables gustativas y aromáticas del PCA.....	125

Resumen

La variabilidad espacial del viñedo es un hecho conocido que origina diferentes respuestas en la planta a nivel de expresión vegetativa, producción y composición del fruto. En las últimas décadas, en el marco de la denominada viticultura de precisión, se han desarrollado diversas tecnologías, que son capaces de medir, de manera rápida y precisa, la variabilidad espacial de ciertas características del viñedo como, por ejemplo, el vigor (a través de índices espectrales, p.e. NDVI y otros) o la conductividad eléctrica aparente del suelo "ECa" (a través de sensores edáficos).

En este contexto, los objetivos de la presente Tesis fueron los de evaluar el verdadero alcance de estas herramientas en un viñedo de una bodega familiar, con el fin de establecer un manejo diferencial en vendimia, poniendo en relevancia los puntos fuertes y débiles de las mismas e investigando las relaciones ecofisiológicas entre vigor y ciertas propiedades del suelo con la calidad de la uva y el vino obtenido, todo ello en años climatológicamente muy diferentes.

La investigación se realizó en un viñedo de secano de la variedad Tempranillo situado en la Rioja Alavesa, entre los años 2010 al 2013. Se tomaron imágenes aéreas multiespectrales al comienzo del invierno en los cuatro años de estudio, a partir de las cuales se obtuvieron los mapas del índice de vigor de la diferencia normalizada (NDVI). En 2011 se realizó una cartografía de la conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa) mediante el sensor electromagnético EM38. Se muestrearon 54 cepas para la medición de los parámetros vegetativos, productivos y de composición de la uva. A partir de los mapas continuos de NDVI y ECa, se zonificó la parcela en distintas unidades de manejo basadas en diversas combinaciones de vigor con la conductividad eléctrica aparente del suelo. Esto sirvió para categorizar las cepas muestreadas y realizar un análisis de comparación de medias para cada uno de los parámetros estudiados. También se realizaron comparaciones directas entre los valores de NDVI extraídos para cada cepa y los parámetros de estudio. Por otro lado, se elaboraron dos índices de calidad de la uva a partir de los cuales se realizó un análisis de regresión multiparamétrico con respecto a las variables medidas en campo y a partir de las imágenes aéreas. Finalmente, se realizó la vendimia de la uva en base a las zonas de vigor y se elaboraron los vinos en pequeños depósitos en condiciones controladas.

Los resultados mostraron una alta variabilidad en el viñedo, con coeficientes de variación menores en parámetros de composición de la uva como pH o azúcares, algo mayores en antocianos y polifenoles, y mucho mayores en parámetros productivos o vegetativos. El NDVI mostró gran capacidad para identificar el estado vegetativo del viñedo y, en muchos casos, también las características productivas de las cepas. En lo que se refiere a la calidad de la uva, se encontraron relaciones positivas entre vigor y antocianos en los años más secos y calurosos. Los parámetros que explicaron en un mayor grado la calidad de la uva fueron los relacionados con el estrés hídrico en dichos años, mientras que cuando la disponibilidad hídrica no fue limitante, el equilibrio vegetativo-productivo pareció ser el aspecto más determinante. El análisis de zonificación de la parcela fue mejor cuando se incluyeron datos relativos al suelo, incluso llegando a aportar casi la misma información que los datos de vigor de varios años consecutivos. Los vinos elaborados a partir de cepas ubicadas en zonas de bajo vigor mostraron un carácter gustativo y aromático más maduro, mientras que los procedentes de zonas de alto vigor mostraron un carácter más fresco, ácido y frutal.

La gestión de la alta variabilidad espacial del viñedo tiene grandes implicaciones a la hora de obtener el máximo potencial de calidad ya que las uvas procedentes de cada zona del viñedo presentan características diferentes en función de la climatología particular de cada añada y de las condiciones ecofisiológicas que se establecen, especialmente, a nivel del microclima de los racimos.

Abstract

Vineyard spatial variability is a known issue that implies different plant responses at a vegetative, yield and grape composition level. In the last decades, several technologies in the field of Precision Viticulture have been developed, which capable of measuring, fast and precisely, the variability of some of the vineyard characteristics, such as vigor (through spectral indexes, i.e. NDVI or others) or soil apparent electrical conductivity (through soil sensors).

In this context, the goals of the present research were to evaluate the true scope of these tools in a familiar vineyard state, in order to establish a differential management in harvest, highlighting their strengths and weaknesses, and studying the ecophysiological relations between vigor and certain soil properties with grape and wine quality, all of that in different climatologically years.

The research was conducted in a Tempranillo rainfed vineyard situated in Rioja Alavesa, in the years 2010 to 2013. Multispectral airborne imagery was acquired at the beginning of *véraison* in the four years of study, from which the normalized difference vegetation index (NDVI) maps were obtained. In 2011 a soil apparent electrical conductivity (ECa) survey was performed by means of an EM38 electromagnetic sensor. Fifty-four vines were sampled for vegetative, yield and fruit composition parameters. A clustering analysis was run combining NDVI and ECa continuous maps, resulting in different management zones. This was used to categorize the sampled vines and therefore run a comparing mean analysis of every studied parameter. Direct comparisons were also made between vine NDVI extracted values and the parameters of study. Moreover, two grape quality index were created from which a multiparametric regression analysis was performed in relation with the measured variables. Finally, grapes were harvested according to different vigor zones and wines were made in small tanks.

Results showed a high vineyard variability, with lower variation coefficients in grape composition parameters such as pH or sugars, a little higher in anthocyanins and phenols, and quite higher in vegetative or yield parameters. NDVI was capable of identifying vineyard vegetative status, and many times, yield characteristics of the vines. Regarding grape quality, positive relationships were found between vigor and anthocyanins in the warmest and driest years. Those years, parameters that better explained grape quality were those related to

water stress. When water availability was not a limiting factor, the vegetative-yielding balance seemed to be more decisive. Clustering analysis showed a better performance when soil data was included, providing almost the same accuracy as the vigor data from the four years of study. Wines made with grapes coming from low vigor vines showed a mature sensorial profile, whilst those coming from high vigor vines revealed a fresher character, sourer and fruitier.

Managing the high vineyard spatial variability implies a better profit from grape quality, since it has been proved that grapes coming from different parts of the vineyard present different characteristics depending on the climate, and therefore, the ecophysiological conditions that are established, specially speaking of bunch microclimate.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

La Denominación de Origen Calificada (D.O.Ca.) Rioja acapara el 36,4% de la cuota de mercado de vinos españoles con denominación de origen, dato que asciende al 48,5% si se considera solamente el vino tinto. La subzona de Rioja Alavesa supone alrededor del 21% de la superficie de viñedo inscrito en la Denominación, con cerca de 13.300 ha y 263 bodegas inscritas (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2013). El cultivo de la vid en esta zona se basa en el modelo de viticultura tradicional mediterránea, con más de 5.000 años de historia y tiene una gran importancia socio-económica, suponiendo alrededor del 62% del Valor Agregado Bruto del sector agroalimentario de Álava. El paisaje del viñedo es diverso, adaptado a las particularidades climáticas y topográficas de la zona, con viñedos en su mayoría en secano, en terrenos calizos, pobres y con bajas producciones.

La presente investigación surge a raíz de una necesidad interna planteada en el seno del equipo técnico de una bodega familiar de tamaño medio, propietaria de una explotación vitícola de cerca de 100 ha de viñedo, dentro de la subzona de Rioja Alavesa.

Esta necesidad, común a la mayoría de las bodegas de similares características, se planteó a la hora de evaluar las diferentes calidades y tipologías de la materia prima, con objeto de asignarla a los diferentes estilos de vino que demandan los clientes. Desde la dirección de las bodegas cada vez suele ser mayor la presión sobre el equipo técnico, al que se le exige crear nuevos productos diferenciados, especiales, de alta gama, etc., que despiquen en un mercado cada vez más competitivo. Ante una gestión homogénea de la vendimia, tanto a nivel de lotes de uva como de logística, las bodegas se enfrentan a esta situación con escasas herramientas y muy poca versatilidad para poder asumir dichos retos.

En la extensión total de esta explotación vitícola citada coexisten tanto parcelas pequeñas como grandes, con una superficie media de 4 ha, y llegando a alcanzar, la mayor de ellas, una superficie de 14 ha. Este escenario es fiel representación de la estructura del viñedo en Rioja Alavesa; muy atomizada, con parcelas más bien pequeñas y en muy diversas localizaciones y parajes. Trabajar a nivel global de parcela resulta insuficiente y se hace necesario, cada vez más, el adaptarse a la variabilidad intrínseca de las parcelas (Figura 1.1).

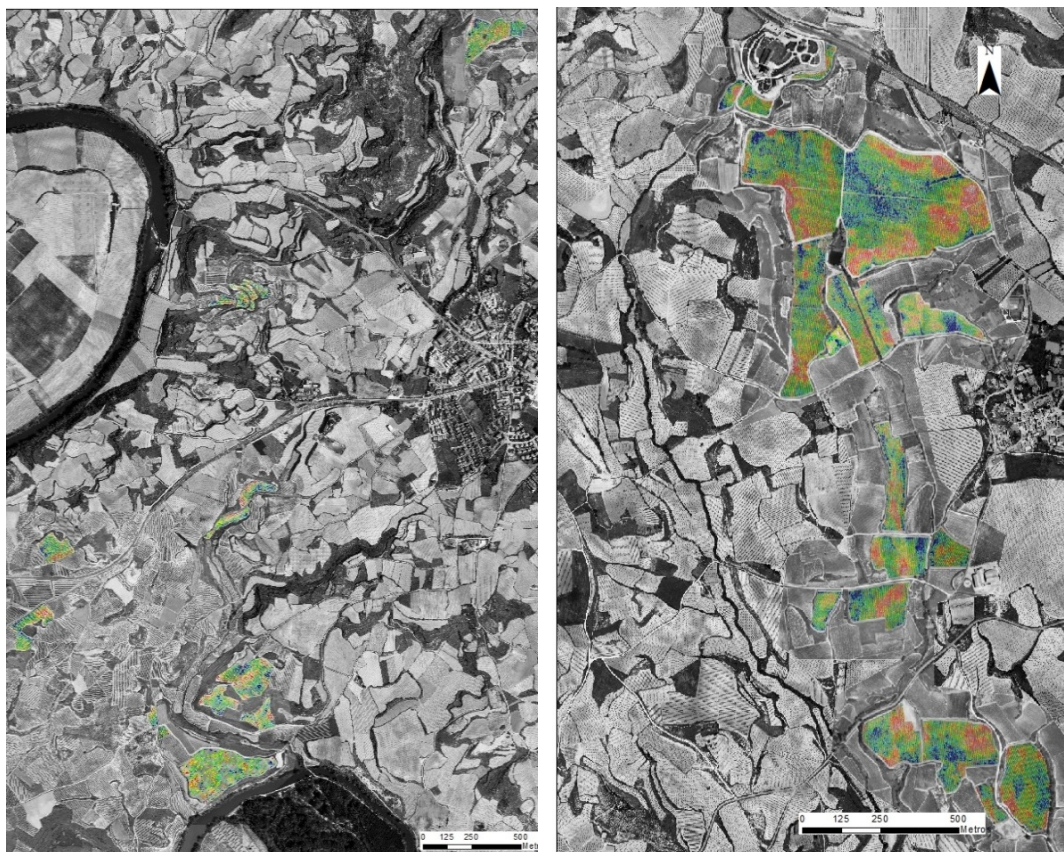


Figura 1.1. Mapas de vigor (NDVI- Índice de Vegetación de diferencia normalizada) de los viñedos de una explotación vitícola de tamaño medio en 2011 donde se aprecia la gran variabilidad de los viñedos.

En la actualidad, la disponibilidad de ciertas tecnologías en el sector vitícola (teledetección, sensores, GPS, monitores de rendimiento, etc.) ha permitido conocer y analizar la respuesta diferencial de la viña de una manera más objetiva y precisa, añadiendo valor al conocimiento más tradicional y empírico del manejo del viñedo. Estas herramientas, relativamente nuevas en el sector, prometen hacer más fácil enfrentarse a estos nuevos retos planteados. Desde hace dos décadas son múltiples los avances que se han hecho en el campo de la Viticultura de Precisión. Son, también, muchas las bodegas a nivel nacional que se están iniciando o trabajan ya con estas tecnologías, en particular con imágenes aéreas de vigor para la gestión diferenciada del viñedo. Son menos, no obstante, las que utilizan sensores de propiedades del suelo, quedando prácticamente relegados a un segundo plano. A pesar de los resultados prometedores de los que suele ir acompañada la difusión *marketiniana* de la Viticultura de Precisión, son escasos los trabajos a nivel práctico que han ido más allá en la valoración de la utilidad real de estas metodologías, cuestionándose si realmente existen diferencias tangibles entre las uvas, incluso los vinos, procedentes de diferentes zonas de

manejo diferenciado. Muy frecuentemente, a estas herramientas se les atribuyen unas capacidades sobreestimadas, especialmente a lo que calidad de uva se refiere, que en muchas ocasiones no aportan, o no lo hacen por sí solas, un conocimiento válido sobre la realidad “a pie de campo”.

La presente Tesis se plantea como una investigación objetiva, rigurosa y durante un período de cuatro años sobre la capacidad real de estas herramientas a la hora de explicar el comportamiento del viñedo, especialmente en lo que se refiere a calidad de la uva.

1.2. Objetivos

Según los planteamientos expuestos anteriormente, los objetivos generales de la investigación son:

- (A) Evaluar los parámetros productivos y cualitativos de la uva a través de un índice de estimación del vigor y de la conductividad eléctrica aparente del suelo.
- (B) Investigar la influencia del vigor sobre la composición antocianica de la uva.
- (C) Analizar las variables vitícolas más determinantes en la calidad de la uva a través de un índice de calidad.
- (D) Investigar la influencia del vigor sobre la calidad del vino.

1.3. Estructura de la Tesis

La organización de una Tesis Doctoral normalmente suele realizarse bien por capítulos, si se articula como compendio de publicaciones, o bien según un patrón más clásico, con apartados comunes para la introducción, materiales y métodos, etc. La presente Tesis está

organizada con una estructura intermedia entre ambos casos, con objeto de que no se pierdan ciertos aspectos fundamentales del trabajo global de la investigación. Así, la Tesis se estructura en varios capítulos: los tres primeros son introductorios, y junto con el cuarto, dedicado a los materiales y métodos, son comunes a todo el trabajo de investigación. Los cinco siguientes abordan cada uno de los objetivos planteados, centrados en los resultados de los mismos, si bien en cada uno de ellos se incluye una pequeña introducción, resumen de la metodología empleada y conclusiones propias del capítulo. Por último, se recogen las conclusiones generales de la Tesis (Figura 1.2).

En el presente capítulo (Capítulo 1) se hace una introducción general al tema de investigación y su problemática. El Capítulo 2 recoge un breve estado del arte en las materias más importantes que se abordan y que se consideran fundamentales como apoyo para la comprensión del resto de la Tesis. Se presenta información sobre los factores determinantes de la calidad de la uva, la influencia del cambio climático y los avances en la viticultura de precisión.

En el Capítulo 3 se describe el área de estudio con su localización, características climáticas y edafológicas. En el Capítulo 4 se presentan los materiales y la metodología empleados en las diferentes partes de la investigación.

El objetivo A, referente al análisis de la información aportada por los datos de la conductividad eléctrica aparente del suelo y del índice de vigor del viñedo con respecto a parámetros productivos y cualitativos de la uva, se presenta en el Capítulo 5. Parte de los contenidos de este Capítulo están publicados en el libro de los Proceedings de la 9ª Conferencia Europea en Agricultura de Precisión (ECPA) del 2013: *"Grape quality assessment by airborne remote sensing over three years"*. J Stafford (ed.), 2013. *Precision Agriculture '13*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. También está publicado en el número del Spanish Journal of Agricultural Research de Junio de 2015: *"Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo"*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13 (2): 1-8. Así mismo, en torno a la segunda parte de este objetivo se presentó un paper al congreso SPIE (International Society of Optics and Photonics) celebrado en Ámsterdam en Noviembre de 2014: *"Vineyard zonal management for grape quality assessment by combining airborne remote sensed imagery and soil sensors"*. *SPIE Proceedings Vol. 9239 Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XVI*, Noviembre de 2014. Ed. Neale, C.M.U. y Maltese, A.



Figura 1.2. Esquema de la Tesis.

El Capítulo 6 se dedica a analizar en detalle los resultados inesperados obtenidos en el capítulo anterior en relación a la composición antociánica de la uva (objetivo B). Buena parte del contenido de este capítulo está aceptado y será publicado en el próximo número del Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin: *“Unexpected relationships between*

vine vigor and grape composition in warm climate conditions". Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 49: 153-162.

La investigación relativa al objetivo C se presenta en el Capítulo 7, en el que se busca elaborar un índice de la calidad de la uva que recoja cierta información sobre la composición de la misma según varios criterios enológicos. La idea es tratar de relacionar dicho índice con ciertos parámetros fácilmente medibles en campo, con objeto de investigar aquellas variables que tienen más peso en la calidad de la uva.

El Capítulo 8, que aborda el objetivo D, pretende elucidar la influencia del vigor en las características físico-químicas, y especialmente las sensoriales, de los vinos elaborados a partir de diferentes zonas del viñedo.

En el Capítulo 9 se presentan las conclusiones generales de la investigación, y, finalmente, se recoge toda la bibliografía citada en el documento.



2. ANTECEDENTES

2.1. Viticultura de precisión

2.1.1. Orígenes de la viticultura de precisión

La viticultura de precisión es un caso particular de lo que desde principios de la década de 1990 se denomina “agricultura de precisión”. Ésta nació a finales de la década de 1980 en los Estados Unidos, con el objetivo de gestionar la fertilización en campos de cereal (Stafford, 2000). Genéricamente, la agricultura de precisión se define como “el proceso de adoptar prácticas de cultivo diferenciadas en función de la variabilidad espacial y temporal intraparcelar” (Moran et al., 1997; Cook y Bramley, 1998). Desde el punto de vista histórico, puede decirse que la viticultura es la forma más evolucionada de la agricultura de precisión. Desde siempre, el viticultor ha tenido una relación muy estrecha con sus viñedos, gestionándolos de forma personalizada y tomando decisiones en muchos casos individualizadas para cada cepa.

Hoy en día a la vitivinicultura se le exige más competitividad y eficacia en la obtención de productos de máxima calidad. Para ello es necesario disponer de instrumentos de precisión y técnicas de gestión innovadoras. El desarrollo de nuevas tecnologías a partir de la década de 1990, sumado a una creciente exigencia en el sector, ha provocado un gran interés por la viticultura de precisión desde el comienzo del siglo XXI.

La viticultura de precisión se podría definir como la gestión y manejo de la variación espacial de cualquiera de las variables – físicas, químicas o biológicas- relacionadas con la productividad y la calidad de la uva producida. Según esto, cada unidad homogénea de cultivo, y no cada parcela, debe ser tratada de forma diferencial, buscando una gestión optimizada y mejor conocimiento de la variabilidad del viñedo, de la interacción entre la variedad y el ambiente y, por tanto, una mayor valorización del terroir (Hall et al., 2002).

Si bien parece lógico un manejo de forma diferenciada de las diferentes zonas de un mismo viñedo, en la mayoría de los casos el viticultor gestiona la parcela de manera uniforme, como si de una sola unidad de cultivo se tratase. Estas prácticas homogéneas provocan una pérdida de la eficacia productiva, bien mediante el uso innecesario de insumos en zonas donde no se requieren realmente o, bien, por devaluación de la calidad potencial de la

vendimia al mezclar zonas con uva de alta calidad con zonas de uva de baja calidad.

La rentabilidad de la aplicación de la viticultura de precisión depende de varios factores tales como el tamaño de la explotación, costes de adquisición y manejo de los equipos y los beneficios económicos que reporta dicho manejo diferenciado (Godwin et al., 2003).

En general, los objetivos buscados con la aplicación de la viticultura de precisión son varios:

- Maximizar el rendimiento productivo del viñedo y/o la calidad de la vendimia, a través de la adecuación de las técnicas de manejo (riego, abonados, deshojados...) a las diferentes zonas del viñedo.

- Maximizar la calidad de la cosecha, buscando la separación de lotes de uva con diferente calidad y optimizando la estrategia de vinificación de cada una de ellas. Esta posibilidad permite, además, una gestión de la vendimia según las expectativas de mercado y/o capacidad y volumen de los depósitos en la bodega.

- Minimización del impacto medioambiental: en un entorno europeo cada vez más exigente respecto a la normativa de uso de fitosanitarios y fertilizantes, y que busca la minimización del impacto de los cultivos sobre el medio ambiente, la viticultura de precisión puede jugar un papel muy importante promoviendo el uso eficiente del agua, la reducción de fertilizantes y de productos químicos contaminantes de suelos y acuíferos.

2.1.2. Ciclo de la viticultura de precisión

El proceso que conlleva la viticultura de precisión pasa por varias etapas y es un proceso cíclico (Proffit et al., 2006), como puede observarse en la Figura 2.1.

1. Observación y recogida de datos

El proceso cíclico comienza con la observación de las características del viñedo mediante datos previos o datos que se recojan mediante una serie de herramientas: imágenes de satélite o aéreas, sensores activos en marcha, monitores de rendimiento, mediciones directas en campo, muestreo de suelos, etc.

2. Interpretación y evaluación de los datos

El análisis espacial de los datos requiere un software de SIG (Sistemas de Información Geográfica). Estos programas consisten básicamente en la gestión de información georreferenciada, que permite múltiples opciones de análisis, visualización por clases y/o colores, etc. Muchos de estos programas poseen además herramientas para el análisis de los datos: procesado, geostatística, interpolación, clusterización, etc. De esta manera se obtienen mapas interpolados de vigor, rendimiento, conductividad eléctrica, etc.

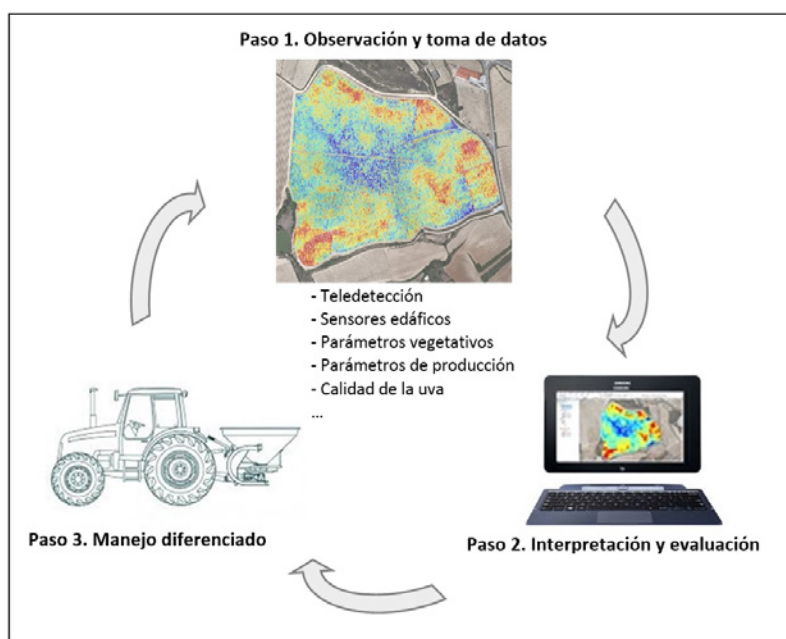


Figura 2.1. Ciclo de la viticultura de precisión.

3. Implementación del plan de gestión

A partir de los resultados obtenidos en el paso anterior, se establecerá un plan de gestión específico de la parcela. Así, ésta se dividirá en varias zonas que se gestionarán de forma diferencial. La gestión puede encaminarse a la homogeneización de la parcela mediante la reducción de la variabilidad (para cada unidad de cultivo, dosis y época de riego, fertilización, etc.), o bien a la realización de una vendimia selectiva.

Puesto que la vid es un cultivo perenne, la implantación del ciclo de viticultura de precisión en el viñedo permite una observación a largo plazo y por lo tanto una mejora continua del sistema de gestión.

2.1.3. Aplicaciones de la viticultura de precisión

La viticultura de precisión se ha desarrollado principalmente en los países del Nuevo Mundo, especialmente en Australia, donde la uva se considera un cultivo de alto valor. El primer mapa de producción se obtuvo en viñedos australianos hace más de 15 años (Bramley y Proffit, 1999). La teledetección aérea está muy desarrollada, a un precio muy competitivo, por lo que existen numerosos trabajos al respecto (Lamb et al., 2004; Hall et al., 2011; Bramley et al., 2011). Así, muchas bodegas aplican estas tecnologías en la gestión de sus viñedos, como vías para una gestión más rentable de sus explotaciones (Proffit et al., 2006; Bramley et al., 2011). Existen también abundantes trabajos en Estados Unidos (Johnson et al., 2001; Dobrowsky et al., 2003; Reynolds et al., 2007b; Taylor et al., 2013). También en otros países americanos como Argentina (Bragachini, 2002) y Chile (Acevedo-Opazo et al., 2008) la viticultura de precisión está adquiriendo un notable desarrollo. En Europa se ha desarrollado principalmente en Francia (Tisseyre et al., 2008; André et al., 2012), también en Italia (Fiorillo et al., 2012; Filippetti et al., 2013), Portugal (Cunha et al., 2010) y Grecia (Stamatiadis et al., 2006; Tagarakis et al., 2013). En España, la viticultura de precisión comenzó a desarrollarse discretamente a partir del año 2002, pero aún no ha llegado a generalizarse a nivel práctico entre los vitivinicultores. Sin embargo existen numerosos estudios al respecto (Martínez-Casasnovas y Bordes, 2005; Zarco-Tejada et al., 2005; Rodríguez-Pérez et al., 2011; Martínez-Casasnovas et al., 2012; Arnó et al., 2012; Baluja et al., 2013; Santesteban et al., 2013).

Algunas de las posibilidades de aplicación de la Viticultura de Precisión son:

- Monitorización del vigor del viñedo a lo largo del ciclo vegetativo.
- Detección de enfermedades y/o carencias de forma precoz.
- Obtención de mapas de rendimiento de uva.
- Creación de zonas delimitadas para vendimia separada en función de su potencial enológico.
- Mejora de prácticas vitícolas (deshojados, despampanados...).
- Optimización del riego a través de la estimación del estado hídrico.

2.1.4. Tecnologías empleadas en la viticultura de precisión

En los últimos años se ha asistido a un gran desarrollo de nuevas tecnologías, lo que ha permitido un importante avance en el uso de nuevos instrumentos y aplicación de innovadoras tecnologías en la viticultura de precisión.

En viticultura de precisión encontramos principalmente las siguientes herramientas:

- Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)
- Sistemas de Información Geográfica (SIG/GIS)
- Monitores de rendimiento
- Sensores activos en continuo (*on-the-go*) (p.e., cartografía en continuo de la conductividad eléctrica aparente del suelo)
- Tecnologías de aplicación variable (Variable rate dosing VRD)
- Teledetección

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Son sistemas de navegación por satélite que proporcionan información espacial tridimensional en forma de coordenadas geográficas: longitud, latitud y altitud. El sistema GPS recoge información de diferentes satélites en órbita alrededor de la Tierra, a partir de los cuales calcula la posición basándose en el tiempo en que tarda en recibir la señal.

Existen diferentes tipos de GPS según la precisión horizontal que posean. La mayoría de GPS utilizados en viticultura de precisión devuelven precisiones menores de un metro. Se trata de los GPS diferenciales o dGPS que, aunque sólo poseen una precisión de varios metros en el plano altimétrico, suelen ser suficientes para las aplicaciones más comunes en viticultura de precisión.

El uso de GPS en viticultura de precisión tiene varias utilidades, permitiendo delimitar los bordes de la parcela y ubicar cepas marcadas de estudio, de las cuales se posee información recogida en campo. Además, los GPS son los responsables de georreferenciar asignar los datos de sensores *on-the-go* (EM38, Cropcircle, etc.).

En los últimos años, se han desarrollado ostensiblemente los dispositivos electrónicos denominados “tabletas” así como los “smartphones”. Estos dispositivos móviles llevan incorporado un GPS y permiten la instalación de aplicaciones de visualización de mapas. De esta manera, el viticultor puede desplazarse por el viñedo viendo en todo momento el punto exacto del mapa en el cual se encuentra, establecer rutas para llegar a parcelas, tomar notas in situ, etc.

Sistemas de Información Geográfica

Son un software informático que consiste, esencialmente, en una base de datos en la que cada dato lleva asociada una referencia espacial. Los SIG son necesarios a la hora de realizar análisis estadísticos espaciales, en los que no sólo interviene una variable sino también su localización.

Los SIG nos permiten la visualización de gran cantidad de datos y mapas, trabajando con un sistema de “capas”. Estos programas permiten realizar múltiples operaciones sobre los datos y poseen potentes herramientas de análisis geoestadístico, permitiendo generar mapas continuos por interpolación de datos, análisis por clústers, etc. (Figura 2.2).

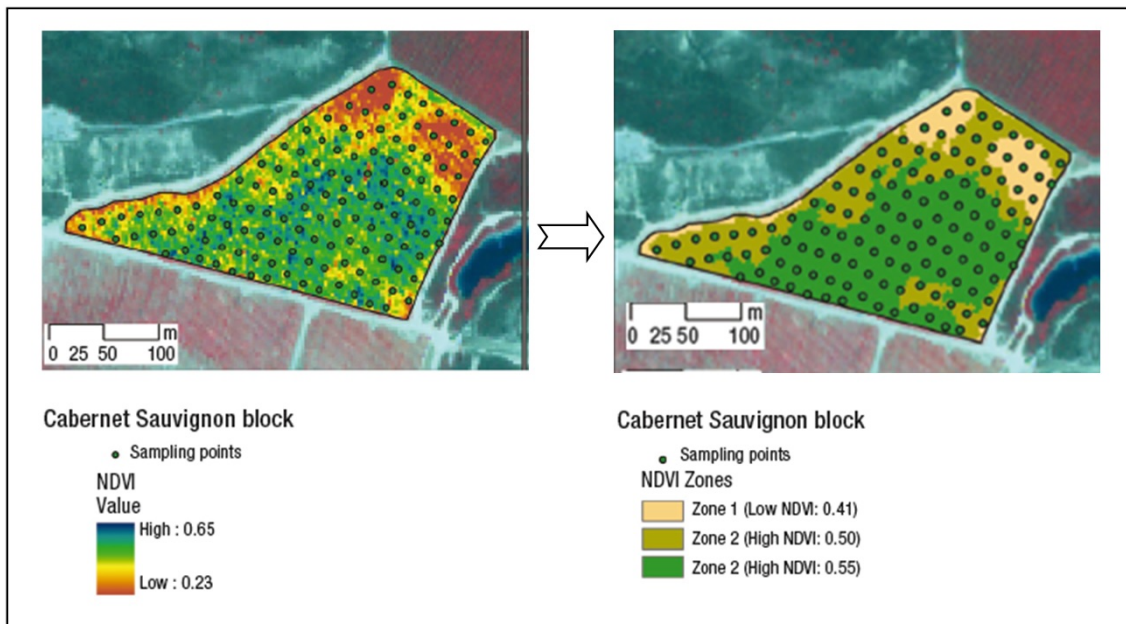


Figura 2.2. Ejemplo de procesado con herramientas SIG (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

Monitores de rendimiento

Los monitores de rendimiento han sido ampliamente utilizados, especialmente en Australia desde finales de los años 1990, fecha en la que el primer dispositivo salió al mercado. En la actualidad se están aplicando en España en bodegas líderes en el mercado como el Grupo Codorníu. Se trata de dispositivos *on-the-go*, instalados en la vendimiadora, que recogen de forma continua mientras la máquina avanza a lo largo de la fila, datos georreferenciados sobre la cantidad de uva cosechada. La cantidad de datos a tomar puede ser establecida, generalmente alrededor de intervalos de 3 segundos (2 ó 3 metros de avance en la fila). Los sistemas de medición suelen basarse en sensores de carga instalados en la cinta transportadora de descarga de la uva y en un GPS instalado en la cabina de la vendimiadora. Los datos procesados resultan en un mapa de rendimiento, en el cual se visualizan las zonas de mayor, media y menor producción de uva (Figura 2.3). La interpretación de estos mapas permite mejorar las técnicas vitivinícolas tales como poda, riego, fertilización, etc.

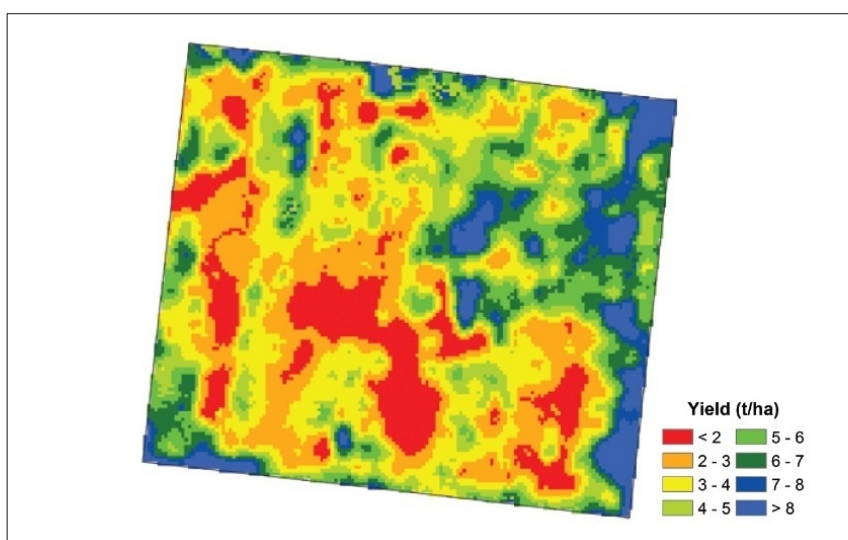


Figura 2.3. Mapa de producción de uva obtenido mediante un monitor de rendimiento montado en una vendimiadora (Bramley y Hamilton, 2004).

Sensores laterales terrestres

En los últimos años se han desarrollado otras tecnologías en el ámbito de la viticultura de precisión. Es el caso de los sensores laterales terrestres, que permiten cuantificar el estado y arquitectura de la canopy de forma continua. Para este efecto, algunos dispositivos utilizan sensores LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) y otros ultrasonidos,

generando una imagen de la vista lateral de la estructura vegetativa (Llorens et al., 2010). Existen también otros, que al igual que los empleados en teledetección, realizan una termografía (Guisard y Tesic, 2006) o miden la reflectancia de la pared vegetal, que puede relacionarse con la densidad de la canopy, el vigor y la actividad fotosintética. Estos sensores suelen ir montados en un quad o en un tractor acompañados de un GPS, de forma que se obtiene información georreferenciada para la creación de mapas de vigor o densidad de vegetación.

Algunos de los sensores de reflectancia comerciales más conocidos y utilizados en viticultura son el CropCircle™ (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA) (Figura 2.4) y el Greenseeker™ (NTech Industries Inc., Ukiah, CA, USA). Estos dispositivos, al ir tomando lecturas continuas de la vegetación, permiten la optimización del uso de herbicidas, del uso de fitosanitarios en los primeros tratamientos donde la vegetación no es continua, así como la creación de mapas de vigor del viñedo, a través de la medición de longitudes de onda para el cálculo de índices de vegetación (Stadiamatis et al., 2006; Mazzeto et al., 2010).



Figura 2.4. Sensores CropCircle™ montados sobre un quad en un viñedo de Rioja Alavesa.

Sensores edáficos

A la hora de generar información espacial acerca de las propiedades del suelo para el uso de técnicas de viticultura de precisión, Bell et al. (1995) señalaban tres metodologías. Una es la utilización de la cartografía de suelos existente, con el inconveniente de que normalmente, dicha información suele estar disponible a gran escala, o suele extrapolarse, de manera que puede ser poco precisa en una parcela en concreto. Otra opción es la interpolación espacial de datos recogidos a partir de varias muestras recogidas a lo largo y ancho de la parcela. Esta alternativa es costosa en tiempo y dinero, debido a la gran cantidad de muestras que se deben extraer para que la interpolación sea lo suficientemente precisa. Por todo esto, una opción muy interesante es la de los sensores edáficos.

Estos sensores *on-the-go* permiten la recogida simultánea y continua de información relativa a las propiedades del suelo, usando uno o varios sensores y recopilando información espacial gracias a un GPS, que suele ir montado en el tractor o en un quad. Esta tecnología comenzó a usarse en la década de 1920 en la industria minera, y en los años 1990 se comenzó a usar en viñedos.

Existen varios tipos de sensores edáficos para medir diferentes propiedades físico-químicas del suelo, siendo los más comunes los basados en la inducción electromagnética (como son el EM31 y EM38) que permiten medir la conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa) (Figura 2.5) y han sido ya utilizados en otros trabajos en viñedo (Taylor et al., 2009; Rodríguez-Pérez et al., 2011; André et al., 2012; Martini et al., 2013; Rossi et al., 2013). Estos equipos están dotados de dos bobinas de cobre. Una de ellas emite un campo electromagnético primario que induce en el suelo un campo magnético secundario, el cual es recogido por la segunda bobina, transformándola en corriente eléctrica, que es medida a su vez por un sensor (McNeill, 1980a).

La conductividad eléctrica aparente del suelo está estrechamente relacionada con el contenido en humedad, así como con el contenido en sales del mismo. Además, puede estar influenciada por otros factores físicos o químicos tales como la porosidad, contenido y mineralogía de las arcillas, temperatura, y agua retenida en los poros (Corwin y Lesch, 2005). La naturaleza de los coloides del suelo, la profundidad de las capas ricas en arcilla, el nivel freático o la densidad de las raíces pueden también influir sobre la ECa (McNeill, 1980b).



Figura 2.5. Sensor edáfico EM38 de conductividad eléctrica: calibración y uso sobre trineo plástico en un viñedo de Rioja Alavesa.

Otros sensores edáficos miden también la conductividad eléctrica por contacto directo de una serie de electrodos, como es el Veris 3100. Otros se fundamentan en medidas de espectrometría de rayos gamma, capaces de detectar la emisión radiactiva de isótopos de potasio, torio y uranio. Otros se basan en ondas electromagnéticas de alta frecuencia, llamados radares penetrantes en el suelo (GPR, *Ground Penetrating Radar*), y que han sido usados también en estudios en viñedo (André et al., 2012). Estos radares son capaces de estimar la profundidad de enraizamiento así como el contenido en agua del suelo, conductividad hidráulica, perfiles edafológicos o profundidad de la capa freática.

Una vez recogidos los datos, al igual que con el resto de sensores, se generan mapas de parcela con el atributo medido: conductividad eléctrica, humedad, etc. Estos mapas de alta resolución pueden resultar muy útiles cuando se combinan con otro tipo de información para ayudar a definir las zonas de comportamiento similar en el viñedo y entender las causas de la variabilidad espacial del mismo.

Tecnología VRD o *Variable Rate Dosing*

Uno de los objetivos de la viticultura de precisión es la optimización de los insumos, a través del manejo diferenciado, con objeto de mejorar la rentabilidad económica de la explotación pero también para ajustarse a los requerimientos cada vez más estrictos por parte de la normativa europea en materia sostenibilidad ambiental. En este sentido, resulta de gran interés el poder disponer de maquinaria capaz de proporcionar una dosificación diferente en base a una información que le venga dada, bien de forma instantánea *on-the-go*, o bien a

través de mapas elaborados previamente.

Existen algunos sistemas ya desarrollados a nivel comercial por las grandes casas de maquinaria agrícola capaces de traducir una información suministrada en una dosificación variable en sembradoras, abonadoras o equipos de pulverización. Esta tecnología se ha implementado principalmente para cultivos extensivos y, en viñedo, se encuentra aún en desarrollo. El principal hándicap actualmente se encuentra en equipar todos los aperos viñeros con los instrumentos capaces de entender la información suministrada bien por los mapas de variabilidad o bien por sensores en continuo.

En España existen experiencias de este tipo en viñedo mediante el uso de sensores de ultrasonidos, capaces de visionar las dimensiones y estructura de la pared vegetal (Llorens et al., 2010). En función de los datos leídos instantáneamente, el sistema traduce la información a unas electroválvulas que modulan la dosis de las boquillas del atomizador según la cantidad de masa foliar del viñedo (Figura 2.6).

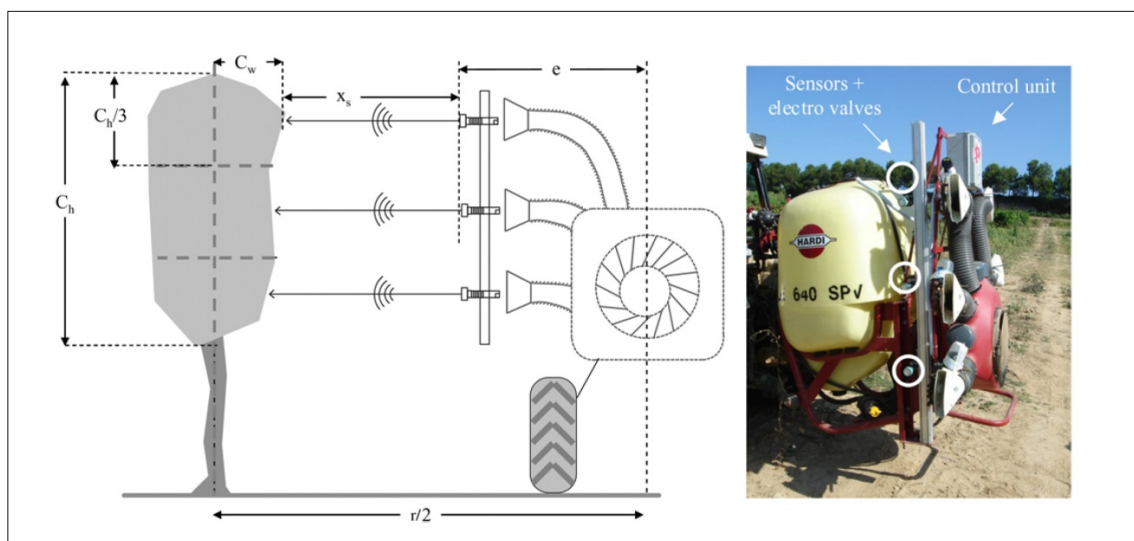


Figura 2.6. Atomizador y sensores de ultrasonidos para VPD (Llorens et al., 2010).

La teledetección y los índices espectrales de vegetación

La teledetección se define como la adquisición de información de un objeto o fenómeno desde la distancia, sin entrar en contacto con él, principalmente desde un satélite o plataforma aérea.

Una de las aplicaciones de la teledetección en agricultura es la estimación del desarrollo vegetativo o vigor de los cultivos. Las imágenes multiespectrales adquiridas desde plataformas aéreas o espaciales proporcionan la información suficiente para poder estimar el vigor mediante el cálculo de los denominados índices espectrales de vegetación. Así, para cada píxel de la imagen se puede calcular uno o más índices que se pueden relacionar, entre otros parámetros, con la capacidad fotosintética de la canopy. Por otro lado, la cantidad y distribución de dichos píxeles dará también información sobre el tamaño y forma de la canopy. Para resumir en un solo concepto ambas nociones, en teledetección se suele hablar de biomasa fotosintéticamente activa. En viticultura, normalmente se suele emplear la expresión “vigor” de la planta, englobando lo que se refiere estrictamente al crecimiento del pámpano, y también indirectamente el tamaño de la cepa. Así, el término vigor puede decirse que, en el contexto vitícola, describe la combinación de la densidad de la vegetación y de la arquitectura de la canopy (Hall et al., 2002).

Generalmente los índices espectrales de vegetación son ratios o relaciones lineales entre la reflectancia en el rojo y en el infrarrojo próximo (NIR), que tienen alta correlación con el área foliar, biomasa y porcentaje de canopy. Puesto que las longitudes de onda en el rojo son absorbidas por la clorofila de las hojas y en el NIR son fuertemente reflejadas por los tejidos mesofílicos, aquellos ratios que incluyen dichas bandas presentan valores muy altos cuando la planta está sana, crece vigorosamente o cuando hay una densidad de vegetación alta. De forma inversa, presentan valores bajos cuando la vegetación se encuentra estresada o dispersa.

El índice espectral de vegetación más básico es el índice de vegetación del cociente, también conocido como PCD (Plant Cell Density). Su expresión matemática se muestra en la Ecuación 1.1.

$$PCD = \frac{NIR}{R} \quad \text{[Ecuación 1.1]}$$

Donde:

NIR (Near Infrared), es el valor de la reflectancia en la longitud de onda en el infrarrojo cercano.

R (Red), es el valor de la reflectancia en la longitud de onda en el rojo.

Este ratio fue descrito por Jordan (1969), y desarrollado posteriormente por Pearson y Millar (1972) y Rouse et al. (1974) siendo uno de los más usados entre los índices espectrales de vegetación. El PCD es el ratio entre los valores de la reflectancia para las longitudes de onda del NIR y el rojo. El rango de valores suele ir desde algo más de 1 para el suelo desnudo a 20, o más, para vegetación densa.

Otro de los índices más utilizado es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), (Ecuación 1.2, Rouse et al., 1974). El NDVI es la diferencia normalizada entre los valores de la reflectancia para las longitudes de onda del NIR y rojo, resultando valores comprendidos entre -1 y +1. La vegetación sana, vigorosa y densa presenta valores próximos a 1, mientras que valores tendiendo a cero corresponden a suelo desnudo. Valores negativos se producen en casos de cubiertas que contengan principalmente agua, ya que la reflectancia en el NIR será más baja que en el rojo.

Una ventaja importante de los ratios como el NDVI es que la intensidad total de la luz reflejada por el objeto no influye en el cálculo, es decir, si el objeto está sombreado el ratio no se verá apenas modificado. El NDVI reduce los efectos de las variaciones atmosféricas y de iluminación por lo que es muy conveniente para estudios multi-temporales (Fischer, 1994).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad \text{[Ecuación 1.2]}$$

Donde:

NIR (Near Infrared), es el valor de la reflectancia en la longitud de onda en el infrarrojo cercano.

R (Red), es el valor de la reflectancia en la longitud de onda en el rojo.

Existen otros índices basados en estas bandas, si bien Dobrowsky et al. (2002) estudiaron su aplicación al viñedo y llegaron a la conclusión de que los más adecuados eran el PCD y el NDVI. Con el desarrollo de nuevos sensores de gran resolución espectral y espacial, se han desarrollado nuevos índices espectrales de vegetación que consideran las reflectancias de banda estrecha en otras longitudes de onda, y que pretenden detectar estados nutricionales del cultivo (Zarco et al., 2005).

Teledetección en viticultura

La teledetección se ha aplicado en diversos ámbitos de la viticultura. Por un lado, puede utilizarse para el estudio de suelos, como alternativa a la realización de calicatas, si bien tiene sus limitaciones ya que la radiación visible y NIR penetra sólo unos milímetros en la superficie. Otra opción para establecer distintas zonas de suelo en un terreno potencial para la plantación de viñedo, es la de obtener imágenes aéreas del cultivo precedente para observar su biomasa activa. Los sensores hiperespectrales son capaces de proporcionar más información sobre los suelos, permitiendo discriminar diferentes zonas con mayor precisión. La zonificación del suelo puede ayudar al vitivinicultor en la decisión de las variedades y clones más convenientes, individualizar el riego o las prácticas culturales (Hall et al., 2002).

La teledetección puede aplicarse también para la obtención de imágenes aéreas del viñedo en dos aspectos diferentes que se describen a continuación.

Por una parte, puede aplicarse en la detección de las diferentes variedades existentes en el viñedo, para poder predecir su productividad y comportamiento y la gestión en bodega (Bramley, 2001). La “firma espectral”, la fenología, la forma o tamaño de las distintas variedades presentan diferencias discernibles, si bien a veces éstas son pequeñas, resultando complicado diferenciarlas especialmente en imágenes de baja resolución espacial y/o espectral.

Por otra parte, como aplicación principal, la teledetección del viñedo puede utilizarse para generar mapas de biomasa vegetal activa y así establecer diferencias espaciales en el comportamiento de las cepas dentro de la misma parcela. Debe considerarse que, para obtener la información de manera precisa de las imágenes de viñedo, debe emplearse un método que posea una resolución espacial al menos igual al espacio entre filas.

Existen estudios en los que se han utilizado las imágenes aéreas para identificar las áreas de viñedo afectadas por filoxera (*Daktulosphaira vitifoliae*), ya que se observan claramente en las imágenes zonas definidas con un nivel de biomasa mucho menor (Baldy et al., 1996; Johnson et al., 1996). Hoy en día, esta aplicación de la teledetección en viñedo constituye una de las más importantes en Australia, donde la mayoría de viñedos están plantados francos de pie y por lo tanto son susceptibles del ataque del insecto (Malcolm A., comunicación personal).

Algunos autores han investigado la relación entre diversos índices espectrales de

vegetación y el estado fisiológico del viñedo, con objeto de predecir y detectar estados de estrés o contenido en clorofilas de la vegetación del viñedo (Rodríguez-Pérez et al., 2007; Zarco-Tejada et al., 2005).

También, en zonas de gran variabilidad edáfica, se han encontrado relaciones entre las propiedades edafológicas de diferentes tipos de suelo y el NDVI obtenido por teledetección (Acevedo-Opazo et al., 2008; Martínez-Casasnovas et al., 2009).

Otros estudios han obtenido resultados satisfactorios en la correlación entre los índices espectrales de vegetación y el Índice de Área Foliar (LAI), la superficie foliar total, la superficie foliar expuesta o el peso de poda (Montero et al., 1999; Johnson et al., 2001; Dobrowski et al., 2002 y 2003; Johnson, 2003; Hall et al., 2008; Acevedo-Opazo et al., 2008).

Puesto que la relación entre biomasa vegetal y rendimiento productivo es conocida, si bien compleja, algunos autores han relacionado también el NDVI con la producción de uva. Estas relaciones se han validado independientemente del factor productor de la variabilidad espacial (disponibilidad hídrica, estado nutricional, plagas o enfermedades) (Baldy et al., 1996; Hall y Hardie, 2008; Acevedo-Opazo et al., 2008; Cuhna et al., 2010).

Siendo uno de los objetivos principales de la viticultura la obtención de uva de calidad, existen también diversos estudios que buscan encontrar una relación entre la composición del fruto y los índices de vegetación. Dicha relación es difícil de establecer de forma directa, si bien es de aceptación general que el vigor y la arquitectura de la canopy tienen un efecto considerable en el rendimiento productivo y composición de la uva. Algunos autores han encontrado relación entre las zonas de vigor y la calidad de la uva (Lamb et al., 2004; Bramley, 2005; Hall et al., 2011; Filippetti et al., 2013), otros han encontrado resultados variables (Cortell et al., 2007a; Tisseyre et al., 2008; Acevedo-Opazo et al., 2008; Fiorillo et al., 2012; Martínez-Casasnovas, 2012).

Dentro de este grupo de estudios que pretenden establecer la relación entre el vigor observado por teledetección y parámetros de calidad, existen autores que han intentado establecer dicha relación con el vino obtenido en diferentes zonas del viñedo. En el estudio de Johnson et al. (2001) los vinos procedentes de las zonas de bajo y medio vigor de un viñedo de Chardonnay fueron evaluados como de calidad superior a los de alto vigor. Cortell et al. (2005, 2007b y 2008) observaron que los vinos de Pinot noir elaborados a partir de zonas de bajo vigor presentaron mayores contenidos en proantocianidinas y antocianos, y mayor intensidad colorante y menor tonalidad. A nivel gustativo los vinos se calificaron como astringentes,

amargos, dulces, cálidos y con un componente terroso y químico. Bramley y Hamilton (2007) observaron que los vinos de Cabernet Sauvignon de las zonas de bajo vigor poseían mayor intensidad colorante y aromática, con notas especiadas de pimienta y tabaco, y una mayor persistencia gustativa, al contrario de los procedentes de zonas de alto vigor, que fueron más cortos en boca y presentaron aromas a tierra. Scollary et al. (2008) obtuvieron vinos de Shiraz de las zonas de bajo vigor con más color y mejor puntuados. Bramley et al. (2011) descubrieron grandes diferencias aromáticas y gustativas entre vinos procedentes de uvas de bajo y alto vigor en un viñedo de Cabernet Sauvignon. Estas últimas presentaron aromas de raspón, herbáceos o cárnicos, mientras que los de bajo vigor presentaron aromas más frutales, florales y de confitura. Además, un análisis cromatográfico mostró que los vinos de zonas de bajo vigor poseían mayor número de compuestos aromáticos. El estudio de Filipetti et al. (2013) sobre la variedad Sangiovese, en la misma línea, mostró que los vinos elaborados a partir de zonas de bajo vigor mostraron mayor grado alcohólico, mayor contenido en antocianos y polifenoles, índice de color más alto y menor tonalidad. El análisis sensorial reveló una mejor valoración de los vinos de zonas de bajo vigor, más estructurados, con más volumen y con aromas más frutales.

Los estudios sobre teledetección aplicada a la viticultura han intentado establecer el momento óptimo para la toma de imágenes del viñedo. Un estudio realizado por Lamb et al. (2004) comparó 6 épocas diferentes durante el período vegetativo (tras la brotación) de un viñedo australiano, comparando los valores de NDVI obtenidos con parámetros medidos a pie de campo. Las mejores correlaciones se obtuvieron alrededor del envero, momento más adecuado para realizar predicciones de color y fenoles de la uva. Imágenes tomadas con anterioridad a este momento no fueron representativas ya que la vegetación todavía no estaba completamente desarrollada. Imágenes tomadas con posterioridad al envero no fueron representativas ya que el color pudo degradarse y las hojas presentar estrés hídrico o senescencia avanzada. Resultados similares han sido obtenidos por Johnson (2003) en viñedos californianos.

2.2. Factores de calidad de la uva

Para la correcta comprensión de algunos de los aspectos que se estudian en el presente documento, se hace necesario exponer brevemente los elementos clave que influyen

sobre la calidad de la uva. Los factores vitícolas que influyen directa e indirectamente son numerosos, e implican factores tales como:

- La situación del viñedo: a nivel de edafología y climatología, factores que vienen impuestos.
- La genética: variedad, clon, portainjerto, factores todos ellos elegibles.
- El manejo humano: mediante la elección del sistema de conducción y de las técnicas de cultivo. El objetivo para una viticultura de calidad será siempre el de mantener una vegetación sana y expuesta, con un vigor limitado y con una exposición adecuada de los racimos.

La mayoría de estos factores son controlables, incluyendo el suelo si se aplica riego. El clima es el factor sobre el que menos se puede actuar. Todos estos factores están relacionados de manera compleja, influyendo en la composición y calidad de la uva (Figura 2.7).

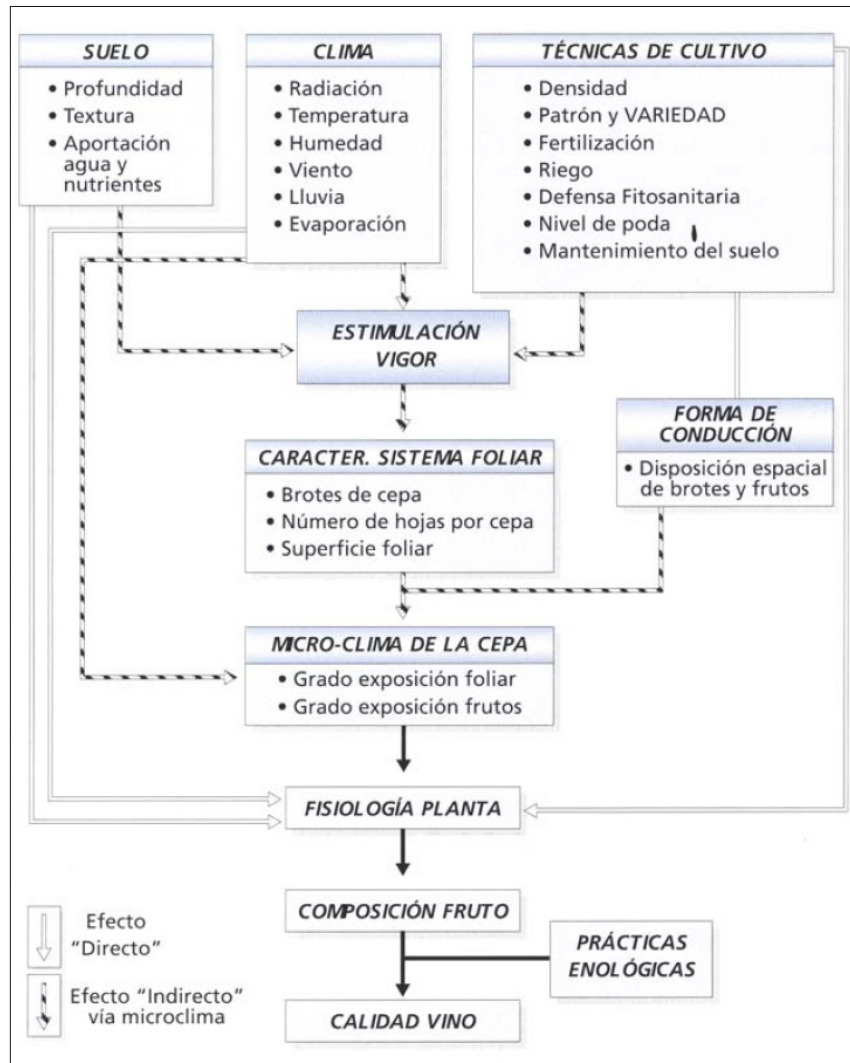


Figura 2.7. Factores que influyen en la calidad de la uva y del vino (Adaptado de Smart y Robinson, 1991).

Se ha discutido mucho sobre la mayor o menor importancia de cada uno de ellos en la calidad final del vino, dándole más importancia al suelo o terroir en el “viejo mundo” y a la variedad o técnicas de elaboración en el “nuevo mundo”. Lo cierto es que si bien un suelo es difícilmente reproducible en cualquier lugar del mundo, sí que se pueden intentar reproducir las condiciones de microclima de la canopy, relación SFT/P (Superficie Foliar Total/Producción) y exposición de los racimos mediante las técnicas de manejo de la vegetación (Martínez de Toda, 2011).

2.2.1. El suelo

La importancia de este factor vitícola es clave, si bien su influencia, más que ser directa, es indirecta. La profundidad, fertilidad y capacidad de retención de agua (Figura 2.8) son características del suelo que afectarán al desarrollo y vigor de la planta (Kondouras et al., 1999; Choné et al., 2001; Van Leuween y Seguin, 2006). Así, el viñedo tendrá mayor desarrollo en suelos profundos, ricos en materia orgánica y elementos minerales que en suelos poco profundos y con poca capacidad de retención hídrica. Esto, a su vez, afecta a la producción, pero también a la superficie foliar desarrollada y al comportamiento hormonal de la vid.

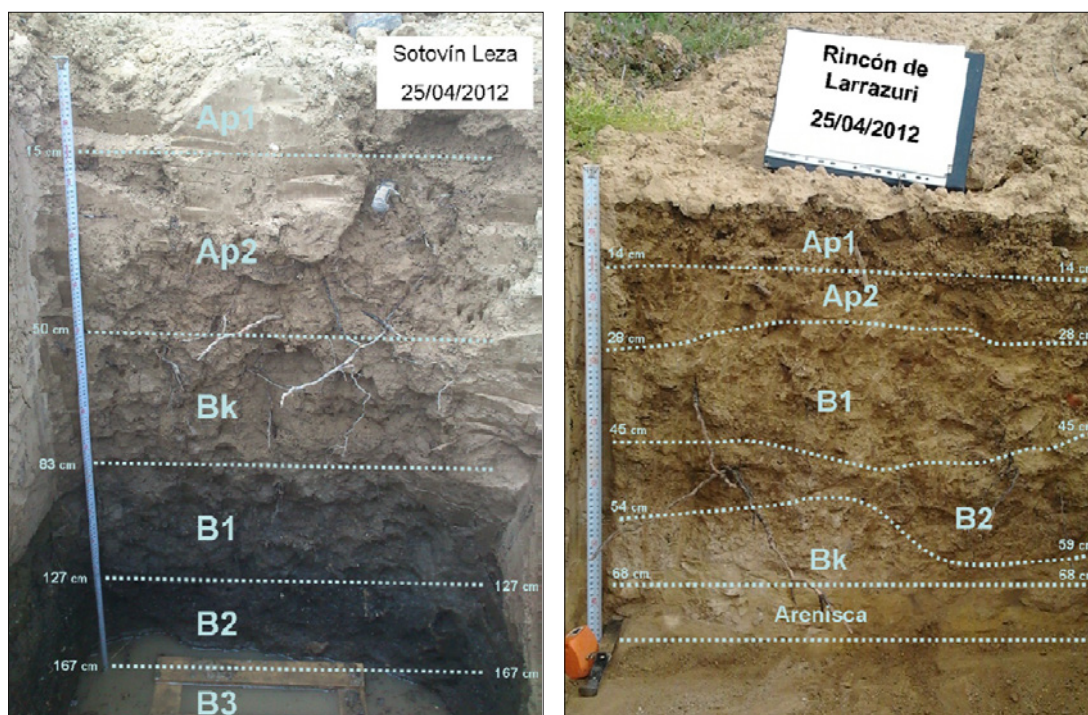


Figura 2.8. Diferencias en suelos: perfiles con composición, profundidad y disponibilidad hídrica diversa.

Durante la fase de maduración se requiere un equilibrio entre las hormonas estimulantes e inhibitoras del crecimiento y entre los órganos fuente y sumidero, por lo que para una maduración de calidad se necesita que la planta no presente crecimiento vegetativo, con ápices demandando fotoasimilados que deberían estar acumulándose en la baya y partes perennes. Además, un desarrollo foliar excesivo, conlleva a frondosidades en la zona del racimo que impiden una correcta aireación e insolación de los mismos, aumentando los riesgos de enfermedades criptogámicas y dificultando la maduración (Smart y Robinson, 1991). Por todo ello, siempre se consideran suelos con mayor vocación vitícola los arenosos que los arcillosos, los de ladera que los de hondón, poco profundos, bien drenados, etc.

En general, se puede decir que aquellos suelos menos profundos y con poca capacidad de retención de agua producirán uvas con mayores contenidos en azúcares, polifenoles, antocianos, aromas y con menor acidez total. Al contrario, los suelos más fértiles y profundos, producirán uvas con mayor pH (por mayor contenido en potasio, entre otras cosas), con menores azúcares, polifenoles, antocianos y aromas, y presentando un carácter más herbáceo.

2.2.2. El clima

El clima se puede separar en tres niveles. El primero, se podría denominar “macroclima”, y es el clima que caracteriza una región. Es un factor difícilmente controlable o manipulable, por lo que, en general, no se puede actuar sobre él. En las siguientes páginas se dedica un apartado exclusivo a las consecuencias e implicaciones del aumento de la temperatura en una situación de cambio climático. Uno de los índices climáticos más utilizados en viticultura para caracterizar el clima (entendido como macroclima) es el Índice de Winkler (Winkler et al., 1974), que establece cinco zonas (desde la zona I a la zona V) de menor a mayor temperatura acumulada por encima de 10°C (temperatura eficaz). Las diferentes variedades cultivadas se adaptan en mayor o menor grado a cada una de estas zonas de Winkler, así la variedad Tempranillo encuentra su ubicación idónea en la zona II de Winkler, lo que se corresponde con una temperatura eficaz acumulada entre 1371 y 1656°C.

La temperatura durante el período de maduración es un factor de gran influencia en la composición de la uva. En climas frescos, el grado probable puede ser buen indicador de la

madurez total de la uva. En climas más cálidos, donde se alcanza con facilidad un elevado grado probable, se suele producir un desacoplamiento entre dicho grado probable y la madurez fenólica (Sadras y Moran, 2012; Teixeira et al., 2013) por lo que, en estas condiciones, el grado probable no es un indicador fiable para evaluar la calidad de la uva. Se ha demostrado que grandes saltos térmicos entre el día y la noche conducen a una mayor síntesis de antocianos (Kliewer y Torres, 1972) y que las zonas con temperaturas medias de menos de 15°C en la fecha de vendimia producen uvas con menos azúcares, menos pH pero más antocianos, aromas y acidez (Jackson y Lombard, 1993). Las consecuencias de las altas temperaturas en el período de maduración se abordan con más detalle en el siguiente apartado.

El siguiente nivel de clima sería el “mesoclima”, y es aquel clima particular que hay en una parcela, o parte de la misma, debido a las características de su situación, exposición a ciertos vientos, altitud, pendientes, distancia a ríos o lagos... Puede ser determinante a la hora del cultivo de la vid o de asegurar maduraciones correctas en zonas límites.

El tercer nivel, de gran importancia en la calidad de la uva, es el “microclima”, que hace referencia a las condiciones ambientales en las que se encuentran los diferentes órganos de la cepa.

En la Figura 2.7 se observa que la mayoría de los factores vitícolas (suelo, variedad, clima...) influyen de manera indirecta en el microclima de la cepa, a través de la expresión vegetativa, tanto a nivel de hojas como de fruto. Smart (1985) estableció la importancia del microclima de la cepa a través de los efectos del tamaño, densidad foliar y disposición de hojas y frutos de la cepa sobre las condiciones ambientales alrededor de los mismos. Estos efectos incluyen el nivel de radiación solar que es capaz de interceptar la canopy, así como la calidad de la misma (longitud de onda), la temperatura de hojas y racimos, y la aireación de los mismos por efecto del viento (Smart y Robinson, 1991). Una cepa con alta densidad foliar impedirá la interceptación de la radiación solar en las capas interiores de la canopy, disminuirá la temperatura de las bayas con respecto a la temperatura ambiente por sombreado, disminuirá la ventilación de los racimos y favorecerá la humedad en los mismos, fomentando el desarrollo de enfermedades criptogámicas, entre ellas, la botritis (Gubler et al., 1991).

La calidad de la uva está muy ligada a todos estos factores, ya que influyen sobre la composición de la misma a varios niveles: la síntesis de azúcares, la degradación del ácido málico así como los mecanismos de síntesis de los antocianos y polifenoles en la uva son

altamente dependientes de la temperatura y exposición de los racimos. Los efectos de la luz y de la temperatura son difíciles de separar ya que a menudo van acompañados, encontrándose diferencias de temperatura de hasta 10°C entre racimos sombreados y expuestos. En las siguientes páginas, dedicadas al efecto del cambio climático, se presenta con más detalle su influencia sobre la composición de la uva.

2.2.3. La variedad

La variedad ha ocupado, históricamente, un segundo plano en lo referente a la calidad de los vinos, buscando más una mejor adaptación a las condiciones del lugar (adaptación agronómica) que un determinado potencial enológico del fruto. Sin embargo, en la viticultura más reciente, la variedad ha cobrado un mayor protagonismo, con mayor interés por los vinos monovarietales, llegando al extremo de grandes superficies de viñedos genéticamente homogéneos en los que se cultiva una sola variedad, con un pequeño número de clones y con un sólo portainjerto. Esta homogeneidad genética en el viñedo aumenta su vulnerabilidad ante posibles problemas como el cambio climático, plagas o enfermedades y produce una pérdida irreparable de biodiversidad genética. Es por ello que en los últimos años, y en las diferentes zonas vitícolas, se están abordando proyectos de recuperación y estudio de otras variedades minoritarias, y en peligro de extinción, muchas de las cuales presentan un interesante potencial enológico (Martínez de Toda, 2005).

Muchas de las características agronómicas de las variedades están muy influenciadas por las condiciones de cultivo, pero existe un genotipo que las predispone a responder de manera diferente a los factores externos, a pesar también de la gran diversidad intravarietal. El perfil polifenólico de las uvas depende en gran parte del genotipo de la variedad (Pomar et al., 2005; Lyang et al., 2011). La síntesis de antocianos ante situaciones de estrés cambia según la variedad. Merlot, Shiraz o Cabernet Sauvignon aumentan la concentración de antocianos en uva al ser sometidas a un estrés hídrico, mientras que Tempranillo la disminuye (Teixeira et al., 2013). Sin embargo, la mayor parte de la variación en la concentración de antocianos se asume que varía más en función de factores no genéticos, tales como las condiciones ambientales o las prácticas culturales a las que se someta el cultivo (Arozarena et al., 2002).

2.2.4. Técnicas de cultivo

Las técnicas de cultivo en una viticultura de calidad pasan siempre por la optimización de la energía solar por parte de la vegetación y por una distribución adecuada de la misma.

El suelo, el portainjerto, la densidad de plantación, el sistema de conducción, la poda, las operaciones en verde, la fertilización, el mantenimiento del suelo y el riego, son las técnicas que mayor incidencia tienen sobre el desarrollo de la vegetación.

Los principios generales del manejo de la vegetación para la obtención de uvas de calidad son (Smart y Robinson, 1991):

- Superficie foliar alta y bien expuesta: para ello, el sistema de conducción ha de permitir una buena superficie foliar, distribuida de manera homogénea, con una vegetación porosa y sin grandes superposiciones de capas de hojas.

- Favorecer un microclima adecuado en la zona de racimos: evitando solapamientos de la vegetación, buscando con la poda una separación mínima entre pámpanos y que estos sean de vigor moderado, con poco desarrollo lateral (nietos), estaremos favoreciendo una “canopy” aireada y porosa y una exposición adecuada de los racimos; una exposición excesiva de los racimos puede provocar falta de acidez, de color, aromas de sobremaduración e, incluso, quemaduras en el hollejo.

- Buscar un equilibrio entre producción y vegetación: se estima que el nivel mínimo de la relación entre la superficie foliar expuesta y la producción debe ser de 1,3 m²/kg en espaldera y 1,1 m²/kg en conducción libre (Martínez de Toda, 2011). Normalmente estos valores son fáciles de alcanzar con altos valores de superficie foliar total siendo el factor limitante, precisamente, el exceso de frondosidad en la zona de los racimos, que provoca problemas sanitarios y de maduraciones incorrectas.

- Evitar un vigor excesivo y crecimiento vegetativo después del envero, de manera que se produzca adecuadamente el agostamiento de los pámpanos, la acumulación de reservas y la maduración de la uva.

Las técnicas de cultivo se deben encaminar a la consecución de una “canopy” con las características mencionadas. De esta manera, los abonados y el riego deben ser moderados

para evitar excesos de vegetación, pero suficientes para que la vegetación se mantenga sana hasta la vendimia. Los despuntes serán moderados ya que pueden eliminar demasiada superficie foliar o bien, si son muy fuertes, promover el desarrollo lateral de la vegetación (Coombe, 1959). El desniete y el deshojado serán positivos mejorando la exposición y aireación en casos de exceso de frondosidad, pero negativos si los racimos se encuentran ya demasiado expuestos. En casos donde la carga productiva es demasiado elevada y no hay un equilibrio entre la superficie foliar y la producción, se puede optar por técnicas como el aclareo de racimos o el deshojado precoz para reducirla (Bertamini et al., 1991; García-Escudero, 2006; Poni et al., 2006).

2.3. Calentamiento climático y calidad de uva

La vid es un cultivo muy sensible a la temperatura por lo que su fenología, ciclo vegetativo y composición del fruto pueden verse muy alterados por las variaciones en el clima.

A lo largo de décadas, se ha utilizado la temperatura como parámetro climático para delimitar las zonas de producción vitícola, incluso llegando a determinar la zonificación legal vitivinícola de la UE para la realización de ciertas prácticas (chaptalizaciones, acidificaciones, etc). El hecho de que estos parámetros se vean alterados, provoca una incertidumbre en la delimitación de nuevas zonas de cultivo o bien la exclusión de otras para la producción de uva de calidad.

Tradicionalmente, se ha considerado que las áreas con mayor potencial vitícola se sitúan entre los paralelos 30-50°N y 30-40°S (Amerine et al., 1980). En estas latitudes la temperatura media durante el ciclo vegetativo (Abril-Octubre en el hemisferio norte, Octubre-Abril en el sur) se encuentra entre 12 y 24°C (Jones et al., 2005).

En muchas regiones vitícolas se ha observado una tendencia al calentamiento en los últimos 50-60 años y particularmente en los últimos 20 años. Un análisis de 27 regiones vitícolas distribuidas por todo el globo, mostró un incremento de la temperatura media invernal y estival de 1,3 y 1,4°C, respectivamente, entre los años 1950 y 2000, con mayor aumento en las regiones del hemisferio norte (Jones et al., 2005; Ramos et al., 2008).

Según las estimaciones del último informe del IPCC, pueden esperarse incrementos probables de temperatura en las próximas décadas de entre 1,5-2,6°C y, a más largo plazo (final de siglo), incluso de 4°C (IPCC, 2007). Un incremento de semejante magnitud, supondría un “traslado” de las zonas vitícolas a mayores latitudes (Figura 2.9).

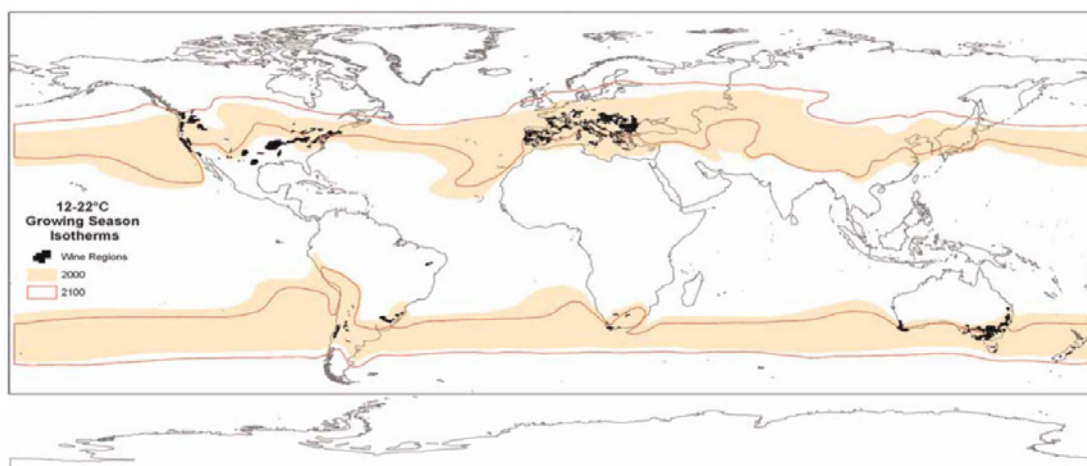


Figura 2.9. Mapa de temperaturas medias durante el ciclo vegetativo: modelo de predicción moderado para 2100 (Schultz y Jones, 2010).

Además de los cambios en la temperatura, las previsiones de cambio climático han constatado la mayor frecuencia en la ocurrencia de eventos extremos y vaticinan una mayor variabilidad climática global. Algunos de los efectos esperables en Europa son precipitaciones fuertes en invierno y temperaturas extremas en verano sin apenas lluvia (IPCC, 2007).

En las regiones más frescas, este incremento de temperatura hasta la fecha ha supuesto una mejora de la calidad de la uva en detrimento de las zonas más cálidas, si bien futuros aumentos de temperatura podrían afectar a más zonas que en la actualidad se encuentran en un rango de temperaturas óptimo (Schultz y Jones, 2010). La fenología del cultivo se ha visto adelantada de manera que la maduración ocurre en períodos de temperaturas mayores, lo cual puede alterar sustancialmente la composición de la uva (Webb et al., 2007). Además, diversos estudios muestran en cada variedad una respuesta diferente al aumento de la temperatura. En un principio, las variedades tintas toleran mejor las condiciones cálidas con respecto a las variedades blancas. Una de las alternativas para la adaptación a esta nueva situación podría pasar por el cambio hacia variedades mejor adaptadas a estas condiciones, si bien esto tendría complicaciones en ciertas regiones vitícolas que basan su imagen en el cultivo de unas variedades concretas.

Los efectos del cambio climático, que afectan directa o indirectamente a la calidad de la uva, son los siguientes:

Efectos sobre la acumulación de azúcares:

Si bien un aumento de temperatura implica un aumento de la actividad fisiológica y del rendimiento metabólico, a partir de una temperatura de 25°C la fotosíntesis neta puede disminuir (Huglin y Schneider, 1998), incluso llegando a bloquear la síntesis de azúcares por encima de los 30°C (Kriedemann y Smart, 1971). A pesar de esto, pueden observarse mayores concentraciones en sólidos solubles, debidas también a concentración por evaporación (Keller, 2010).

Efectos sobre la acidez:

La acidez puede verse enormemente afectada por el calentamiento (Tarara et al., 2008). El ácido tartárico es relativamente estable a los efectos de la temperatura, de manera que las variaciones en la acidez provienen esencialmente de las variaciones en ácido málico. Tanto su síntesis previa al envero como su posterior degradación son muy sensibles a la temperatura (Kliewer, 1971), disminuyendo cuanto mayor es la temperatura (Huglin y Scheneider, 1998).

Valores menores de acidez conllevan a un mayor pH, no obstante la acumulación de potasio influye también en este parámetro, la cual está a su vez influenciada también por la temperatura. Dicha relación no es clara, si bien algunos autores han observado una relación positiva entre la temperatura y la acumulación de potasio (Hale, 1981). También los diferentes portainjertos y variedades pueden ser más o menos potasófilos.

Efectos sobre la composición fenólica:

La formación de compuestos flavonoides depende de factores genéticos y su interacción con las condiciones ambientales, como la temperatura y la exposición solar. El rol de los compuestos fenólicos como fotoprotectores explicaría la gran relación de su síntesis con la exposición solar (de Orduña et al., 2010), si bien aún no está claro si dependen de la luz visible, de la ultravioleta, o de ambas (Keller y Torres-Martínez, 2004). Los compuestos

fenólicos son capaces de absorber las longitudes de onda de la radiación ultravioleta, lo que les hace susceptibles de que su síntesis y acumulación pueda verse influenciada por esta radiación, que se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia del cambio climático. Existen pocos estudios al respecto, si bien parece que la luz ultravioleta puede favorecer la síntesis de estos compuestos (Berli et al., 2008).

Es complicado separar los efectos de la temperatura y de la exposición (Spayd et al., 2002), ya que ambos factores están estrechamente relacionados entre sí, de manera que se han encontrado diferencias entre racimos sombreados y expuestos de hasta 10°C (Haselgrove et al., 2000).

Numerosos estudios concuerdan en la influencia positiva de la luz y la temperatura en la composición fenológica de la uva. La síntesis de antocianos parece responder de forma positiva a la exposición de los racimos, de manera que mientras haya un umbral mínimo de insolación, la luz no parece ser un factor limitante (Bergqvist et al., 2001), pero no ocurre así con la temperatura. La acumulación de antocianos en la uva se ve favorecida en un rango de temperaturas de entre 17 a 26°C (Iland y Gago, 2002; Sadras et al., 2007). A partir de esta temperatura, la síntesis de antocianos después del envero disminuye (Tarara et al., 2008), incluso llegando a paralizarse a altas temperaturas (30-35°C) (Spayd et al., 2002; Haselgrove et al., 2000; Mori et al., 2007).

Respecto a las proantocianidinas y flavanoles del hollejo, compuestos responsables también en gran medida de la calidad de la uva, parecen mostrar un comportamiento más estable que el de antocianos. Su síntesis parece verse favorecida también por la exposición de los racimos (Downey et al., 2004; Cortell y Kennedy, 2006), pero no tanto por la temperatura (Cohen et al., 2012). Sin embargo, existen estudios que relacionan de manera positiva la temperatura con los niveles de proantocianidinas de la pepita (Ewart y Kliwer, 1977; del Rio y Kennedy, 2006).



3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Localización del viñedo experimental

La investigación se llevó a cabo en un viñedo comercial de 14 ha de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) situado en Rioja Alavesa (DOCa Rioja), en el término municipal de Párganos, Laguardia (ETRS89 UTM 30N coordenadas 531.930, 4.712.532), Álava (País Vasco, España), con una altitud comprendida entre los 564 y 581 m (Figura 3.1).



Figura 3.1. Localización del viñedo experimental en el término municipal de Párganos, Laguardia (Álava). Línea X-X' corresponde al perfil topográfico de la Figura 3.2.

El perfil topográfico de la línea trazada de X a X' en la Figura 3.1 se muestra en la Figura 3.2. Como se puede observar a lo largo del perfil, la altitud varía entre los 564 m y los 574 m, con una pendiente fuerte al norte de la parcela, otra más suave al sur y una zona de hondonada en el centro.

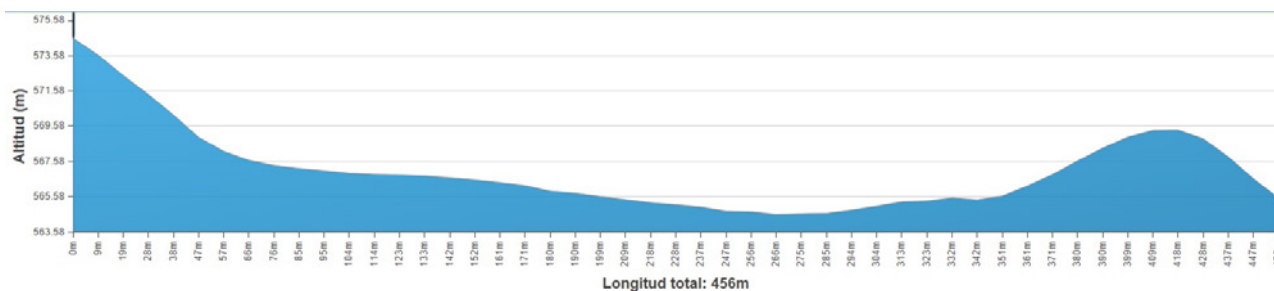


Figura 3.2. Perfil transversal a lo largo del viñedo experimental de X a X'.

3.2. Caracterización climática

La Rioja Alavesa presenta un clima continental-mediterráneo con cierta influencia atlántica frenada al encontrarse a sotavento de la Sierra Cantabria. Las formaciones montañosas protegen los viñedos de los vientos fríos y húmedos y de las nubes procedentes del norte (*efecto föhn*), de manera que la zona goza de un alto número de horas de sol y lluvias inferiores a los 600 mm (siendo más común que la precipitación anual ronde los 450-500 mm) concentradas en primavera y, sobre todo, en otoño. La región se sitúa en la zona II según el Índice de Winkler.

La investigación se llevó a cabo en los años 2010, 2011, 2012 y 2013. Para la caracterización climática se analizaron los datos de la estación de Euskalmet sita en Párganos (Laguardia, Álava, ETRS89 UTM 30N coordenadas 532.683, 4.712.645, 577 m) a 1 km escaso de la finca de estudio. La estación recogió datos de temperatura del aire, precipitación y humedad relativa. Los datos climáticos para los años de estudio se recogen en la Tabla 3.1 y corresponden al año vitícola, de Noviembre a Octubre. Se observaron diferencias especialmente entre la añada 2013 y el resto. Las añadas 2011 y 2012 fueron considerablemente más secas y calurosas, especialmente en el verano.

Tabla 3.1. Caracterización climática en la finca experimental en los años 2010, 2011, 2012 y 2013. En sombreado, los datos relativos al ciclo vegetativo.

		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Med	Máx	Mín	Acum
Temperatura media (°C)	Año medio	8,4	5,6	5,1	6,5	9,1	10,4	14,9	18,6	20,7	21,1	17,4	13,4	12,6			
	2009/10	9,7	4,5	3,6	4,4	7,4	12,3	12,7	16,9	21,4	20,8	17,5	12,3	11,9			
	2010/11	8,8	3,9	5,1	6,7	8,2	13,8	16,3	17,9	17,3	22,0	19,0	14,5	12,8			
	2011/12	10,4	6,6	5,7	3,5	10,2	9,0	15,4	19,3	19,4	22,2	17,5	13,1	12,7			
	2012/13	8,2	6,5	6,2	4,8	8,1	10,28	10,59	15,8	22,4	20,30	17,92	14,62	12,1			
Temperatura máxima (°C)	2009/10	20,8	15,8	12,2	15,1	18,9	27,9	27,4	30,8	34,7	36,6	32,6	28,1	25,1	36,6		
	2010/11	nd	15,5	15,9	19,4	22,6	29,9	31,6	35,7	31,9	37,7	34,4	30,5	27,7	37,7		
	2011/12	18,4	15,6	14,8	20,1	24,4	21,3	30,4	35,2	36,8	39,1	32,2	28,5	26,4	39,1		
	2012/13	16,8	14,7	16,1	13,6	18,0	25,9	23,8	30,7	33,5	34,5	29,0	28,3	23,7	34,5		
Temperatura mínima (°C)	2009/10	0,8	-6,9	-7,0	-3,5	-3,2	1,1	2,6	6,6	8,4	9,0	4,8	1,6	1,2		-7,0	
	2010/11	-8,3	-5,9	-4,5	0,0	0,1	2,0	5,5	7,4	9,7	8,6	9,3	1,8	2,1		-8,3	
	2011/12	-0,1	-2,3	-4,5	-3,5	0,0	1,3	4,7	8,8	6,2	10,2	6,9	1,1	2,4		-4,5	
	2012/13	0,3	-1,8	-0,3	-1,8	-0,5	-0,40	1,90	5,4	12,7	9,50	7,40	2,70	2,9		-1,8	
Precipitación (mm)	Año medio	68,5	59,2	44,2	36,0	36,8	52,9	59,9	44,3	24,6	19,9	38,1	62,2				546,3
	2009/10	98,8	94,1	41,3	12,5	14,1	6,9	39,4	72,8	4,2	0,2	19,0	37,4				440,7
	2010/11	46,4	34,1	21,5	39,7	67,5	46,3	26,6	32,3	20,5	11,0	13,0	14,5				373,4
	2011/12	78,3	21,7	14,0	34,6	7,0	60,8	39,1	23,1	14,4	11,3	36,9	86,6*				427,8*
	2012/13	93,8	25,2	127,6	86,6	114,7	43,70	30,90	63,7	45,9	4,60	20,70	32,30				689,7
Humedad relativa (%)	2009/10	74	74	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,5	71,6	59,5	64,3	69,3	71,4			
	2010/11	nd	75,5	78,6	73,8	75,1	67,2	66,9	63,6	75,0	58,4	74,4	63,3	70,2			
	2011/12	81,4	76,5	80,2	67,1	57,5	71,4	63,2	57,6	57,0	52,8	61,1	75,3	66,7			
	2012/13	80,1	78,3	76,5	77,5	73,8	66,80	71,26	69	63,6	63,81	68,17	72,00	71,8			

Med= media; Máx= máxima, Mín: mínima, Acum= acumulada

*Gran parte de las lluvias de este mes se produjeron tras la vendimia, y por lo tanto fuera del ciclo

Cabe destacar que en 2012, el grueso de las precipitaciones se produjo con posterioridad a la vendimia; de los 86,6 mm registrados en Octubre, 44,1 mm se produjeron una vez finalizada la vendimia. El año se caracterizó por el gran estrés que sufrió el cultivo, lo que se vio traducido en un descenso muy acusado del vigor. Esto fue debido no sólo a las bajas precipitaciones durante el ciclo vegetativo, sino que, además, el invierno apenas presentó precipitaciones y la añada 2011 fue también muy seca y calurosa.

3.3. Caracterización edafológica

En 1994, Barrios realizó un estudio de suelos de Rioja Alavesa, y definió unas unidades cartográficas basadas en el carácter edafológico predominante en cada una de ellas. Se cruzaron los datos de dicho estudio con la parcela experimental, obteniéndose cinco unidades de suelo diferentes (Figura 3.3), asociadas principalmente a diferentes formas del terreno y que, según el autor, van ligadas en su mayoría a una taxonomía de suelo concreta. La descripción de dichas unidades cartográficas, así como la tipología de suelos asociada a las mismas, se presenta en la Tabla 3.2.



Figura 3.3. Unidades cartográficas de suelos según el estudio de Barrios (1994) y localización de las calicatas.

Tabla 3.2. Descripción y tipología de suelo predominante en las geoformas del estudio realizado por Barrios (1994).

Geoforma	Tipo de suelo predominante	Descripción general
Hondonadas	Haploxerept ácuico	Suelos situados en áreas deprimidas de fondo plano, con una litología principalmente margosa. Suelen estar rodeados de barras de areniscas aflorantes que dificultan aún más la salida del agua. El horizonte superficial presenta colores grisáceos que continúan por todo el perfil. Los contenidos en materia orgánica en superficie son altos (por encima del 1%) decreciendo bruscamente en horizontes subyacentes. Suelen presentar una capa de agua temporal y una ligera salinidad. El agua suele acumularse debido a la escasa posibilidad de drenaje, y también a la baja permeabilidad interna ya que suelen presentar texturas muy arcillosas a lo largo del perfil. Los contenidos en carbonatos son superiores al 40%.
Fondos de vaguada sobre margas	Xerofluvent típico	Son suelos profundos, sin horizontes bien diferenciados, formados por la acumulación de materiales provenientes principalmente de la erosión hídrica de las margas circundantes. Son de textura limosa fina a lo largo de todo su perfil, si bien se encuentran diversas clases texturales según la naturaleza de las deposiciones. Manifiestan un marcado carácter fluvéntico, ya que la materia orgánica decrece de manera irregular a lo largo del perfil. Presenta contenidos en carbonatos entre 35-40% y nula pedregosidad. Suelen encharcarse en épocas lluviosas, presentan un nivel freático cercano a la superficie, motivo por el cual en años de sequía permiten crecimientos y producciones altos.
Laderas de acumulación suaves sobre margas o en partes cóncavas de replanos estructurales de arenisca	Calcixeroll cumúlico	Suelos localizados en áreas de acumulación que reciben aportes coluviales, ya sea en pendientes suaves por debajo de las laderas de erosión suave, o dentro de los replanos cuando permiten cierta acumulación. Presentan un horizonte superficial engrosado y un horizonte cálcico subyacente. Suelen tener una profundidad moderada (100-125 cm) y no presentan pedregosidad interna. Al horizonte superficial le sucede un epipedón móllico, de color más oscuro, mejor estructurado, pobre en carbonatos y rico en arcilla y materia orgánica. Bajo este horizonte, aparece otro horizonte cálcico, con un porcentaje en carbonatos mayores del 45%, marcados recubrimientos en poros y caras de estructura y acusado descenso de la materia orgánica. Presentan textura limosa fina, excepto el horizonte enterrado donde es arcillosa fina.
Laderas de erosión suave sobre margas y areniscas	Torriorthent xérico Torriorthent xérico lítico	Suelos de poca profundidad y ubicados en pendientes moderadas (de hasta el 20%), llamadas comúnmente "cabezadas". El primer tipo se da cuando el epipedón ócrico (horizonte de labor) se asienta directamente sobre la roca, presentando muy poca profundidad. El segundo cuando existe otro horizonte bajo el epipedón ócrico y presentan algo más de profundidad. Presentan una textura limosa fina, con contenidos en carbonatos altos (35-50%). Debido a la geomorfología presentan bajo régimen hídrico, que junto su poca profundidad y contenido en materia orgánica, hace que sean poco fértiles. El laboreo suele realizarse a favor de la pendiente, por lo que experimentan también erosiones fuertes.
Replanos sobre margas y areniscas	Xerorthent lítico	Suelos que ocupan zonas culminantes amplias, de relieve casi plano (pendiente del 2 al 5%), muy abundantes en Rioja Alavesa. Se caracterizan por su escasa profundidad (entre 25-50 cm) y se asientan sobre litología de areniscas con intercalaciones de margas de escasa potencia. Presentan una textura limosa fina, a veces franca, ligada a cambios sedimentarios en la granulometría en zonas de facies. Los contenidos en carbonatos suelen ser de alrededor del 35% y presentan pedregosidad baja. Agronómicamente son suelos con limitación hídrica, debido principalmente a su escasa profundidad. El laboreo acentúa el proceso erosivo al eliminar la capa dura de arenisca y voltear margas y areniscas a la superficie. Esto provoca alteraciones en su estructura, textura y fertilidad.

Puesto que la información aportada por este estudio es de carácter general, perteneciente a un estudio más global y que carece del suficiente detalle para la parcela de estudio, se describieron además dos calicatas en dos suelos diferentes, situadas según indica la Figura 3.3. Para ello, se utilizó la metodología de descripción de suelos propuesta en SINERADES (Sistema de Información Edafológica y Agronómica de España) (Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas, 1983). La descripción de cada horizonte incluyó espesor, estructura, color (Munsell Color Chart, 1990), porcentaje de raíces, consistencia y presencia de elementos gruesos. De cada horizonte se tomó una muestra de, aproximadamente, 500 g suelo para su posterior análisis físico-químico en laboratorio. La clase taxonómica del suelo se clasificó según el Soil Survey Staff (2010).

Además, en cada uno de los horizontes se tomaron al menos 3 muestras de suelo inalterado con un equipo Eijkelkamp, para la medida de la densidad aparente y el posterior cálculo de la capacidad de retención de agua disponible y las curvas de retención de humedad.

CALICATA 1: HAPLOXEREPT VÉRTICO

La fotografía y descripción de los horizontes de la calicata se puede observar en la Tabla 3.2. El análisis físico químico y la descripción de cada uno de los horizontes se presentan en la Tabla 3.4.

La descripción general del perfil fue la de un suelo profundo de más de 150 cm. Se distinguió el horizonte Ap (0 a 20 cm) por ausencia de raíces de viña y por contenido en materia orgánica mucho más alto (1,29%) que el del horizonte inmediatamente inferior (0,54%), B1 (20 a 60 cm). La densidad aparente fue similar en ambos horizontes (1,7 g/cm³). El horizonte B1 se distinguió del inmediatamente inferior por la menor frecuencia de elementos gruesos (5-15%), frente al horizonte B2 donde fueron muy frecuentes (16-35%). Los elementos gruesos observados eran de tipo areniscas. Tanto los horizontes B1 como B2 presentaron pocas raíces. En el horizonte B3 se describieron pocos elementos gruesos y presentó la mayor cantidad de raíces a pesar de la alta densidad aparente (1,97 g/cm³). El contenido de materia orgánica en esta capa subió de 0,48 % en B2 a 1,03 % en el B3, lo cual pudo haber ocasionado el aumento en la densidad del sistema radicular. Este cambio de tendencia también se observó

en los nutrientes analizados (fósforo, potasio y magnesio), lo cual hace suponer que se trata de horizontes enterrados. En el caso de los carbonatos se observó el efecto a la inversa, aumentando su contenido hasta el horizonte B2, pero disminuyendo en el B3, pasando de 50 a 45%. En este horizonte (B3) además se detectaron grietas al igual que en los horizontes Ap y B1. En el horizonte Bk (140-150 cm) se apreciaron acumulaciones de carbonatos secundarios en los canales formados por antiguas raíces y se observó gran actividad de fauna (lombrices). Se encontraron pocas raíces en este horizonte, y la densidad aparente fue la más baja hallada en el perfil ($1,42 \text{ g/cm}^3$). El contenido de fósforo, potasio y magnesio en el horizonte superficial presentó niveles adecuados. La caliza activa presentó niveles de aproximadamente el 10%, excepto en el último horizonte en el que ascendió al 12%. En cuanto a la textura, el contenido de arcilla osciló entre el 23 y el 29%, con menor contenido en el horizonte más profundo.

La curva de retención de humedad en los horizontes de la calicata 1 sumó un total de 138 mm: 16 mm (horizonte Ap), 29 mm (B1), 68 mm (B2), 11 mm (B3) y 13 mm (Bk). El horizonte más profundo presentó menor densidad aparente y por lo tanto permitiendo mayor retención en los poros del suelo. Sin embargo el horizonte con mayor capacidad de retención de agua en el punto de marchitez fue el B3, donde se observaron más grietas y caras de fricción, lo cual indicó la presencia de arcillas expandibles con mayor capacidad de retención de agua.

CALICATA 2: HAPLOXEREPT ÁCUICO

La fotografía y descripción de la calicata se pueden observar en la Tabla 3.3. El análisis físico químico y la descripción de cada uno de los horizontes se presentan en la Tabla 3.5.

La descripción fue la de un suelo muy profundo (más de 160 cm) con un horizonte superficial (0-14/20 cm) sin raíces por efecto del laboreo. Debajo se describió el horizonte B1 hasta 77 cm, con estructura muy débil y pocas raíces. Por debajo, el horizonte de transición B12 (44-95 cm) en que observó mejor la estructura, moderada en bloques angulares. El

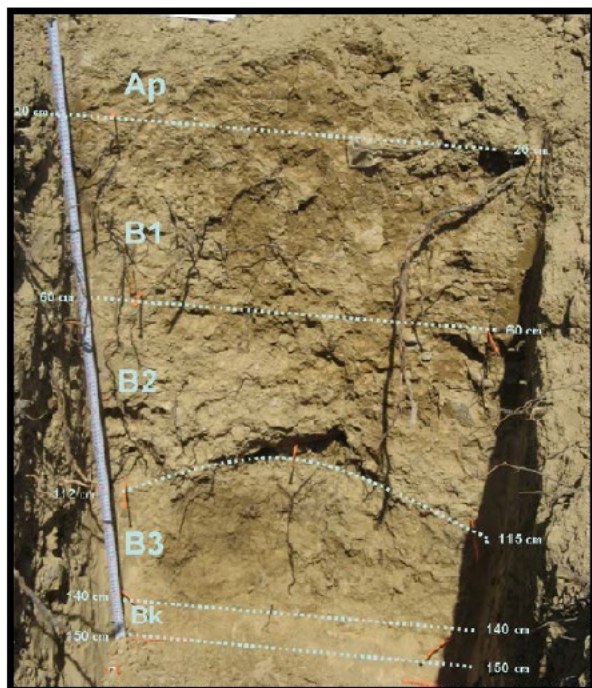
horizonte B2 (95-120 cm) presentó un cambio brusco de color hacia tonalidades más oscuras, y el mayor contenido de materia orgánica de todo el perfil (1,76 %). No sólo el contenido de materia orgánica presentó mayores niveles que el horizonte inmediatamente superior, sino que también el contenido de fósforo, potasio y magnesio fueron mayores. Además presentó una estructura fuerte de tipo prismática y se apreciaron restos de conchas. Este horizonte B2, aparentemente enterrado, apareció más cerca de la superficie (95 cm) que en la calicata 1 (112/115 cm), pero tiene el mismo espesor, unos 25 cm. En el horizonte más profundo, de 120 hasta 160 cm, aparecieron acumulaciones de carbonatos secundarios (más del 5%), un color más claro que en el horizonte B2 y con estructura débil y en bloques subangulares. Prácticamente no se apreciaron elementos gruesos en todo el perfil, pocas raíces en los horizontes centrales y muy pocas en el horizonte más superficial y el más profundo. El contenido de carbonatos y de caliza activa descendió en profundidad, para aumentar en el horizonte más profundo (Bk,) en el cual el contenido fue de 34,8 % de carbonatos y 9,5 % de caliza activa. El contenido de fósforo fue bajo y el de potasio alto en el horizonte superficial. En el caso del magnesio el contenido en la capa superior fue adecuado. Aparecieron grietas en todo el perfil excepto en la capa más profunda, sobre todo en B2 donde fueron frecuentes y Bk donde son abundantes. En cuanto a la textura, el contenido de arena osciló entre 42 y 53 %, con el contenido más bajo para el horizonte B2 que a su vez presenta el contenido más alto de arcilla (29%). La densidad aparente fue similar en todo el perfil, oscilando entre 1,75 g/cm³ en el horizonte más superficial y 1,67 g/cm³ en los horizontes más profundos.

La capacidad de retención de agua de la calicata 2 sumó un total de 204 mm: 15 mm (Ap), 65 mm (B1), 33 mm (B12) , 27 mm (B2) y 63 mm (Bk). Se apreció una diferencia considerable con respecto a la Calicata 1 (138,5 mm) a pesar de que la profundidad de suelo era similar y el contenido en arena era menor. La gran presencia de grietas en la calicata 2 hace sospechar de la existencia de arcillas expandibles que pueden ser las causantes de esta mayor capacidad de retención de agua.

En esta zona se observó un mayor desarrollo vegetativo del cultivo. La profundidad de suelo enraizable fue similar en ambas calicatas, pero ésta presentó mayor capacidad de retención de agua. Por otra parte, se disponía de un mayor contenido en potasio, magnesio y de materia orgánica tanto en el horizonte Ap como en el horizonte enterrado. Ambos factores permitirían un mayor desarrollo vegetativo de la planta.

Tabla 3.3. Fotografía, descripción y clasificación de la calicata 1.Clasificación general (SSS, 2010): HAPLOXEREPT VÉRTICO

Fecha: 12/03/2012. Ubicación: Párganos (Álava), X: 532019; Y: 4712689. Altitud: 573 m. Pendiente: Inclinado. Orientación: plantación N-S, ladera sur. Pendiente cóncava, terreno circundante ondulado (8%), microtopografía en pendiente. Material originario arenisca, bien drenado, perfil ligeramente húmedo, capa freática no aparece, no pedregoso en superficie, sin afloramientos rocosos, sin evidencias de erosión, sin presencia de sales o álcali, influencia humana por laboreo.



Ap: de 0 a 20/20 cm: Horizonte de color 2,5 Y 50/40 en húmedo; con presencia de pocos elementos gruesos angulares con tamaño de gravilla formados por arenitas; presenta una estructura primaria débil, en bloques subangulares, gruesa; en saturación el suelo es ligeramente adherente y ligeramente plástico; en húmedo es firme; en seco es duro; sin presencia de acumulaciones; con frecuentes (distancia 10 a 30 cm) grietas verticales, discontinuas; la actividad de la fauna es poca. Reacción al HCl muy alta.

B1: de 20/20 cm a 60/60 cm: Horizonte (cara agregado) de color 2,5 Y 60/60 en húmedo; con presencia de frecuentes elementos gruesos subangulares con tamaño de grava media/grava gruesa formados por arenitas; presenta una estructura primaria débil, en bloques subangulares, gruesa, raíces pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es ligeramente adherente y ligeramente plástico; en húmedo es muy firme; en seco es ligeramente duro; sin presencia de acumulaciones; con pocas (distancia >30 cm) grietas verticales, discontinuas; la actividad de la fauna es poca. Reacción al HCl muy alta.

B2: de 60/60 a 100/115 cm: Horizonte (cara agregado) de color 2,5 Y 60/60 en húmedo; con presencia de muy frecuentes elementos gruesos subangulares con tamaño de grava media / grava gruesa / cantos, formados por arenitas; presenta una estructura primaria muy débil, en bloques subangulares, muy fina; raíces pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es ligeramente adherente y ligeramente plástico; en húmedo es firme; en seco es ligeramente duro; sin presencia de acumulaciones; sin grietas. Reacción al HCl muy Alta.

B3: de 100/115 a 140/140 cm: Horizonte (cara agregado) de color 2,5 Y 50/60 en húmedo; con presencia de pocos elementos gruesos, subangulares con tamaño de gravilla, formados por arenitas; presenta una estructura primaria moderada, en bloques angulares, gruesa; raíces frecuentes, de muy finas a finas; en saturación el suelo es adherente y plástico; en húmedo es muy firme; en seco es muy duro; sin presencia de acumulaciones; con pocas (distancia >30 cm) grietas verticales, discontinuas. Aparecen caras de fricción. Reacción al HCl muy Alta.

Bk: de 140/140 a 150/150 cm: Horizonte (cara agregado) de color 2,5 Y 50/60 en húmedo; con presencia de pocos elementos gruesos subangulares con tamaño de gravilla formados por arenitas; presenta una estructura primaria débil, en bloques angulares, fina; raíces pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es adherente y ligeramente plástico; en húmedo es firme; en seco es ligeramente duro; aparecen pocas (<2% vol.) acumulaciones (edafotubos) de carbonatos; sin grietas; la actividad de la fauna es frecuente. Reacción al HCl muy Alta.

Tabla 3.4. Fotografía, descripción y clasificación de la calicata 2.

Clasificación general (SSS, 2010): HAPLOXEREPT ÁCUICO

Fecha: 12/03/2012. Ubicación: Párganos (Álava) X: 532009; Y: 4712553. Altitud: 566 m. Sin pendiente, llano o casi llano. Orientación: plantación N-S, ladera sur. Pendiente suave, terreno circundante ondulado o fuertemente ondulado, microtopografía en llano. Material originario areniscas, bien drenado, perfil ligeramente húmedo, capa freática no aparece, no pedregoso, sin afloramientos rocosos, sin evidencias de erosión, sin presencia de sales o álcali, influencia humana por laboreo.



Ap: de 0 a 14/20 cm: Horizonte (matriz) de color 10 Y 50/40 en húmedo; sin presencia de elementos gruesos; presenta una estructura primaria débil, en bloques subangulares, fina; sin manchas; muy pocas raíces de aspecto normal; en saturación el suelo es ligeramente adherente y plástico; en húmedo es firme; en seco es ligeramente duro; sin presencia de acumulaciones; con pocas (distancia >30 cm) grietas oblicuas, discontinuas; la actividad de la fauna es poca. Reacción al HCl: alta.

B1: de 14/20 cm a 56/77 cm: Horizonte (matriz) de color 10 YR 50/60 en húmedo; con presencia de muy pocos elementos gruesos angulares con tamaño de gravilla / grava gruesa, formados por areniscas; presenta una estructura primaria muy débil, en bloques subangulares, gruesa; sin manchas; raíces de aspecto normal, pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es ligeramente adherente y plástico; en húmedo es firme; en seco es duro; sin presencia de acumulaciones; con pocas (distancia >30 cm) grietas oblicuas, discontinuas; la actividad de la fauna es poca. Reacción al HCl: alta.

B12: de 56/77 a 84/95 cm: Horizonte (matriz) de color 10 YR 40/30 en húmedo; con presencia de muy pocos elementos gruesos subangulares con tamaño de gravilla / grava gruesa, formados por areniscas; presenta una estructura primaria moderada, en bloques angulares, gruesa; sin manchas; raíces de aspecto normal, pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es ligeramente adherente y muy plástico; en húmedo es firme; en seco es muy duro; sin presencia de acumulaciones; con frecuentes (distancia 10 a 30 cm) grietas oblicuas discontinuas, y verticales discontinuas; la actividad de la fauna se manifiesta en forma de pocas galerías rellenas. Reacción al HCl: alta.

B2: de 84/95 a 120/120 cm: Horizonte (matriz) de color 10 YR 30/20 en húmedo; sin presencia de elementos gruesos; presenta una estructura primaria fuerte, prismática, muy gruesa; sin manchas; raíces de aspecto normal, pocas, de muy finas a finas; en saturación el suelo es ligeramente adherente y muy plástico; en húmedo es muy firme; en seco es muy duro; sin presencia de acumulaciones; con abundantes (distancia < 10cm) grietas oblicuas discontinuas, y verticales discontinuas; la actividad de la fauna se manifiesta en forma de frecuentes galerías rellenas. Reacción al HCl: alta.

Bk: de 120/120 a 160/160 cm: Horizonte (matriz) de color 10 YR 50/40 en húmedo; con presencia de muy pocos elementos gruesos con tamaño de gravilla formados por areniscas; presenta una estructura primaria muy débil, en bloques subangulares, mediana; sin manchas; raíces de aspecto normal; en saturación el suelo es adherente y muy plástico; en húmedo es muy firme; en seco es duro; aparecen acumulaciones de carbonatos (más del 5%); sin grietas; la actividad de la fauna se manifiesta en forma de pocas galerías rellenas. Reacción al HCl: alta.

Tabla 3.5. Análisis físico-químico y descripción en campo de la calicata 1.

	Profundidad		pH	M.O. %	CE μS/cm	Carb. % CaCO ₃	Caliza %	P ext. mg/l	K ext. mg/l	Mg ext. mg/l	Ca ppm	Na ppm	D.ap. (g/cm ³)	Clasificación Textural	Raíces				
	cm														Muy finas	Finas	Med.	Gruesas	
Calicata 1 <i>Haploxerept vértico</i>	0 - 20	Ap	8,2	1,29	1960	47,10	10,40	15	178	130	4946	3	1,72	Franco arcillosa	No hay				
	20 - 60	B1	8,4	0,54	1960	48,50	10,80	1	80	217	5121	8	1,70	Franco arcillosa	Pocas	X	X	X	X
	60 - 112/115	B2	8,6	0,48	1960	50,10	10,40	1	60	217	4863	16	1,59	Franco arcillosa	Pocas	X	X	X	X
	112/115 - 140	2A	8,5	1,03	1960	45,5	10,7	2	87	222	5256	14	1,97	Arcillosa gruesa	Frecuentes	X	X	X	
	140 - 150/+	2Bk	8,4	0,82	1960	50,4	12,3	1	55	137	5788	20	1,42	Franco arcillosa	Pocas	X	X		

Color			Elementos Gruesos				Estructura			Consistencia			
Matiz	Brillo	Croma	Frecuencia	Tamaño	Forma	Litología	Grado Des.	Forma	Tamaño	Adhesividad	Plasticidad	Friabilidad	Dureza
2,5 Y	50	40	Pocos	Gravilla	Angular	Arenitas	Débil	B. subangulares	Gruesa	Lig. adherente	Lig. plástico	Firme	Duro
2,5 Y	60	60	Frecuentes	G. Media y gruesa	Subangular	Arenitas	Débil	B. subangulares	Gruesa	Lig. adherente	Lig. plástico	Muy firme	Lig. duro
2,5 Y	60	60	Muy frecuentes	G. Media y gruesa, y cantos	Subangular	Arenitas	Muy débil	B. subangulares	Muy fina y fina	Lig. adherente	Lig. plástico	Firme	Lig. duro
2,5 Y	50	60	Pocos	Gravilla	Subangular	Arenitas	Moderada	B. angulares	Muy gruesa	Adherente	Plástico	Muy firme	Muy duro
2,5 Y	50	60	Pocos	Gravilla	Subangular	Arenitas	Débil	B. angulares	Fina	Adherente	Lig. plástico	Firme	Lig. duro

Tabla 3.6. Análisis físico-químico y descripción en campo de la calicata 2.

	Profundidad		pH	M.O. %	CE μS/cm	Carb. % CaCO ₃	Caliza %	P ext. mg/l	K ext. mg/l	Mg ext. mg/l	Ca ppm	Na ppm	D.ap. (g/cm ³)	Clasificación Textural	Raíces				
	cm														Muy finas	Finas	Med.	Gruesas	
Calicata 2 <i>Aquic Haploxerept</i>	0 - 14/20	Ap	8,3	1,51	1960	32,6	8,07	8	257	123	5367	6	1,75	Arcillosa gruesa	Muy pocas				
	14/20 - 77	B1	8,3	0,88	1960	34,6	8,47	2	107	90	5175	5	1,72	Arcillosa gruesa	Pocas	X	X	X	X
	77 - 95	B12	8,3	0,96	1960	24,4	7,05	2	102	99	5310	9	1,70	Franco arcillosa	Pocas	X	X	X	X
	95 - 120	2A	8,2	1,76	1960	21,2	7,12	2	144	130	6549	24	1,67	Arcillosa gruesa	Pocas	X	X		
	120 - 160/+	2Bk	8,2	0,77	1960	34,8	9,5	2	82	83	5560	15	1,67	Franco arcillosa	Muy pocas				

Color			Elementos Gruesos				Estructura			Consistencia			
Matiz	Brillo	Croma	Frecuencia	Tamaño	Forma	Litología	Grado Des.	Forma	Tamaño	Adhesividad	Plasticidad	Friabilidad	Dureza
10 YR	50	40	No hay	-	-	-	Débil	B.subangulares	Fina y mediana	Lig. adherente	Plástico	Firme	Lig. duro
10 YR	50	60	Muy pocos	Gravilla, G. Gruesa	Angular	Arenitas	Muy débil	B.subangulares	Gruesa	Lig. adherente	Plástico	Firme	Duro
10 YR	40	30	Muy pocos	Gravilla, y G. Gruesa	Subangular	Arenitas	Moderada	B. angulares	Gruesa	Lig. adherente	Muy plástico	Firme	Muy duro
10 YR	30	20	No hay	-	-	-	Fuerte	Prismática	Muy gruesa	Lig. adherente	Muy plástico	Muy firme	Muy duro
10 YR	50	40	Muy pocos	Gravilla	-	Arenitas	Muy débil	B.subangulares	Mediana	Adherente	Muy plástico	Muy firme	Duro

The background features abstract geometric shapes in shades of blue and yellow, scattered across a white field. The shapes are irregular polygons and triangles, some overlapping. A fine, golden dust or particle effect is distributed throughout the scene, particularly concentrated around the shapes.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Descripción general de la investigación

La investigación se llevó a cabo durante 4 años consecutivos: 2010, 2011, 2012 y 2013, en un viñedo comercial de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo) de 14 ha localizado en Párganos (Laguardia, Álava). Las cepas estaban conducidas en doble cordón horizontal, con 6 pulgares y 12 yemas por cepa. La altura del tronco era de 0,70 m y la vegetación estaba recogida por dos pares de alambres regulables en altura hasta un máximo de 1,10 m desde el alambre de formación. El marco de plantación era de 2,85 x 1,20 m, resultando una densidad de 2924 cepas por hectárea. Las cepas estaban injertadas sobre 41-B y se plantaron en el año 1985 con orientación norte-sur. El viñedo se cultivaba en condiciones de secano y las técnicas de cultivo fueron las tradicionales de la zona, destacando la no realización de ningún tratamiento antibottrítico (Figura 4.1a).

Para la toma de datos en campo, se seleccionaron 42 cepas en un tramo o sección de la parcela experimental. Las mismas cepas fueron muestreadas durante los cuatro años. Además, en 2012 y 2013, otras 12 cepas fueron añadidas al estudio. Las plantas se georreferenciaron mediante un GPS Thales Mobile Mapper (precisión <1m tras post-procesado) y verificadas in situ (Figura 4.1.b).



Figura 4.1. (a) Imagen de la espaldera del viñedo experimental y (b) localización de las cepas seleccionadas para su muestreo en campo.

Esta área se seleccionó por su gran variabilidad a nivel topográfico y edafológico, así como de expresión vegetativa y productiva. Las cepas se seleccionaron de manera que estuviesen distribuidas en todas esas zonas diferentes de suelo y de expresión vegetativa y productiva.

El esquema metodológico seguido en la presente tesis se presenta en la Figura 4.2.

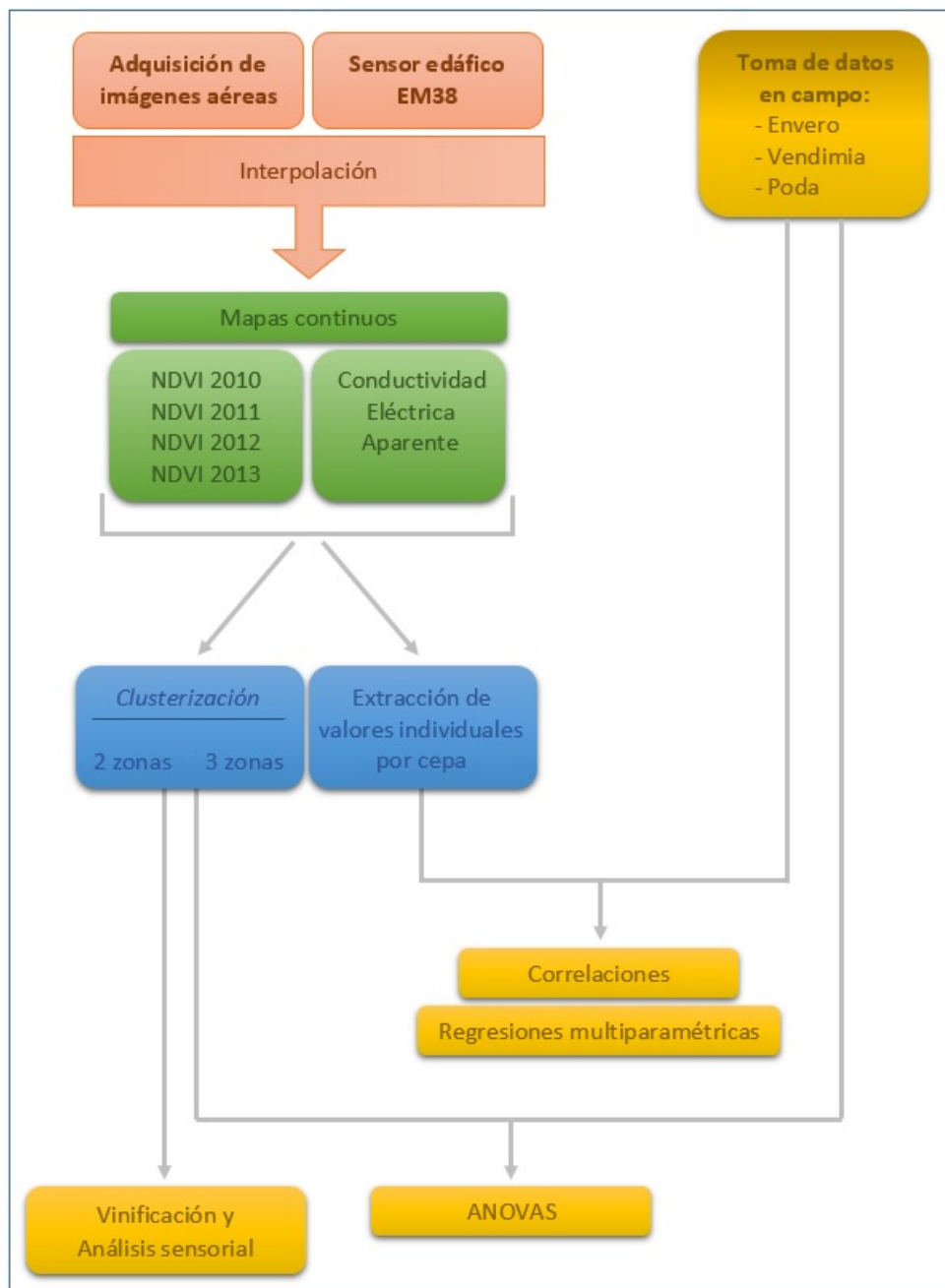


Figura 4.2. Esquema de la metodología empleada.

4.2. Cálculo del NDVI y mapas de vigor a partir de las imágenes aéreas multiespectrales

El vigor de las cepas en el viñedo experimental se estimó a partir del índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; Rouse et al., 1974). Este índice se calculó a partir de imágenes aéreas multiespectrales adquiridas con una cámara dotada de cuatro canales (sistema “HiRAMS”), a bordo de una avioneta tripulada. Las imágenes fueron adquiridas por la empresa RS Aviation (Alguaire, Lleida) y procesadas por la empresa SpecTerra Services Pty Ltd (Leederville, Australia). Los filtros de banda del sensor se ajustaron a 450 nm (azul, banda 1), 550 nm (verde, banda 2), 670 nm (rojo, banda 3) y 780 nm (infrarrojo cercano, banda 4). La aeronave voló a aproximadamente 6000 pies de altura sobre terreno, proporcionando imágenes de 50 cm de resolución espacial (Figura 4.3). Los vuelos se realizaron durante la época de enero en los cuatro años de estudio por haberse demostrado como el momento de mayor expresión vegetativa de la planta (Lamb et al., 2004). Dichas fechas fueron el 20/08/2010, el 19/08/2011, el 13/08/2012 y el 04/09/2013 (Tabla 4.1).



Figura 4.3. Avioneta Cessna utilizada en la adquisición de las imágenes aéreas, propiedad de la empresa RS Aviation, S.L.

El proveedor aplicó un algoritmo de pre-procesado de las imágenes para eliminar los artefactos e influencias físicas externas sobre la imagen. Se aplicó una corrección radiométrica de la cámara con objeto de minimizar fallos en la captura y desfases entre cada una de las bandas, reducir la caída de luz de la lente y la variabilidad de la respuesta de los píxeles. El registro banda a banda se refinó mediante un algoritmo de registro de imagen que permitió su alineación a nivel de subpixel. La corrección de la reflectancia del mosaico de imágenes se hizo a través de un algoritmo que eliminó las variaciones y rutinas de balance de color poco probables, preservando la integridad espectral. Las imágenes se calibraron mediante el método "Like values" para asegurar que eran comparables a la misma escala relativa. (Furby y Campbell, 2001).

Una vez procesadas las imágenes se calculó el NDVI mediante la Ecuación 2.2. Después se eliminaron los píxeles correspondientes al suelo y se llevó a cabo una interpolación con objeto de crear un mapa continuo de NDVI y minimizar posibles ruidos.

4.3. Cartografía de la conductividad eléctrica aparente del suelo

Los datos de conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa) se adquirieron el 1 de Agosto de 2011 mediante un sensor electromagnético tipo EM38 (EM38-MK2, Geonics Limited Mississauga, Ontario, Canada) conectado a un GPS y montado en un trineo plástico tirado por un vehículo quad (Figura 4.4).

El sensor se calibró previamente siguiendo las instrucciones del fabricante y se utilizó con orientación vertical de los dipolos. Esta orientación permitió medir la ECa en una profundidad de hasta 1 m. El sistema devolvió los valores georreferenciados de conductividad eléctrica del suelo en unidades de mS/m a razón de un valor por segundo. Estos datos se post-procesaron, eliminando aquellos outliers que pudieran ser debidos a errores en la medición o lecturas tomadas involuntariamente sobre elementos metálicos. Posteriormente se interpolaron mediante el método *kriging*, creando un mapa de resolución de pixel de 2,5 m.



Figura 4.4. Sensor EM38 montado sobre trineo y arrastrado por un quad en el viñedo experimental.

4.4. Extracción de valores individuales de cepa y zonificaciones de la parcela

A partir de los mapas continuos de NDVI y ECa, se realizó la extracción de los valores individuales para cada cepa muestral, así como la zonificación de la parcela.

Para lo primero, se creó un área circular (*buffer*) de 1,20 m de diámetro, equivalente a la distancia de plantación entre cepas. Posteriormente, se extrajo el valor medio del mapa para los píxeles contenidos en cada *buffer*, mediante una herramienta de análisis zonal del software de ArcGIS (ESRI ArcMAP 9.2, ESRI Inc. Redlands, California).

Para la zonificación de la parcela en zonas a partir del mapa continuo, se utilizó un algoritmo de agrupamiento denominado *Isodata*, disponible en el mismo software. Esta herramienta tiene en cuenta las varianzas y covarianzas cuando asigna cada celda a una de las clases impuestas, asumiendo la normalidad del conjunto de datos. Cada clase está caracterizada por un vector de valor medio y la matriz de covarianza, gracias a lo cual se calcula la probabilidad estadística de que una celda pertenezca a una clase en concreto (Tou y

González, 1974). De esta manera, cada cepa muestral queda categorizada dentro de un grupo o *cluster* concreto (por ej. alto o bajo vigor).

Este tipo de algoritmo permite, además, crear *clusters* a partir de varias capas o mapas de atributos. De esta manera, se pudieron hacer zonificaciones considerando también los cuatro mapas de NDVI de cada año y el mapa de conductividad eléctrica aparente.

4.5. Toma de datos en campo

La cronología de la toma de datos en campo y adquisición de imágenes aéreas para la obtención de los índices de vigor se presenta en la Tabla 4.1, con las fechas en las que se realizaron las mediciones en enero y vendimia.

Tabla 4.1. Fechas de toma de datos en los cuatro años de estudio.

	Fecha de enero (vuelo)	Fecha de vendimia
2010	20 de Agosto	21 de Octubre
2011	19 de Agosto	14 de Octubre
2012	13 de Agosto	16 de Octubre
2013	28 de Agosto	21 de Octubre

En enero se determinó la longitud total del pámpano, superficie foliar total y superficie foliar expuesta.

La longitud total del pámpano se calculó como la suma de la longitud del pámpano principal y las longitudes de los nietos con más de tres hojas, según el método propuesto por Martínez de Toda et al. (2007). Se midieron 2 pámpanos representativos en cada una de las cepas muestrales.

La estimación de la superficie foliar total se llevó a cabo a través de una recta de calibración que relacionaba la longitud total del pámpano con la superficie total del mismo. Dicha calibración se realizó recogiendo 20 pámpanos de longitudes variadas, midiendo la

longitud total de los mismos según el método propuesto por Martínez de Toda et al. (2007), y midiendo la superficie foliar de cada hoja gracias a un medidor de área foliar. Dicho medidor incorporaba un escáner y un software capaz de calcular la superficie de la hoja. El ajuste de la recta de calibración fue de $R^2= 0.957$.

La superficie foliar expuesta se calculó por cepa, a partir de las medidas de anchura y altura de la pared vegetal (Figura 4.5), según el método desarrollado por Smart y Robinson (1991).

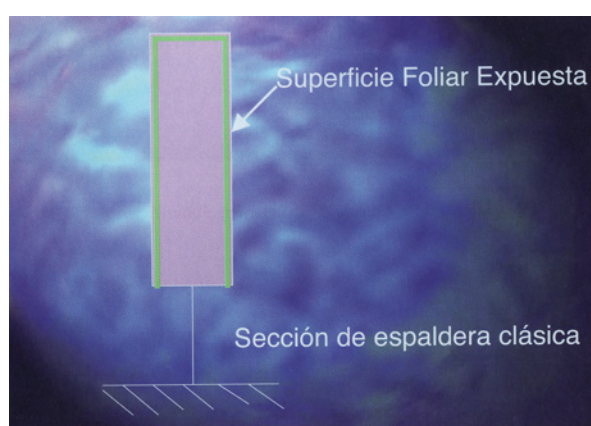


Figura 4.5. Concepto simplificado de Superficie Foliar Expuesta (superficie foliar externa de la vegetación) (Martínez de Toda, 2011).

En lo que se refiere a los componentes de la producción, en vendimia, para cada una de las cepas muestrales, se determinó el número de racimos por cepa y la producción total de uva, mediante pesada directa (Balanza dinamómetro electrónica Kern, modelo CH15K20, Alemania). Posteriormente, y a partir de los datos anteriores, se calculó el peso medio del racimo para cada cepa.

Además, a partir de los datos de vendimia, se calculó la relación entre la superficie foliar total (SFT) y la producción (P): SFT/P ; y la relación entre la superficie foliar expuesta (SFE) y la producción (P): SFE/P , para cada una de las cepas. Se calculó también el Índice de Toda (Martínez de Toda et al., 2007) como cociente entre la SFT/P y la longitud total del pámpano.

En invierno, tras la caída de la hoja, se midieron los pesos de poda de cada una de las cepas muestrales por pesada directa de la madera de poda en una balanza dinamómetro electrónica Kern.

4.6. Análisis en laboratorio

En la época de vendimia, se tomaron varios racimos representativos de cada una de las cepas y se trasladaron al laboratorio para el análisis de los principales parámetros: azúcares, acidez total y pH. Para el análisis de los antocianos extraíbles y el índice de polifenoles totales, se congelaron las muestras a -20 C hasta su análisis en un laboratorio externo. Para la obtención del mosto se tritararon los granos de uva en una tomatera manual obteniendo el mosto libre de pepitas y hollejos (Figura 4.6).



Figura 4.6. Mostos de uva extraídos para análisis físico-químico en laboratorio.

El contenido en sólidos solubles del mosto se midió con un refractómetro digital (Pocket Atago PAL-1, Japón), expresando los resultados en grado probable. La acidez total (g/L de tartárico) se analizó por valoración volumétrica ácido-base con NaOH 0,1N usando azul de bromotimol como indicador (pH punto final, 7,6). El pH se determinó por potenciometría mediante pHmetro (Crison GLP 21, España). Los antocianos extraíbles e índice de polifenoles totales se analizaron en un laboratorio externo siguiendo la metodología propuesta por Glories (1993).

4.7. Microvinificaciones

En vendimia, además de la toma de datos descrita anteriormente, se realizaron vinificaciones en pequeña escala de las diferentes zonas de vigor. Las fechas de vendimia

fueron el 21/10/2010, el 14/10/2011, el 16/10/2012 y el 21/10/2013 (Tabla 4.1).

En los años 2010 y 2011 se simplificó el ensayo a dos microvinificaciones: alto y bajo vigor; mientras que en 2012 y 2013, se decidió separar en tres niveles: vigor alto, medio y bajo, ya que las diferencias eran muy consistentes dada la climatología particular de dichas añadas.

Para ello, se vendimió la uva de las cepas pertenecientes a dichas zonas, según la categorización del *iso-clustering* a partir de los datos de NDVI adquiridos en el vuelo (tal como se explicó en el apartado 4.4). La uva de todas las diferentes zonificaciones fue vendimiada en el mismo día y se homogeneizó obteniendo un único lote por zona.

Cada lote de uva se despallilló y estrujó con una despallidora-estrujadora eléctrica de pequeño tamaño (Figura 4.7). Se repartió la pasta de vendimia de manera equitativa en dos repeticiones por cada año y zona de vigor. De esta manera, cada repetición hacía referencia a la vinificación (no a la uva). En todos los años, se realizaron dos repeticiones por nivel de vigor, salvo en 2012 que sólo se pudo realizar una. La pasta de vendimia se introdujo en depósitos de acero inoxidable de 30 L de capacidad provistos de un grifo en la parte inferior. A continuación se adicionó anhídrido sulfuroso a razón de 60 mg/kg. No se corrigió la acidez con objeto de no interferir en la composición final del vino.



Figura 4.7. Despallillado y estrujado de la uva y encubado en depósitos de 30L.

Seguidamente, los mostos se inocularon con una levadura comercial de carácter neutro, *Saccharomyces cerevisiae* con dosis de 25 g/hl. La tapa de los depósitos se mantuvo en su sitio pero sin cerrar, para permitir la salida del gas carbónico. La temperatura de fermentación se controló a 25-30°C por control de la temperatura ambiente de la sala. Se bazuqueó cada depósito diariamente con un bazuqueador para mojar el sombrero y permitir la extracción de los componentes del hollejo. El seguimiento de la densidad y temperatura de la fermentación fue también diario.

Se comprobó la correcta finalización de la fermentación mediante el análisis de los azúcares reductores. Transcurridos 15 días desde el encubado, y verificada la finalización de la fermentación alcohólica, se procedió al descube y prensado de los vinos con una mini-prensa de cubillo de 20L de capacidad. Una vez extraído el vino, se trasvasó a recipientes de 5L y se mantuvieron durante 7 días en cámara frigorífica a 4°C para facilitar su sedimentación natural antes de la trasiega. Transcurrido dicho período, se procedió al trasiego y homogeneización de cada lote, se analizó el contenido en sulfuroso libre y se corrigió a 60 mg/L. Se embotelló el vino en botellas de 0,75 L de capacidad, se encorchó, se mantuvo 24 horas en posición vertical y transcurrido este tiempo se guardaron en posición horizontal en cajas de cartón en una sala en condiciones de temperatura y humedad constantes, hasta el momento de ser analizadas.

4.8. Composición y características sensoriales del vino

4.8.1. Análisis físico-químicos de los vinos

Transcurridos cuatro meses desde de la finalización de la fermentación alcohólica, se analizaron los siguientes parámetros de los vinos. El grado alcohólico expresado en % alcohol v/v, se analizó por ebullometría (BARUS). El pH se analizó por potenciometría con pHmetro, mientras que la acidez total, expresada en g/L de ácido tartárico se determinó por valoración volumétrica ácido-base con NaOH 0,1N usando azul de bromotimol como indicador (pH punto final, 7,6). El ácido málico (en g/L) se determinó por análisis enzimático mediante autoanizador multiparamétrico ENOCHEM TDI (España). El Índice de color y la tonalidad se determinaron por espectrofotometría visible siguiendo la metodología descrita por la OIV

(OIV, 1990). Por último, el Índice de polifenoles totales se determinó por espectrofotometría UV según el método de la CEE (EEC, 1990).

4.8.2. Análisis sensorial de los vinos

Se llevó a cabo el análisis sensorial de los vinos siguiendo la metodología de Análisis Descriptivo (Lawless y Heymann, 1998). El análisis descriptivo se llevó a cabo entre seis y siete meses después del embotellado. El panel de cata estaba compuesto por 10 catadores expertos, con un promedio de edad de 38 años. Dentro de cada sesión de cata, los jueces evaluaron los estándares de aroma y percepción en boca, preparados poco antes del comienzo de la cata. Cada uno de los atributos de aroma o de percepción en boca se evaluó utilizando una escala continua de 1 a 9, en la que “1” significaba la ausencia del atributo y “9” una intensidad muy elevada del mismo, equiparable a la percibida en los estándares. Los vinos fueron presentados con números codificados y de forma anónima.

Los estándares aromáticos se eligieron en base a los aromas más frecuentemente encontrados en la variedad Tempranillo. Los estándares aromáticos y de percepción se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Estándares aromáticos y de percepción para el análisis sensorial de los vinos

Descriptor sensorial	Preparación del estándar
Fresa-Fruta roja	4 g de fresas picadas + 4 g de frambuesas picadas
Mora	4 g de moras picadas + 2 ml de mermelada de mora
Gominola	5 g de gominolas de fruta picadas
Violeta	4 g de caramelos de violeta picados “La Violeta”
Hierba cortada	4 g de hierba recién cortada
Regaliz	4 g de barra de regaliz negro “Zara” cortada
Fruta pasa	4 pasas de uva + 1 ciruela pasa picada
Pimienta negra- especiado	1 pizca de pimienta negra recién molida
Volumen en boca	4 ml de etanol 96% en 30 ml de agua
Acidez	60 mg de ácido tartárico en 30 ml de agua
Astringencia	60 mg tanino de uva comercial en 30 ml de agua

4.9. Análisis estadístico

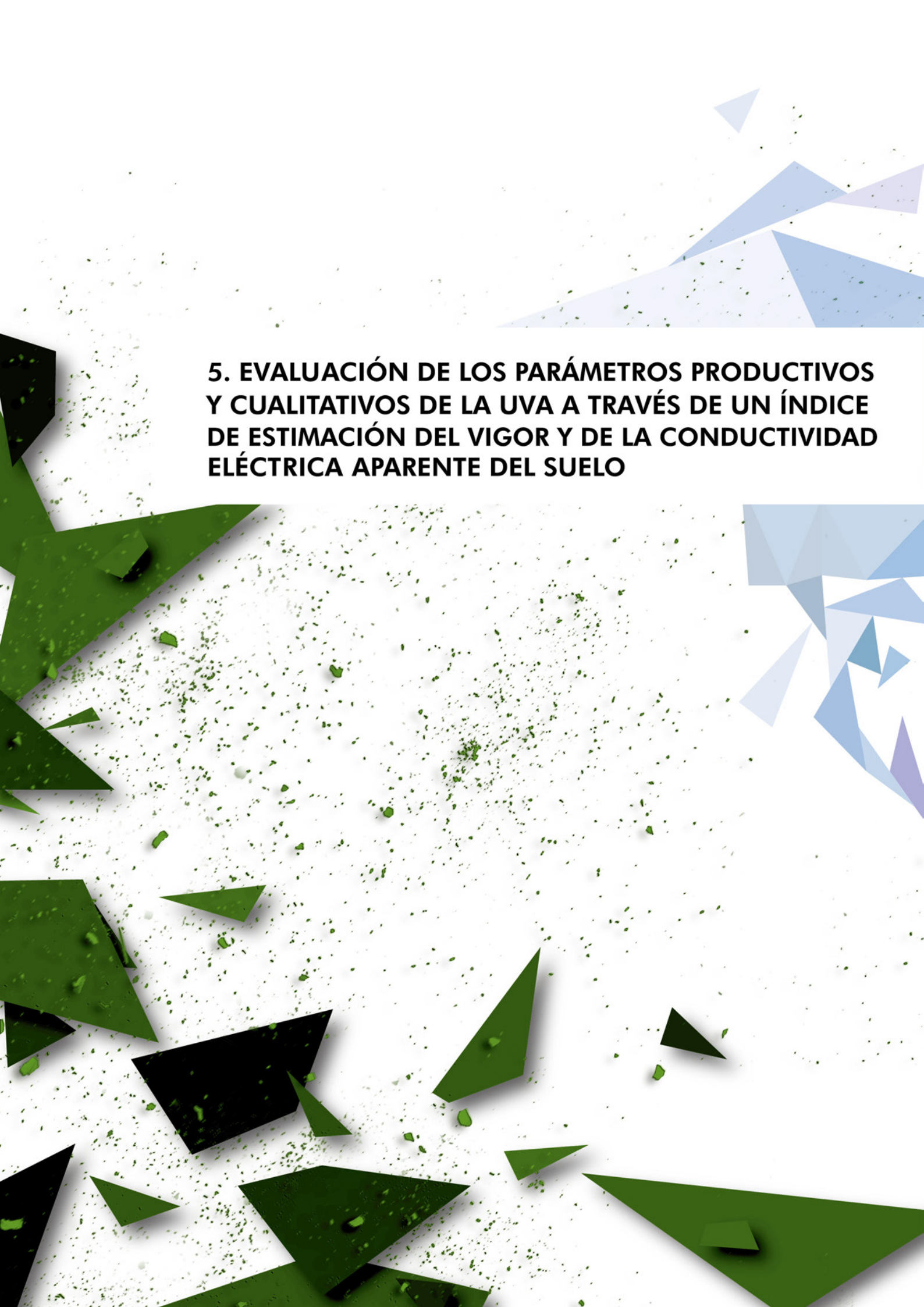
El conjunto de datos vegetativos, productivos y de composición de la uva fue analizado estadísticamente mediante análisis de varianza ANOVA y separación de medias entre las zonas de vigor usando el test de LSD Fisher al nivel de significación de 0,05.

La relación entre los diferentes parámetros estudiados y el valor de NDVI extraído para cada cepa, se analizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

Los modelos para los índices de calidad de uva se calcularon mediante regresión multiparamétrica y método de inclusión de variables stepwise.

El estudio de los datos del análisis sensorial del vino se realizó mediante Análisis de Componentes Principales.

Para todo ello se utilizó el paquete estadístico informático InfoStat (InfoStat versión 2009, Córdoba, Argentina).



**5. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS
Y CUALITATIVOS DE LA UVA A TRAVÉS DE UN ÍNDICE
DE ESTIMACIÓN DEL VIGOR Y DE LA CONDUCTIVIDAD
ELÉCTRICA APARENTE DEL SUELO**

5.1. Introducción

Como se expuso en el Capítulo 1, uno de los grandes retos planteados en la presente investigación fue el de relacionar la información aportada por ciertos datos fácilmente medibles por sensores remotos o sensores de proximidad con las características del viñedo y de la uva producida por éste, teniendo en cuenta la gran variabilidad intra-parcelaria existente.

El hecho de poder entender mejor la información que aportan estas mediciones puede abrir una nueva perspectiva de hasta qué punto pueden ayudar estas herramientas a la toma de decisiones técnicas y obtener un mayor aprovechamiento de la cosecha (Proffit y Pearse, 2004; Bramley et al., 2009).

La variabilidad observable en el viñedo proviene principalmente del clima, la topografía y las características del suelo, y algunas de estas fuentes de variación se mantienen estables en el tiempo, como observaron Bramley y Hamilton (2004). Teniendo en cuenta que las diferencias macro-climáticas son despreciables dentro de la misma parcela para un año dado, la mayor fuente de variación provendrá de las propiedades de los suelos. Estas diferencias influirán en el contenido de nutrientes y capacidad de retención de agua, lo cual se traducirá en respuestas vegetativas y productivas diversas. A nivel de composición de la uva, las relaciones son mucho más complejas, ya que intervienen otros factores como el microclima (insolación y temperatura de los racimos), los cuales cobran especial relevancia en un escenario de cambio climático como el actual. Los datos generados a través de las imágenes de NDVI, junto con los monitores de rendimiento montados en cosechadoras, han sido las fuentes de información más comúnmente utilizadas para evaluar el manejo zonal del viñedo en viticultura de precisión (Bramley y Hamilton, 2004; Arnó et al., 2011; Martínez-Casasnovas et al., 2012). Puesto que la información relativa al rendimiento productivo es muy variable en cada año, la delineación de zonas de manejo en base a esta información puede ocasionar imprecisiones, especialmente si se pretende trabajar a más largo plazo. También muchos autores han intentado relacionar NDVI con calidad de uva, con resultados más o menos variables (Lamb et al., 2004; Bramley, 2005; Stamatidis et al., 2006). Por este motivo, se hace necesario estudiar otro tipo de datos de carácter más estable en el tiempo, y que puedan mejorar la información que aporta el NDVI o el rendimiento. Muchos autores vinculan la variación espacial observada en el viñedo, fundamentalmente, con las propiedades del suelo

donde se desarrollan las vides. La influencia del suelo sobre el comportamiento de la planta y la composición del fruto es compleja, ya que influye sobre la nutrición mineral de la misma y sobre las condiciones de absorción de agua. Esto, a su vez, influye de manera notable en el comportamiento vegetativo de la planta y en su respuesta productiva y cualitativa. Es de común aceptación que el potencial cualitativo de la uva está relacionado con una disponibilidad hídrica moderada, de manera que en suelos profundos, fértiles y con gran capacidad de retención de agua, las vides son vigorosas y de gran productividad. Sin embargo, las viñas cultivadas en suelos poco profundos y pobres, presentan rendimientos menores, y bayas más pequeñas y concentradas (Van Leeuwen y Seguin, 2006)

Como ya se ha expuesto en el Capítulo 2, en el contexto de la viticultura de precisión, una de las fuentes más utilizadas por su rapidez y viabilidad para obtener información del suelo, son los sensores electromagnéticos, acoplados a GPS. Estos dispositivos son capaces de medir la conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa) y se han utilizado previamente en viñedo (Taylor et al., 2009; Rodríguez-Pérez et al., 2011; André et al., 2012; Martini et al., 2013; Rossi et al., 2013). Aportan información muy valiosa sobre el suelo, relacionada con la humedad del mismo o con el contenido en sales, pero también con la porosidad, contenido en arcillas, densidad radicular, distancia a la capa freática... (McNeill, 1980; Corwin y Lesch, 2005).

Teniendo en cuenta el carácter perenne del cultivo de la vid y la estabilidad temporal observada en muchas de las características del cultivo (Tysseire et al., 2008; Kazmierski et al., 2011; Taylor y Bates, 2013), es razonable pensar que la implementación de información “multitemporal” (de varios años), puede mejorar el diseño y delimitación de las unidades de manejo a medio-largo plazo, para una serie de años futuros.

5.2. Desarrollo

En este capítulo se emplearon los datos suministrados por las imágenes aéreas de vigor y por el sensor edáfico EM38, y se contrastaron con las medidas tomadas en las cepas muestrales (datos vegetativos, datos productivos y composición de la uva).

En la Figura 5.1 se muestran los mapas continuos para el NDVI en los cuatro años de estudio, así como el mapa de de conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa).

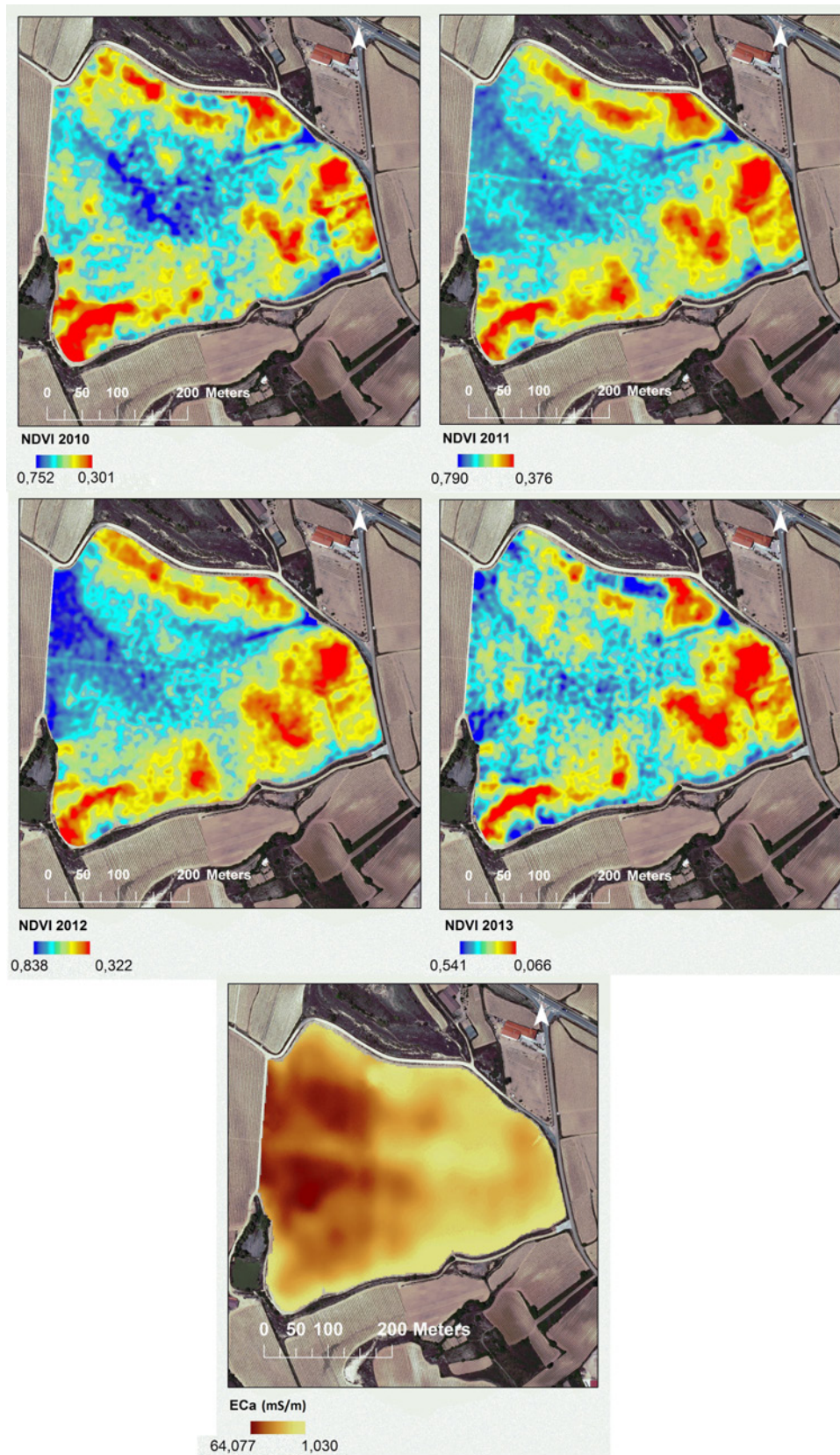


Figura 5.1. Mapas continuos de NDVI para los cuatro años de estudio y mapa continuo de ECa.

A partir de los mapas de vigor, se extrajeron los valores de NDVI individuales de cada año para cada cepa de estudio y se relacionaron con los parámetros de campo mediante coeficientes de correlación, cuyos resultados se recogen en el apartado 5.3.2.

Los mapas continuos de NDVI también se usaron para la zonificación o *clusterización* anual de la parcela con objeto de establecer tres zonas de vigor diferentes y evaluar la posible existencia de diferencias significativas entre los grupos de cepas que se incluyeron en cada grupo. Estos resultados se presentan en el apartado 5.3.3.

De la misma manera, se utilizaron los cuatro mapas de NDVI junto con el de ECa para valorar el uso de varias capas de datos en la *clusterización*, y comprobar si mejoraba la delineación de zonas de manejo diferenciado. En este caso, a diferencia del apartado anterior, se optó por establecer dos zonas ya que los resultados obtenidos sugirieron que era lo más conveniente. Los parámetros vegetativos en este apartado se redujeron a dos (longitud total del pámpano y superficie foliar total), para simplificar el análisis.

Las combinaciones utilizadas para la zonificación fueron las siguientes:

(a) NDVI de cada año de estudio (“NDV_i”): para cada año de estudio se utilizó únicamente el mapa continuo de NDVI de ese año.

(b) Conductividad eléctrica aparente del suelo (“ECa”): se utilizó únicamente el mapa continuo de ECa.

(c) NDVI de cada año y la ECa (“NDV_i&ECa”): para cada año de estudio se utilizó el mapa continuo de NDVI de ese año junto con el mapa continuo de ECa.

(d) NDVIs de todos los años (“NDVIs”): se utilizaron los cuatro mapas continuos de NDVI, correspondientes a los cuatro años de estudio 2010, 2011, 2012 y 2013.

(e) NDVIs de todos los años y ECa (“NDVIs&ECa”): se utilizaron los cuatro mapas de NDVI y además el de ECa.

Cada cepa muestral pudo pertenecer a un *cluster* diferente según estas cinco posibles zonificaciones. El análisis ANOVA para las cinco combinaciones permitió observar cuál de ellas era la que mayor capacidad de separación de los diferentes parámetros del viñedo presentaba. Estos resultados se presentan en el apartado 5.3.4.

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Variabilidad de los parámetros vegetativos, productivos y de calidad de uva

Con objeto de mostrar la variabilidad de los parámetros estudiados, en la Tabla 5.1 se recoge un resumen estadístico de dichos parámetros.

En dicha Tabla 5.1, se observa la gran variabilidad intra-parcelaria en todos los años de estudio, con altos coeficientes de variación que alcanzan el 55% en el caso de la longitud total del pámpano en 2012 y hasta un 52% en el caso de la producción por cepa en los años 2012 y 2013. Los parámetros de madurez tecnológica de la uva (grado probable, pH y acidez total) mostraron menor variación (menor del 14%). Mientras que los antocianos y polifenoles presentaron mayor variabilidad (20-30%). Esta gran variabilidad ha sido encontrada también por numerosos autores (Bramley, 2005; Martínez-Casasnovas et al., 2012; Fiorillo et al., 2012), sugiriendo una oportunidad para el manejo diferenciado y vendimia selectiva. La variabilidad temporal fue especialmente remarcable entre el año 2013 y el resto, especialmente en los parámetros relacionados con el vigor.

5.3.2. Coeficientes de correlación

A partir de los valores de NDVI, extraídos individualmente del mapa continuo para cada cepa muestral, se realizó un análisis de correlación con los diferentes parámetros mediante el coeficiente de Spearman. Los valores de dicho coeficiente se recogen en la Tabla 5.2.

Los parámetros vegetativos (longitud total del pámpano, superficie foliar expuesta, superficie foliar total y peso de poda) mostraron altas correlaciones y muy significativas con el NDVI en los cuatro años de estudio.

La producción tan sólo se relacionó significativamente con el NDVI en el año 2010 y, además, presentó coeficientes muy bajos para el resto de años. Aun así, el peso medio del racimo pareció estar más ligado al NDVI de manera positiva y significativa en todos los años de estudio. El peso de la baya presentó similar comportamiento salvo en el año 2013, en el que el coeficiente fue más bajo y no significativo.

Tabla 5.1. Resumen estadístico de los parámetros de vigor, producción y uva analizados.

	Media ± Desviación estándar				CV %				CV % interanual
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
Longitud total del pámpano (cm)	351±179	345±175	323±180	494±273	51,0	50,6	55,8	55,3	20,6
Superficie foliar expuesta (m²/cepa)	3,26±0,66	3,41±0,58	3,12±0,65	3,41±0,53	20,1	17,1	20,9	15,4	4,2
Superficie foliar total (m²/pámpano)	0,72±0,37	0,70±0,36	0,66±0,37	1,01±0,56	51,0	50,6	55,8	55,3	20,7
Peso de poda (kg/cepa)	1,10±0,49	1,12±0,39	1,07±0,43	1,04±0,45	44,5	35,0	40,5	43,2	3,2
Producción (kg/cepa)	4,02±1,66	3,38±1,70	3,83±2,00	3,75±1,98	41,4	50,2	52,2	52,9	7,2
Peso medio del racimo (g)	236,3±77,2	263, 5±84,0	282,7±104,1	293,4±109,3	32,7	31,9	36,8	37,3	9,3
Peso de la baya (g)	2,3±0,4	2,4±0,4	2,2±0,5	2,3±0,4	16,5	18,1	21,1	18,2	3,5
Grado probable (°al)	13,6±1,2	14,4±1,2	14,2±1,3	13,4±1,5	8,5	8,6	9,2	11,4	3,4
Acidez total (g/L ac.tartárico)	8,00±1,03	6,22±0,84	5,30±0,58	8,91±1,13	12,8	13,5	11,0	12,6	23,1
pH	3,07±0,11	3,28±0,11	3,14±0,17	2,94±0,13	3,7	3,4	5,3	4,3	4,6
Antocianos extraíbles uva (mg/L)	399±141	446±104	683±206	677±199	35,3	23,4	30,1	29,5	27,2
IPT uva (UA)	39,84±9,8	40,4±6,5	56,7±12,5	42,6±9,7	24,6	16,1	22,1	22,8	17,8

°al= grado alcohólico probable; UA= unidades de absorbanza

Tabla 5.2. Coeficientes de Spearman entre el NDVI y los diferentes parámetros de vigor, producción y uva analizados.

	2010	2011	2012	2013
Longitud total del pámpano (cm)	0,80***	0,70***	0,59***	0,50***
Superficie foliar expuesta (m ² /cepa)	0,82***	0,60***	0,78***	0,61***
Superficie foliar total (m ² /pámpano)	0,80***	0,70***	0,59***	0,45***
Peso de poda (kg/cepa)	0,78***	0,58***	0,66***	0,60***
Producción (kg/cepa)	0,32*	0,06	0,15	0,02
Peso medio del racimo (g)	0,36*	0,46**	0,28*	0,32*
Peso de la baya (g)	0,36*	0,49***	0,44**	0,18
Grado probable (°al)	-0,29*	-0,45**	-0,41**	-0,09
Acidez total (g/L ac.tartárico)	-0,04	0,10	-0,01	0,12
pH	0,44**	0,06	0,28*	0,06
Antocianos extraíbles uva (mg/L)	0,42*	0,36*	0,08	0,01
IPT uva (UA)	-0,13	-0,30*	-0,35*	-0,28*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

°al= grado alcohólico probable; UA= unidades de absorbancia

El grado de alcohol probable mostró una relación negativa con el vigor, especialmente en los años 2011 y 2012. La acidez total no mostró tendencias claras, sin embargo el pH presentó correlación significativa en los años 2010 y 2012. Inesperadamente, los antocianos mostraron coeficientes positivos con respecto al NDVI, y significativos en los años 2010 y 2011. Los polifenoles totales presentaron una correlación negativa y significativa (salvo en 2010) con respecto al NDVI.

5.3.3. Zonificación en base al NDVI

El anterior análisis de correlación permitió observar relaciones directas entre ciertos parámetros y el vigor (en forma de NDVI) que presentaban cada cepa de manera individual. Sin embargo, a la hora de un manejo práctico, se hace necesario establecer unas zonas o *clusters* de vigor donde se recojan grupos de cepas con unas características potencialmente similares dentro de cada zona y distintas entre zonas. Es por ello, que el mapa continuo de NDVI se dividió en tres zonas de vigor: alto, medio y bajo. De esta manera, cada cepa muestral quedó englobada dentro de una de estas zonas. La Tabla 5.3 recoge el resultado del análisis ANOVA con la media de cada parámetro evaluado en los cuatro años de estudio en cada zona de vigor.

Tabla 5.3. Análisis ANOVA y separación de medias (LSD Fisher) para la zonificación del vigor (NDVI) en tres zonas: alto, medio y bajo vigor.

	2010				2011				2012				2013			
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto	
	vigor	vigor	vigor		vigor	vigor	vigor		vigor	vigor	vigor		vigor	vigor	vigor	
Longitud total del pámpano (cm)	171 ^c	397 ^b	491 ^a	***	130 ^c	247 ^b	423 ^a	***	118 ^c	260 ^b	433 ^a	***	211 ^b	545 ^a	567 ^a	***
Superficie foliar expuesta (m ² /cepa)	2,57 ^c	3,42 ^b	3,80 ^a	***	2,61 ^c	3,41 ^b	3,61 ^a	***	2,27 ^c	2,84 ^b	3,59 ^a	***	2,59 ^b	3,53 ^a	3,63 ^a	***
Superficie foliar total (m ² /pámpano)	0,35 ^c	0,81 ^b	1,00 ^a	***	0,27 ^c	0,50 ^b	0,86 ^a	***	0,24 ^c	0,53 ^b	0,88 ^a	***	0,43 ^b	1,11 ^a	1,16 ^a	***
Peso de poda (kg/cepa)	0,66 ^c	1,17 ^b	1,52 ^a	***	0,60 ^c	1,14 ^b	1,25 ^a	***	0,43 ^c	1,06 ^b	1,28 ^a	***	0,53 ^b	1,10 ^a	1,19 ^a	***
Producción (kg/cepa)	3,22 ^b	4,54 ^a	4,29 ^a	*	2,53	3,48	3,56	ns	2,67	4,13	4,04	ns	2,84	4,3	3,74	ns
Peso medio del racimo (g)	192,6 ^b	261,5 ^a	254,2 ^a	*	179,4 ^b	213,0 ^b	297,2 ^a	***	202,4 ^b	303,5 ^a	296,9 ^a	*	208,3 ^b	304,6 ^a	321,0 ^a	**
Peso de la baya (g)	2,1 ^b	2,4 ^{ab}	2,5 ^a	*	1,8 ^c	2,3 ^b	2,6 ^a	***	1,8 ^b	2,2 ^a	2,3 ^a	**	1,8 ^b	2,5 ^a	2,4 ^a	***
Grado probable (°al)	14,1	13,5	13,3	ns	15,6 ^a	14,8 ^{ab}	14,0 ^b	**	15,4 ^a	14,2 ^b	13,7 ^b	**	14,1	13,5	12,9	ns
Acidez total (g/L ac.tartárico)	8,31	7,63	8,08	ns	6,55	5,68	6,28	ns	5,65	5,09	6,87	ns	8,87	8,71	9,08	ns
pH	3,00 ^b	3,10 ^a	3,12 ^a	**	3,19 ^b	3,34 ^a	3,29 ^{ab}	*	3,03 ^b	3,15 ^{ab}	3,18 ^a	*	2,93	2,97	2,92	ns
Antocianos extraíbles uva (mg/L)	308	440	430	ns	341 ^b	440 ^{ab}	474 ^a	**	542	741	670	ns	713	708	635	ns
IPT uva (UA)	42,0	38,7	39,3	ns	43,5	38,1	40,2	ns	62,7	61,0	53,0	ns	49,0 ^a	40,7 ^b	41,2 ^b	*

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

°al= grado alcohólico probable; UA= unidades de absorbancia

Las variables relativas a la expresión vegetativa (longitud total del pámpano, superficies foliares, peso de poda) mostraron diferencias significativas muy claras entre las diferentes zonas de vigor. Aunque en 2013 ocurrió que la distinción sólo se produjo entre 2 zonas: la de bajo vigor con respecto a la de medio y alto. Estos datos, junto a los del análisis de correlación, indican la gran capacidad del NDVI como indicador del desarrollo vegetativo de la planta, como ya se constató en otros estudios previos (Acevedo-Opazo et al., 2008). Además, este patrón parece mantenerse estable a través de los cuatro años de estudio.

Los componentes de la producción presentaron un comportamiento más diverso. El peso de la baya, en general, fue mayor en las cepas de alto vigor y viceversa. En 2011 hubo diferencias entre el peso de la baya para los 3 niveles de vigor, mientras que en el resto de años, sólo se diferenció entre dos zonas (bajo vigor y resto). El peso de la baya es un factor muy importante en la valoración de la calidad de la uva ya que tiene gran influencia en la concentración final de compuestos fenólicos en el mosto; las bayas pequeñas poseen relaciones hollejo:pulpa mayores y, por ende, potencialmente poseerán más compuestos por volumen de mosto (Coombe y Iland, 2004). El peso medio del racimo presentó diferencias significativas en todos los casos, pero solo distinguiendo entre 2 zonas, generalmente entre el bajo vigor y el resto, encontrando pocas diferencias en los pesos medios de cepas de medio y alto vigor. Este parámetro siguió una tendencia similar al peso de la baya, lo cual indicó que racimos con bayas menores, dieron lugar a racimos también más ligeros. Las diferencias en producción fueron significativas sólo en 2010 entre la zona de bajo vigor (menor producción) y medio vigor (mayor producción), presentando la zona de alto vigor un valor intermedio. Una tendencia similar se observó en el resto de años de estudio. Este comportamiento, unido al bajo coeficiente de correlación obtenido, puede explicarse a través del efecto fisiológico producido en aquellas cepas con exceso de vigor, que pudieron presentar una menor fertilidad de sus yemas y/o un peor cuajado del fruto (corrimiento), como ya se observó en otras investigaciones (Cortell et al., 2005).

En lo que respecta a la composición de la uva, el grado probable fue menor en las zonas de alto vigor y mayor en las de bajo vigor, siendo significativo en 2011 y 2012. En ambos casos, la diferenciación se produjo únicamente entre dos zonas. Las diferencias en el grado en las cepas de alto vigor pueden explicarse por el mayor crecimiento vegetativo (Kliewer et al., 1967) y un cierto retraso en la maduración o incluso por deshidratación de las bayas en las cepas de bajo vigor.

En lo que respecta a la composición de la uva, el grado probable fue menor en las zonas de alto vigor y mayor en las de bajo vigor, siendo significativo en 2011 y 2012. En ambos casos, la diferenciación se produjo únicamente entre dos zonas. Las diferencias en el grado en las cepas de alto vigor pueden explicarse por el mayor crecimiento vegetativo (Kliwer et al., 1967) y un cierto retraso en la maduración o incluso por deshidratación de las bayas en las cepas de bajo vigor.

La acidez total no mostró tendencias claras entre las diferentes zonas de vigor, mientras que el pH (salvo en el 2013) fue significativamente menor en las zonas de bajo vigor, distinguiendo el test ANOVA únicamente entre 2 zonas. La diferencia mínima en acidez total entre zonas acompañada sin embargo de variaciones constatables en el pH, puede explicarse por una menor proporción de ácido málico respecto al tartárico (de mayor fuerza ácida). Las plantas de bajo vigor suelen presentar menores contenidos en ácido málico (Smart et al., 1985) debido por un lado a una menor síntesis y por otro a la mayor combustión del mismo por la mayor exposición y temperatura del racimo.

Los antocianos se estudiarán en el siguiente capítulo de manera específica, pero los datos indicaron que existió una relación positiva con el vigor en los tres primeros años de estudio, contrariamente a lo que indican la mayoría de estudios. En lo que respecta al IPT, en 2013 se presentaron diferencias significativas entre la zona de bajo vigor (mayor IPT) y la de medio y alto vigor (menor IPT). Esta misma tendencia se observó en el resto de años de estudio. Las cepas con mayor vigor presentan menor síntesis fenólica (Cortell et al., 2005), como también observó Lamb et al. (2004), comparando NDVI y fenoles totales.

5.3.4. Zonificaciones combinadas: evaluación de la estabilidad temporal de las unidades de manejo

Los resultados estudiados en el anterior apartado demuestran una clara oportunidad para un manejo diferenciado, a partir de unos datos generados a través de las imágenes de NDVI. Estudiar otro tipo de datos de carácter más estable en el tiempo, como son las

propiedades del suelo, puede mejorar la información que aporta el NDVI. En este apartado se estudiaron las zonificaciones en base a los mapas de los cuatro años de NDVI por separado, conjuntamente y también con el mapa de ECa.

Los mapas presentados en la Figura 5.1 muestran visualmente una estabilidad temporal del NDVI, con las áreas extremas de vigor que permanecen constantes, y una zona intermedia que cambia según el año. El año 2013 se asemeja más al año 2010, con menos diferencias en el área oeste de la parcela, mientras que en los años 2011 y 2012 se define un área claramente de alto vigor en esta zona. El mapa de ECa refleja claramente una zona de mayor conductividad en la mitad oeste de la parcela, que no siempre coincide con los mapas de NDVI.

Esto mismo se ve reflejado en los mapas de zonificación (Figura 5.2): la *clusterización* en base al NDVI (Figura 5.2.a) devolvió un mapa con la zona central – oeste de la parcela categorizada como alto vigor (“Cluster 2”, en azul), que fue bastante constante en todos los años, al igual que en el mapa de *clusterización* de todos los años conjuntos (Figura 5.2.d). Los años 2010 y 2013 mostraron la zona de bajo vigor (“Cluster 1”, en rojo) más reducida y dispersa. Respecto a la *clusterización* incluyendo el mapa de ECa (Figura 5.2.c), quedan más definidos los dos *clusters*, con la zona de alto vigor/alta ECa (“Cluster 2”, en verde) formando una “lengua” que parte del borde oeste de la parcela y se introduce hacia el centro de la misma. En la parte este de la parcela y extremos norte y sur, se observa el “Cluster 1” de bajo vigor/baja conductividad (en rosa). En general, las variaciones entre los cuatro años son muy sutiles, sin embargo provocan que ciertas cepas clave se clasifiquen en una u otra zona, modificando la calidad de la zonificación.

Los resultados de los ANOVAs de los parámetros de estudio para las 5 combinaciones de análisis de *clusters* se recogen en la Tabla 5.4. Los *clusters* se numeraron “CL1” y “CL2”. El “Cluster 1” correspondería a los valores más bajos de NDVI y/o ECa, y el “Cluster 2” a los valores más altos. El resumen de las variables estudiadas, así como las que presentaron diferencias significativas entre *clusters* se muestran en la Tabla 5.5, además del porcentaje de acierto de cada método de zonificación.

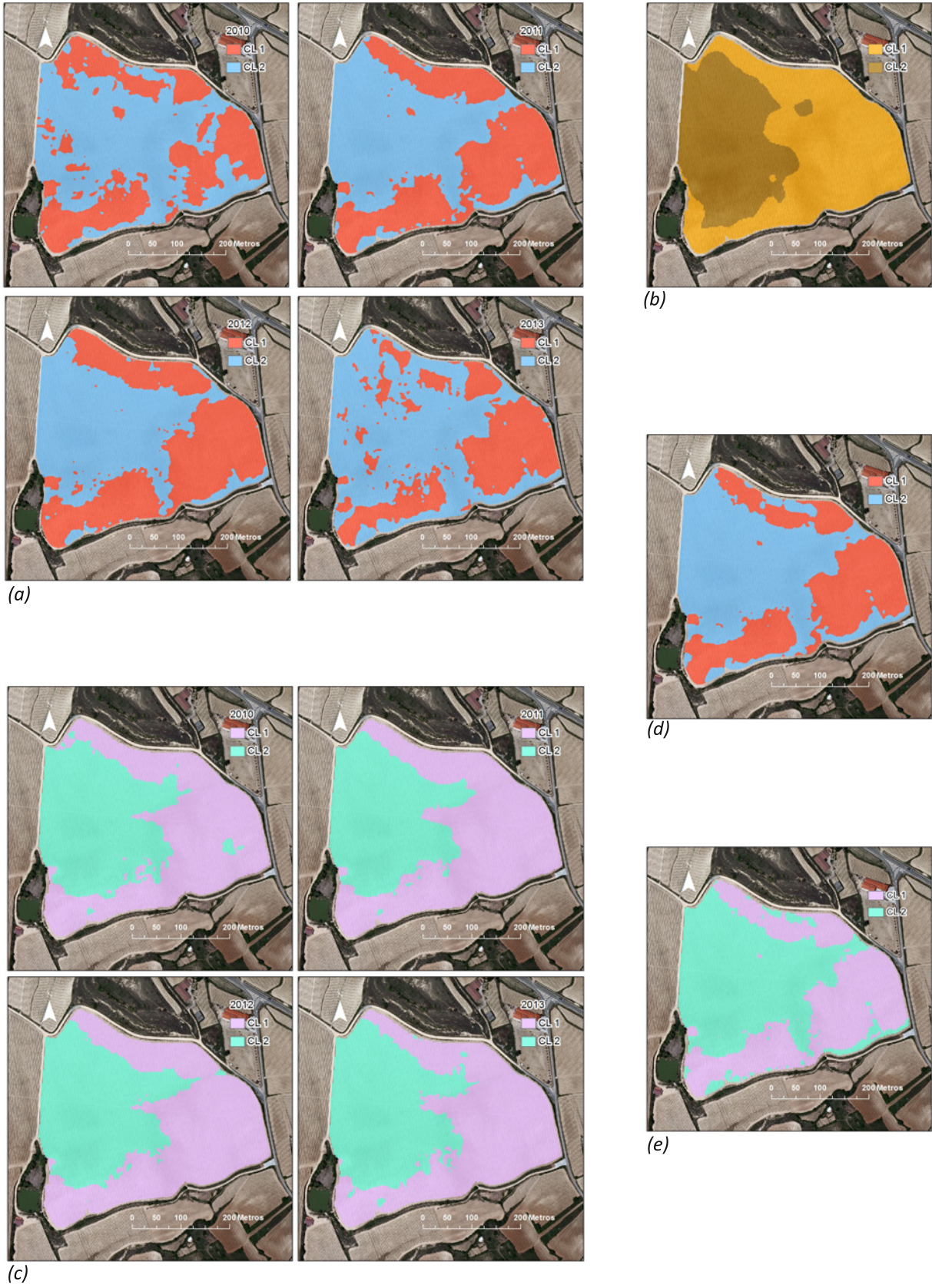


Figura 5.2. Mapas de zonificación para las cinco combinaciones posibles: (a) NDVI, (b) ECA, (c) NDVI & ECA, (d) NDVI y (e) NDVI & ECA. (CL1= Cluster 1; CL2= Cluster 2)

Tabla 5.4. Resumen del análisis ANOVA para las cinco posibilidades de zonificación.

			LTP (cm)	SFTp (m ²)	P/cepa (kg)	Pm racimo (g)	Pbaya (g)	Grado p (°al)	AT (g/L)	pH	Antocianos ext. (mg/L)	ITP (UA)	
NDVii	2010	CL 1	243 ^b	0,50 ^b	3,61	214,5	2,2	13,8	8,04	3,04 ^b	319 ^b	39,0	
		CL 2	458 ^a	0,94 ^a	4,44	258,0	2,4	13,4	7,96	3,11 ^a	454 ^a	40,5	
	2011	CL 1	158 ^b	0,32 ^b	2,55	183,6 ^b	2,0 ^b	15,4 ^a	6,45	3,23	361 ^b	41,4	
		CL 2	411 ^a	0,84 ^a	3,67	291,9 ^a	2,6 ^a	14,0 ^b	6,14	3,30	476 ^a	40,0	
	2012	CL 1	177 ^b	0,36 ^b	3,26	237,1 ^b	1,9 ^b	14,8 ^a	5,42	3,05 ^b	636	60,3	
		CL 2	390 ^a	0,80 ^a	4,09	303,0 ^a	2,3 ^a	13,9 ^b	5,24	3,18 ^a	695	55,7	
	2013	CL 1	280 ^b	0,57 ^b	3,22	232,2 ^b	2,1 ^b	13,9	8,91	2,94	710	45,9	
		CL 2	562 ^a	1,15 ^a	3,93	314,4 ^a	2,4 ^a	13,2	8,91	2,94	664	41,4	
	ECa	2010	CL 1	201 ^b	0,41 ^b	3,06 ^b	196,0 ^b	2,0 ^b	14,2 ^a	8,33	2,97 ^b	293 ^b	41,7
			CL 2	410 ^a	0,84 ^a	4,41 ^a	252,4 ^a	2,4 ^a	13,4 ^b	7,86	3,12 ^a	429 ^a	39,3
2011		CL 1	164 ^b	0,33 ^b	2,89	195,7 ^b	2,0 ^b	15,3 ^a	6,39	3,24	358 ^b	40,6	
		CL 2	417 ^a	0,85 ^a	3,58	290,7 ^a	2,6 ^a	14,0 ^b	6,15	3,30	481 ^a	40,3	
2012		CL 1	213 ^b	0,44 ^b	3,01	221,4 ^b	1,8 ^b	15,1 ^a	5,56	3,06 ^b	653	62,6	
		CL 2	369 ^a	0,75 ^a	4,14	305,3 ^a	2,3 ^a	13,8 ^b	5,20	3,17 ^a	690	55,3	
2013		CL 1	294 ^b	0,60 ^b	2,81 ^b	214,0 ^b	1,9 ^b	14,3 ^a	9,07	2,93	715	47,1 ^a	
		CL 2	578 ^a	1,18 ^a	4,14 ^a	326,5 ^a	2,4 ^a	13,0 ^b	8,85	2,95	661	40,8 ^b	
NDVii&ECa		2010	CL 1	198 ^b	0,41 ^b	3,28 ^b	202,1 ^a	2,1 ^b	14,4 ^a	8,26	2,99 ^b	288 ^b	42,7
			CL 2	419 ^a	0,86 ^a	4,36 ^a	251,6 ^a	2,4 ^a	13,3 ^b	7,88	3,11 ^a	430 ^a	39,0
	2011	CL 1	158 ^b	0,32 ^b	2,55	183,6 ^b	2,0 ^b	15,4 ^a	6,45	3,23	361 ^b	41,4	
		CL 2	411 ^a	0,84 ^a	3,67	291,9 ^a	2,6 ^a	14,0 ^b	6,14	3,30	476 ^a	40,0	
	2012	CL 1	159 ^b	0,32 ^b	3,12	226,1 ^b	1,8 ^b	15,1 ^a	5,60 ^a	3,02 ^b	593	60,3	
		CL 2	380 ^a	0,78 ^a	4,07	301,5 ^a	2,3 ^a	13,9 ^b	5,20 ^b	3,18 ^a	700	56,0	
	2013	CL 1	211 ^b	0,43 ^b	2,84	208,3 ^b	1,8 ^b	14,1	8,87	2,93	713	49,0 ^a	
		CL 2	559 ^a	1,14 ^a	3,97	314,2 ^a	2,4 ^a	13,2	8,93	2,94	667	41,0 ^b	
	NDVIs	2010	CL 1	170 ^b	0,35 ^b	3,01 ^b	182,2 ^b	1,9 ^b	14,4 ^a	8,45	2,94 ^b	288 ^b	46,7
			CL 2	407 ^a	0,83 ^a	4,34 ^a	253,2 ^a	2,4 ^a	13,4 ^b	7,85	3,11 ^a	420 ^a	38,6
2011		CL 1	158 ^b	0,32 ^b	2,55	183,6 ^b	2,0 ^b	15,4 ^a	6,45	3,23	361 ^b	41,4	
		CL 2	411 ^a	0,84 ^a	3,67	291,9 ^a	2,6 ^a	14,0 ^b	6,14	3,30	476 ^a	40,0	
2012		CL 1	176 ^b	0,36 ^b	3,05	230,6 ^b	1,8 ^b	14,9 ^a	5,48	3,04 ^b	647	61,9	
		CL 2	384 ^a	0,79 ^a	4,15	303,8 ^a	2,3 ^a	13,9 ^b	5,22	3,18 ^a	691	55,5	
2013		CL 1	276 ^b	0,56 ^b	3,06	234,9 ^b	2,0 ^b	14,1 ^a	8,97	2,91	688	47,1 ^a	
		CL 2	578 ^a	1,18 ^a	4,04	317,8 ^a	2,4 ^a	13,1 ^b	8,89	2,96	672	40,8 ^b	
NDVIs&ECa		2010	CL 1	170 ^b	0,35 ^b	3,01 ^b	182,2 ^b	1,9 ^b	14,4 ^a	8,45	2,94 ^b	288 ^b	46,7
			CL 2	407 ^a	0,83 ^a	4,34 ^a	253,2 ^a	2,4 ^a	13,4 ^b	7,85	3,11 ^a	420 ^a	38,6
	2011	CL 1	149 ^b	0,30 ^b	2,60	183,8 ^b	2,0 ^b	15,4 ^a	6,56	3,21 ^b	342 ^b	41,5	
		CL 2	406 ^a	0,83 ^a	3,62	288,5 ^a	2,6 ^a	14,1 ^b	6,12	3,30 ^a	478 ^a	40,0	
	2012	CL 1	159 ^b	0,32 ^b	3,12	226,1 ^b	1,8 ^b	15,1 ^a	5,60 ^a	3,02 ^b	593	60,3	
		CL 2	380 ^a	0,78 ^a	4,07	301,5 ^a	2,3 ^a	13,9 ^b	5,20 ^b	3,18 ^a	700	56,0	
	2013	CL 1	255 ^b	0,52 ^b	3,02	207,8 ^b	1,9 ^b	14,2 ^a	9,00	2,91	710	47,3 ^a	
		CL 2	570 ^a	1,16 ^a	4,00	322,7 ^a	2,4 ^a	13,1 ^b	8,88	2,96	664	40,9 ^b	

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes

P/cepa= Producción por cepa; Pm racimo= Peso medio del racimo; Grado p (°al)= grado alcohólico probable; AT= Acidez Total (en g/L de ácido tartárico);

Antocianos ext.= Antocianos extraíbles; ITP (UA)= Índice de polifenoles totales (unidades de absorbancia)

Tabla 5.5. Resumen de los clusters o zonas significativamente diferentes para los parámetros de analizados según tipología: desarrollo vegetativo (longitud total del pámpano y superficie foliar total), producción (producción por cepa, peso medio del racimo y peso de la baya), madurez tecnológica (grado alcohólico probable, acidez total y pH) y madurez fenólica (antocianos extraíbles e índice de polifenoles totales).

		Parámetros desarrollo vegetativo	Parámetros productivos	Parámetros madurez tecnológica	Parámetros madurez fenólica	TOTAL	Acierto
NDVli	2010	2/2	0/3	1/3	1/2	4/10	50%
	2011	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	
	2012	2/2	2/3	2/3	0/2	6/10	
	2013	2/2	2/3	0/3	0/2	4/10	
ECa	2010	2/2	3/3	2/3	1/2	8/10	68%
	2011	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	
	2012	2/2	2/3	2/3	0/2	6/10	
	2013	2/2	3/3	1/3	1/2	7/10	
NDVli&ECa	2010	2/2	3/3	2/3	1/2	8/10	65%
	2011	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	
	2012	2/2	2/3	3/3	0/2	7/10	
	2013	2/2	2/3	0/3	1/2	5/10	
NDVIs	2010	2/2	3/3	2/3	1/2	8/10	65%
	2011	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	
	2012	2/2	2/3	2/3	0/2	6/10	
	2013	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	
NDVIs&ECa	2010	2/2	3/3	2/3	1/2	8/10	70%
	2011	2/2	2/3	2/3	1/2	7/10	
	2012	2/2	2/3	3/3	0/2	7/10	
	2013	2/2	2/3	1/3	1/2	6/10	

En general, se observó que existía una mejor diferenciación entre los dos *clusters* cuando en el proceso de *clusterización* se incluyó un factor más estable en el tiempo, como la ECa. De esta manera, el NDVli proporcionó los peores resultados a la hora de la zonificación, con un 50% de acierto (Tabla 5.5). Simplemente incluyendo la ECa en el proceso, el porcentaje de acierto ascendió a un 65%. Cabe destacar que un porcentaje similar (68%) se obtuvo usando únicamente la ECa como fuente de datos, lo cual sugiere que esta información, de carácter más permanente, puede ser tanto o más útil que un mapa de índice de vigor anual. En cualquier caso, el uso de los mapas de vigor de manera conjunta con respecto a hacerlo de manera individual incrementó el porcentaje de acierto del 50 al 65%. Al utilizar toda la información (NDVIs de todos los años y ECa) es cuando se alcanzó el mayor grado de acierto (70%), demostrando la importancia de la estabilidad temporal en los mecanismos de delineación de las zonas de manejo diferenciado. Es remarcable que esta última opción tan sólo supuso un 2% de mejora del acierto de la zonificación con respecto al uso, únicamente, de

la ECa. Los resultados sugieren que a nivel tanto práctico como económico, la delimitación de las zonas de manejo usando únicamente la fuente de información del sensor de ECa podría ser suficiente y mucho más competitiva.

5.4. Conclusiones del capítulo

Los resultados expuestos en el presente capítulo confirmaron la gran variabilidad espacial en todos los parámetros estudiados, lo cual sugiere una buena oportunidad para un manejo diferenciado de la viña. Los parámetros vegetativos y productivos mostraron una variabilidad mucho mayor (con coeficientes de variación del orden del 40-50% para la longitud total del pámpano o la producción), mientras que los parámetros de composición de uva fueron mucho menores, con valores de alrededor de 8-10% de variación en el grado probable o 3-5% en el pH. Sin embargo, los antocianos y polifenoles totales mostraron valores mayores, de entre el 20-35%. El NDVI se ratifica como indicador fiable del vigor de la planta y del estado vegetativo, y es capaz de distinguir cepas con características productivas diferentes, especialmente en lo que a tamaño de baya y de racimo se refiere. Las características físico-químicas de la uva mostraron más variabilidad, pero aun así altamente relacionada con la variación de NDVI. En concreto, los compuestos fenólicos de la uva responsables del color (antocianos) mostraron una tendencia inesperada en relación con el vigor y en función de las características de la añada lo cual, unido a la importancia de dichos compuestos, ha motivado tratar este aspecto diferencial de manera pormenorizada en el Capítulo 6.

La mayor parte de los parámetros analizados no mostraron diferencias significativas en las tres zonas establecidas de vigor, lo cual sugiere que la delimitación de únicamente dos zonas (alto y bajo vigor) pudiera ser más conveniente a la hora de establecer un sistema de manejo diferenciado. Además, una delimitación más sencilla favorecería la puesta en práctica de las labores culturales, abonados, tratamientos, vendimia... en el viñedo.

El estudio de la idoneidad de las fuentes de información (NDVI y ECa) y combinación de las mismas para la zonificación indicó que la introducción de la ECa del suelo mejoró la

diferenciación entre las cepas de cada unidad de manejo. Así, el uso exclusivo de datos de ECa del suelo, aportó mayor precisión que los NDVIs de cada año, o incluso que los de los 4 años juntos, si bien la utilización conjunta de todos los mapas fue la que mayor acierto presentó.

Siendo prácticamente equiparables los resultados de la zonificación basada únicamente en la ECa con la basada en los cuatro años de NDVI y ECa, el uso de sensores electromagnéticos de suelo se contempla como una posibilidad de gran interés: los costes de la toma de datos son menores, ya que no es necesaria una medición todos los años y, aunque el tiempo necesario para la toma de datos es mayor que en el caso de una toma de imágenes, que es instantánea (especialmente si se quiere cartografiar gran cantidad de hectáreas de viñedo), las condiciones no son tan estrictas como las necesarias para la realización de un vuelo (nubosidad, momento justo de envero, etc).



6. INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA EN LAS RELACIONES ENTRE VIGOR Y ANTOCIANOS DE LA UVA

6.1. Introducción

En el Capítulo 5 se exponían los resultados obtenidos en el estudio de la variabilidad del viñedo y la delineación de unidades de manejo diferenciadas, evaluando las diferencias encontradas en diferentes aspectos del comportamiento del viñedo: desarrollo vegetativo, producción y composición de la uva. Dentro de la composición de la uva, cobra especial relevancia el estudio de los antocianos, compuestos responsables del color del vino y considerados como uno de los más importantes indicadores de la calidad del mismo.

Uno de los factores clave para una correcta síntesis antociánica es la existencia de una superficie foliar suficiente por kilogramo de uva producida (Kliewer y Dokoozlian, 2005). Es por tanto lógico pensar que los índices que estimen superficie foliar, como lo es el NDVI, puedan aportar información valiosa en relación con los antocianos. Sin embargo, en la maduración de la uva están también involucrados otros procesos complejos. Especialmente en la síntesis de antocianos tiene enorme peso la exposición a la radiación solar y la temperatura. Numerosos estudios que relacionan vigor y antocianos concluyen que las plantas con mayor vigor presentan menores contenidos en antocianos en comparación con las menos vigorosas (Lamb et al., 2004; Stamatidis et al., 2006; Cortell et al., 2007a; Hall et al., 2011; Martínez-Casnovas et al., 2012; Filipetti et al., 2013). Bien es cierto que la mayoría de estos estudios se realizaron en climas más bien frescos, donde la radiación solar y la temperatura pudieron ser factores limitantes durante el proceso de maduración de la uva. También son estudios realizados sobre variedades diferentes a Tempranillo, que ha demostrado comportarse de manera diversa en condiciones de estrés (Zarrouk et al., 2012; Teixeira et al., 2013). Además, en la mayoría de ocasiones, los antocianos se analizan en términos de concentración (mg/kg o mg/L), de manera que el tamaño de la baya, -por el ratio hollejo:pulpa-, tiene gran influencia en los valores obtenidos (Coombe y Iland, 2004). Así, las viñas más vigorosas, que suelen presentar bayas grandes, y por lo tanto con menor ratio hollejo:pulpa, producirán mostos de menor concentración antociánica. Sin embargo, bajo esta perspectiva se está obviando la síntesis absoluta de dichos compuestos (por ejemplo, en términos de $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de superficie de hollejo), la cual ayudaría a una mejor comprensión del proceso de su síntesis y acumulación.

Las tendencias actuales de elaboración se inclinan hacia un retraso de la vendimia, a pesar de haber alcanzado la uva los azúcares y la acidez óptima, hasta conseguir mayores concentraciones en antocianos y otros compuestos fenólicos. Este desacoplamiento entre la

madurez tecnológica y fenólica se viene acentuando en los últimos años como consecuencia del cambio climático y el calentamiento global (Schultz y Jones, 2010). El resultado es la obtención de vinos de mayor graduación alcohólica y menor capacidad de envejecimiento por su menor acidez. En la mayoría de regiones vitícolas, el calentamiento global ha supuesto una mejora en la calidad de los vinos producidos, con mayor color y polifenoles, especialmente en regiones más septentrionales. Sin embargo, las predicciones auguran una tendencia media de +2°C para final de siglo (IPCC, 2007), lo cual afectará notablemente a la fenología de la viña, conllevando a maduraciones más tempranas y en épocas más estivales. En climas templados, esto puede tener consecuencias remarcables sobre la síntesis y acumulación de antocianos, que se ve frenada a partir de los 26°C (Kliewer y Torres, 1972; Iland y Gago, 2002; Sadras et al., 2007) y anulada e, incluso, pudiendo darse degradación, por encima de los 30°C (Mori et al., 2005, 2007).

Bajo estas premisas, en el presente capítulo se pretende abordar la influencia del vigor en la composición antociánica de las uvas en cuatro añadas de marcadas diferencias climatológicas.

6.2. Desarrollo

La metodología empleada es similar a la del Capítulo 5. A partir de los mapas continuos de NDVI de los cuatro años de estudio, se realizó una *clusterización* en dos zonas de vigor. Cada año, las cepas muestrales se clasificaron dentro de cada zona de vigor: alto o bajo. A partir de dicha categorización, se realizó un análisis ANOVA con los principales parámetros medidos en campo (vegetativos, productivos y de composición de uva), siendo el principal objeto de estudio los antocianos de la uva. Se añadieron los datos de la relación entre la superficie foliar total y la producción (SFT/P) y de los antocianos en unidades de $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Para comprender mejor los mecanismos de acumulación y síntesis de estos compuestos, se estudiaron con mayor detalle los datos de temperaturas máximas en los meses de verano. El contenido en antocianos se estudió no sólo en mg/L, sino también en

$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de superficie de hollejo. Se consideró, para ello, una densidad media de $1,1 \text{ g}/\text{cm}^3$ para un grado probable de 13,8%, y se calculó la superficie esférica a partir del volumen y peso de la baya.

6.3. Resultados y discusión

Además de los datos climatológicos globales recogidos en la Tabla 3.1 (Capítulo 3), se realizó un estudio más pormenorizado de las temperaturas. Las máximas y mínimas para los cuatro años vitícolas de estudio se recogen en el gráfico de la Figura 6.1. Asimismo, se incluye un gráfico con los índices de Winkler (Amerine y Winkler, 1944) con objeto de comparar las diferencias climáticas de cada año (Figura 6.2).

Las temperaturas más altas se registraron en 2012 a lo largo de todo el ciclo pero, especialmente, desde Junio hasta la vendimia (Figura 6.1). Las máximas del año 2011 estuvieron ligeramente por debajo de las del 2012 durante el período de maduración. Las temperaturas máximas en 2010 fueron más bajas al principio del ciclo pero aumentaron a partir de Agosto. El año 2013 fue claramente el que registró temperaturas máximas más bajas, con grandes diferencias respecto al resto de los años durante el período de maduración.

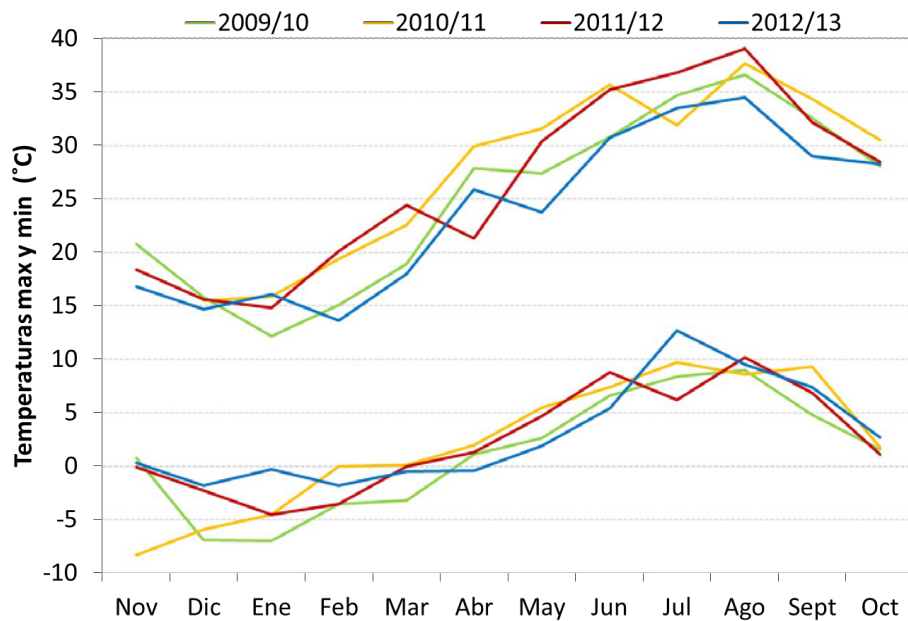


Figura 6.1. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas en los años vitícolas 2010-2013.

El índice de Winkler mostró manifiestamente diferencias entre los cuatro años de estudio. El año 2011 fue el más cálido, seguido del 2012. El 2013 fue el más fresco, correspondiendo incluso a una zona de Winkler I, mientras que el resto se clasificaron como zona II. La diferencia entre el año más cálido y el más fresco, para este Índice de Winkler, fue de 161 grados.

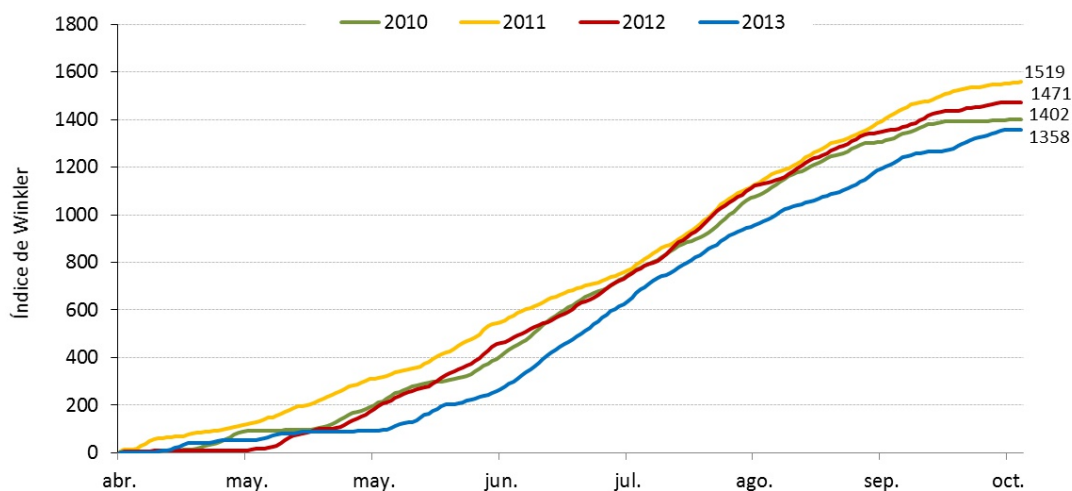


Figura 6.2. Representación del Índice de Winkler en los años 2010-2013.

En la Tabla 3.1 de datos climáticos globales del Capítulo 3, se observa que los meses de verano más influyentes en el área de estudio en la maduración (Agosto y Septiembre), fueron mucho más cálidos en 2011 y 2012, concordando con los datos de máximas (Figura 6.1).

La Tabla 6.1 recoge los datos relativos al análisis ANOVA y separación de medias para este estudio en concreto. La relación SFT/P fue siempre mayor en la zona de alto vigor, debido principalmente al mayor desarrollo vegetativo más que a variaciones en la producción. En cualquier caso, en ambas zonas este ratio fue siempre superior a 1 m²/kg, valor considerado como referencia para asegurar una maduración correcta de la uva (Kliewer y Dokoozlian, 2005; Martínez de Toda, 2011). Según estos datos, se puede afirmar que la superficie foliar no fue en ningún caso factor limitante a la hora de la producción de antocianos.

Tabla 6.1. Análisis ANOVA y separación de medias (LSD Fisher) para la zonificación del índice de vegetación (NDVI) en dos zonas: alto y bajo vigor.

	2010			2011			2012			2013		
	Bajo vigor	Alto vigor		Bajo vigor	Alto vigor		Bajo vigor	Alto vigor		Bajo vigor	Alto vigor	
Longitud total del pámpano (cm)	243 ^b	458 ^a	***	158 ^b	411 ^a	***	177 ^b	390 ^a	***	280 ^b	562 ^a	***
Superficie foliar expuesta (m ² /cepa)	2,86 ^b	3,65 ^a	***	2,85 ^b	3,61 ^a	***	2,47 ^b	3,42 ^a	***	2,76 ^b	3,61 ^a	***
Superficie foliar total (m ² /pámpano)	0,50 ^b	0,94 ^a	***	0,32 ^b	0,84 ^a	***	0,36 ^b	0,80 ^a	***	0,57 ^b	1,15 ^a	***
Peso de poda (kg/cepa)	0,83 ^b	1,39 ^a	***	0,70 ^b	1,27 ^a	***	0,62 ^b	1,25 ^a	***	0,59 ^b	1,18 ^a	***
SFT/P (m ² /kg)	1,56 ^b	2,85 ^a	**	1,63 ^b	3,14 ^a	*	1,08 ^b	2,57 ^a	*	2,63	4,69	ns
Producción (kg/cepa)	3,61	4,44	ns	2,55	3,67	ns	3,26	4,09	ns	3,22	3,93	ns
Peso medio del racimo (g)	214,5	258,0	ns	183,6 ^b	291,9 ^a	***	237,1 ^b	303,0 ^a	*	232,2 ^b	314,4 ^a	*
Peso de la baya (g)	2,2	2,4	ns	2,0 ^b	2,6 ^a	***	1,9 ^b	2,3 ^a	**	2,1 ^b	2,4 ^a	*
Grado probable (°al)	13,8	13,4	ns	15,4 ^a	14,0 ^b	***	14,8 ^a	13,9 ^b	*	13,9	13,2	ns
Acidez total (g/L ac. tartárico)	8,04	7,96	ns	6,45	6,14	ns	5,42	5,24	ns	8,91	8,91	ns
pH	3,04 ^b	3,11 ^a	*	3,23	3,30	ns	3,05 ^b	3,18 ^a	**	2,94	2,94	ns
Antocianos extraíbles uva (mg/L)	319 ^b	454 ^a	**	361 ^b	476 ^a	***	636	695	ns	710	664	ns
Antocianos extraíbles uva (µg/cm ²)	84,01 ^b	114,92 ^a	*	91,28 ^b	129,65 ^a	***	152,53	182,14	ns	179,76	176,23	ns
IPT uva (UA)	39,0	40,5	ns	41,4	40,0	ns	60,3	55,7	ns	45,9	41,4	ns

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Sin embargo, se pueden observar diferencias en los niveles de estos compuestos en las dos zonas de vigor. En 2013, las uvas de cepas más vigorosas presentaron concentraciones más bajas de antocianos que las uvas de cepas menos vigorosas. Sin embargo, en 2010, 2011 y 2012 esta tendencia fue justo al revés. Estos resultados discrepan de la mayoría de estudios hechos en torno al vigor y los antocianos, que concluyen que las zonas de bajo vigor muestran valores de antocianos más altos (Lamb et al., 2004; Stamatiadis et al., 2006; Cortell et al., 2007a; Hall et al., 2011; Martínez-Casanovas et al., 2012; Filippetti et al., 2013). Otros autores encontraron en un viñedo de Sangiovese en Toscana, que los valores más altos de antocianos se dieron en cepas de “vigor moderado” (Fiorillo et al., 2012). En este estudio, los autores alegan que en la zona de vigor medio, las cepas podrían sufrir un estrés hídrico moderado y una exposición de los racimos a la radiación solar intermedia, mientras que las de bajo vigor podrían haberse visto afectadas por un estrés hídrico muy fuerte que hubiera bloqueado la fotosíntesis provocando una ralentización de la maduración (Hardie y Considine, 1976). Los estudios anteriormente citados fueron realizados sobre variedades diferentes a Tempranillo, la cual ha demostrado un comportamiento diferente en situaciones de estrés. Zarrouk et al. (2012) demostraron que esta variedad presentó mayores contenidos de antocianos en uva en aquellos tratamientos con riego deficitario que en los tratamientos sin riego, y lo justificaron a través de efectos de exposición y temperatura de los racimos.

Puesto que las relaciones SFT/P fueron lo suficientemente altas para asegurar una adecuada maduración, las diferencias entre los contenidos en antocianos podrían achacarse a los efectos de exposición a la luz y la temperatura de los racimos. Son varios los estudios que han demostrado que altas exposiciones provocan temperaturas elevadas del racimo y una reducción en la acumulación de antocianos (Kliewer et al., 1967; Haselgrove et al., 2000; Spayd et al., 2002). La actividad enzimática de la síntesis antociánica tiene lugar en un rango de temperaturas de entre 17 y 26°C (Iland y Gago, 2002; Sadras et al., 2007). Tras el envero, temperaturas superiores a los 30°C pueden inhibir la formación de antocianos (Kliewer y Torres, 1972; Mori et al., 2007). Bergqvist et al. (2001) y Spayd et al. (2002) observaron que la temperatura del fruto completamente expuesto podía superar en 10°C a la de los frutos sombreados. Además, estos racimos sobreexpuestos podían alcanzar temperaturas de hasta 10°C más con respecto a la temperatura ambiente (Pereira, 2006; Pieri, 2005). De esta manera, las plantas más vigorosas y frondosas, podrían estar protegiendo a los racimos de las altas temperaturas durante el período de maduración, produciendo uvas más coloreadas, tal y como observaron de la Fuente et al. (2007) en sistemas de conducción que favorecían el

sombreado de los racimos en las horas de máxima insolación. Este efecto de las altas temperaturas debería ser tenido muy en cuenta en la aplicación de nuevas técnicas vitícolas de manejo de la vegetación, mejor adaptadas a la situación actual de calentamiento climático, como una menor exposición de los racimos a la radiación solar o, incluso, técnicas de retraso de la maduración, para hacerla coincidir con períodos de temperaturas más bajas (Martínez de Toda y Balda, 2013; Martínez de Toda et al., 2014).

En la introducción del capítulo se ha explicado la problemática sobre la utilización de los datos de antocianos expresados como concentración, ya que puede distorsionar los valores de síntesis absoluta de la baya, al estar influyendo enormemente el tamaño de la misma. Filipetti et al. (2013) observaron en un estudio similar, que a pesar de que las concentraciones de antocianos en uva (expresadas como concentración, mg/kg) fueron mayores en la zona de bajo vigor que en la de alto vigor, dichas diferencias fueron inapreciables cuando el contenido en antocianos se calculó en términos de síntesis absoluta (mg/g de hollejo). Es por ello que se han transformado los datos a unidades de μg por cm^2 de hollejo. En la Tabla 6.2 se exponen las diferencias en porcentaje entre los niveles de antocianos -expresados en ambas unidades- en la zona de alto vigor con respecto a la de bajo vigor. En los años más cálidos, 2011 y especialmente 2012, se observa cómo esta diferencia es más marcada si el resultado lo expresamos en unidades absolutas, en las cuales no está influyendo el tamaño de la baya. Esto quiere decir que en años cálidos, la acumulación “absoluta” de estos compuestos es mucho mayor en zonas de alto vigor que en las de bajo vigor, y se percibe de manera más clara que expresándolo en términos de concentración.

Tabla 6.2. Diferencia en porcentaje de antocianos entre la zona de alto vigor con respecto a la de bajo vigor. Datos expresados como concentración y por unidad de superficie de hollejo.

	2010	2011	2012	2013
Concentración antocianos (mg/L)	42,3%	31,9%	9,3%	-6,5%
Antocianos hollejo ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	36,8%	42,0%	19,4%	-2,0%

Destaca el año 2013 por ser considerablemente más fresco que el resto de los años; su temperatura más baja pudo actuar como factor limitante para la síntesis de antocianos en la uva, por lo que las cepas de menor vigor, con racimos más expuestos, mostraron valores

más altos. Con objeto de estudiar, más detalladamente, los efectos de las altas temperaturas en cada año, se realizó un análisis de las temperaturas máximas diarias desde el enero hasta la vendimia. Los resultados se exponen en la Tabla 6.3, donde se observó cómo los intervalos de máxima temperatura ($>35^{\circ}\text{C}$) en dicho período crítico fueron netamente mayores en 2012, seguido de 2011 y 2010. En 2013 no se alcanzaron temperaturas superiores a 35°C en ningún momento.

Tabla 6.3. *Períodos de temperatura superior a 35°C en los cuatro años de estudio.*

	Nº días $T>35^{\circ}\text{C}$	Duración total
2010	3	4h40
2011	3	6h20
2012	7	21h40
2013	0	0

Otro aspecto a tener en cuenta es el nivel de desarrollo vegetativo en cada año concreto. 2011 y 2012 fueron años particularmente secos, con un desarrollo vegetativo mucho menor que en 2010 y, por supuesto, que en 2013 (véase la Tabla 6.1, longitud total del pámpano). Así, las cepas de la zona de “bajo vigor” en los años 2011 y 2012 tuvieron sus racimos más expuestos al sol, y por lo tanto a temperaturas más altas, que los racimos de las cepas de la zona de “bajo vigor” de 2010 o 2013 y, por lo tanto, experimentaron en mayor medida el efecto negativo de la alta temperatura sobre los antocianos.

6.4. Conclusiones del capítulo

Los resultados mostrados en este capítulo contradicen la mayoría de estudios que relacionan el vigor del viñedo con la síntesis de antocianos. Dichos estudios se desarrollaron en zonas más frescas y con otras variedades diferentes a Tempranillo, la cual ha demostrado comportarse de manera diferente en situaciones de estrés.

La presente investigación se realizó en unos años climatológicamente opuestos y se observó cómo en los años más cálidos y con temperaturas extremas, la síntesis antociánica fue mayor en las cepas de más vigor. Las cepas más frondosas mantuvieron los racimos más frescos, protegiéndolos de las altas temperaturas y favoreciendo la síntesis antociánica. Al contrario, en las cepas con desarrollo vegetativo menor, sus racimos estuvieron más expuestos a la radiación solar y alcanzaron temperaturas mayores, de manera que la uva disminuyó, o incluso bloqueó, la síntesis de estos compuestos. Este efecto fue más evidente cuando los niveles de antocianos se cuantificaron de manera absoluta (en base a la superficie de hollejo, por ejemplo) en vez de en términos de concentración, donde los resultados estuvieron condicionados por el tamaño de la baya.

En un escenario de cambio climático como es el actual, estos efectos revisten gran importancia ya que se están produciendo, cada vez más frecuentemente, uvas con elevado grado de alcohol probable pero con una limitada concentración de antocianos; es lo que se conoce como desacoplamiento térmico entre antocianos y azúcares y tiene su base en que la actividad enzimática de las rutas de síntesis de los azúcares se produce en un intervalo de temperatura amplio, entre 18 y 33°C, mientras que el intervalo de temperatura de acción de las rutas de síntesis de pigmentos es más restringido (17-26°C).



7. VARIABLES VITÍCOLAS MÁS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE LA UVA EN LOS DIFERENTES AÑOS DE ESTUDIO

7.1. Introducción

En el presente capítulo se trató de seleccionar las variables vitícolas más determinantes de la calidad de la uva en las diferentes añadas estudiadas. Esto se hizo estableciendo un índice de calidad de la uva definido a partir de ciertos parámetros de madurez y calidad y correlacionándolo, mediante un análisis de regresión, con las variables de desarrollo vegetativo, producción y propiedades del suelo medibles en campo (ya sea a través de sensores o manualmente).

Definir la calidad de la uva no es tarea sencilla, ya que es un término relativo y complejo, que engloba la consecución de niveles óptimos de todos los parámetros de la uva, dependiendo de los objetivos específicos del enólogo, y para un tipo determinado de vino (Dai et al., 2010). Tradicionalmente, los parámetros más utilizados para describir la calidad de la vendimia han sido el contenido en azúcares y la acidez total de la uva, en el sentido que influirán en el contenido alcohólico del vino final, así como en su estabilidad y vocación a la crianza, además de en sus cualidades gustativas: viveza, volumen... Es importante tanto que los valores sean lo suficientemente altos en estos parámetros, como que no sobrepasen un límite que tendría también consecuencias negativas para la calidad (Ruffner, 1982; Dai et al., 2011). Según Cox (1999), los parámetros necesarios a medir serían los azúcares, la acidez total y el pH, con unos valores ideales para uva tinta de 22°Brix, 0,75 g/100 ml de acidez titulable y 3,4 de pH. Ribéreau-Gayon et al. (2006) proponen valores en vendimia de entre 17-25°Brix y Ruffner (1982) de 6,5-8,5 g/L de acidez tartárica. En este sentido, se ha usado con frecuencia el ratio "Azúcares/Acidez Total" como medida de la madurez de las uvas. El ratio ideal según Cox (1999) para un buen balance de la composición del mosto tendría un valor de 30-35 (en grados Brix y acidez total en g/100 ml). También propone una fórmula basada en los grados Brix multiplicados por el pH² y, en este caso los valores óptimos estarían en torno a 260 para uva tinta. Estos valores son de referencia y se hace imprescindible adaptarlos a las características de la variedad y la zona de cultivo.

El problema de los índices anteriormente expuestos es que no contemplan otros compuestos de peso esencial en la calidad de la uva como son los antocianos y los compuestos fenólicos, responsables del color de los vinos y de sensaciones gustativas del mismo (Glories, 1988). Existe muy poca bibliografía al respecto, y la existente se centra siempre en la dificultad de la definición del índice, argumentando que interviene en gran medida la opinión "experta"

(Rovira-Más y Saenz-Rubio, 2013; Tagarakis et al., 2014). En un estudio reciente de Tagarakis et al. (2014) en una variedad tinta griega, proponen el uso de los parámetros azúcares, acidez total, antocianos totales y peso de la baya, dejando fuera del análisis pH y polifenoles, pero por mera simplificación del proceso. En este caso, las reglas para definir los niveles óptimos de cada parámetro se determinaron por conocimiento experto de profesionales de la zona de cultivo de la variedad.

En el presente estudio, para la elección de los parámetros a incluir en un posible índice de calidad de la uva, y ante la escasez de referencias bibliográficas sobre el tema, se partió también de la base empírica que proporciona la experiencia de la valoración de la uva por las bodegas. Normalmente, las bodegas más preocupadas por la calidad de la uva tienen en cuenta una serie de parámetros que suelen ser considerados a la hora de valorar y pagar la uva a sus proveedores, pero también para clasificar las uvas y aplicar estrategias diferenciadas de vinificación. Dichos parámetros suelen incluir el grado alcohólico probable, pH, acidez total, ácidos tartárico y málico, antocianos, compuestos fenólicos y estado sanitario. A cada uno de estos parámetros se le atribuye un diferente peso en la valoración final de la uva en función de los criterios técnicos de cada bodega.

El objetivo fundamental del estudio fue el de seleccionar las variables vitícolas, medidas en el campo, que mejor se relacionan con un concepto de calidad determinado, enfrentándolas para ello a dos índices de calidad de la uva desde dos perspectivas diferentes.

7.2. Desarrollo

Para la elaboración del índice de calidad se tuvieron en cuenta los principales parámetros analíticos de la uva, así como los criterios más comúnmente utilizados por las bodegas para valorar y pagar de forma diferenciada la calidad de la uva. Se establecieron dos índices, uno más clásico considerando positivamente la influencia del grado alcohólico probable y otro más innovador en el que se ignoró este parámetro y que se diseñó especialmente para las condiciones cálidas, cada vez más frecuentes e intensas en nuestra región como consecuencia del calentamiento climático.

Antes de realizar el análisis de regresión, el primer paso consistió en la valoración de las variables medidas en campo (NDVI, producción por cepa, etc.) y su adecuación para el análisis. Se estudió su naturaleza estadística, para comprobar que cumplieran con el principio de normalidad y observar posibles outliers. En la Tabla 7.1 se presenta un resumen de los datos disponibles y sus características. Cuando para elaborar el modelo se utiliza un método de estimación basado en la regresión, a partir de una o varias variables relacionadas con el vigor, producción, suelo, etc., se debe tomar extrema precaución, ya que la mayoría de las variables no son controladas. Es importante estudiar los efectos de la colinearidad, ya que el uso de demasiadas variables que están relacionadas entre sí puede producir modelos no correctos (Rovira-Más y Saénz-Rubio, 2013). La regresión puede ser lineal o puede adaptarse mejor si es logarítmica o polinómica, siendo siempre preferido aquél modelo más simple. Por estos motivos, se decidió excluir del análisis una variable que presentó una normalidad débil como fue el Índice de Toda. Por otro lado, aquellas variables calculadas a partir de otras (como SFT/P, SFE/P) se consideraron sólo cuando las otras variables que las conformaban no fueran incluidas por el modelo.

Para medir la bondad del ajuste del modelo predictivo, se tuvieron en cuenta varios indicadores: valores p de la ANOVA, las F -statistics, las t -statistics para observar posibles efectos de colinearidad entre variables y el coeficiente R^2 . Se empleó un análisis *stepwise* o “paso a paso”, que es capaz de volver hacia atrás y hacia adelante durante el análisis del modelo para la selección de las variables.

El primer índice (Qi_1) se calculó en base a la Ecuación 7.1. En él se tuvo en cuenta como factores positivos el grado, la acidez, los antocianos y los polifenoles, y como negativos el pH. Cada parámetro se multiplicó por un factor para equilibrar su peso en la ecuación.

$$Qi_1 = \frac{(GAP \cdot 2) + (AT \cdot 4) + (AC/10) + IPT}{pH \cdot 10} \quad \text{[Ecuación 7.1]}$$

Donde,

GAP= Grado alcohólico probable (°alc.)

AT = Acidez total (g/L de ácido tartárico)

AC = Antocianos extraíbles (mg/L)

IPT = Índice de polifenoles totales (Unidades de absorbancia)

Tabla 7.1. Cuadro resumen de las variables medidas y sus características e idoneidad para el modelo de regresión del índice de calidad.

VARIABLES MEDIDAS	Rasgo medido	Grado de automatización de la medida	Coste	Relevancia	Normalidad 2010	Normalidad 2011	Normalidad 2012	Normalidad 2013	Otros
NDVI	Expresión vegetativa	Alto	MEDIO	ALTA	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Muy fuerte	
LTP	Expresión vegetativa	Bajo	ALTO	ALTA	Muy fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte	
SFE	Expresión vegetativa	Bajo	ALTO	ALTA	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	
Peso de poda	Expresión vegetativa	Bajo	ALTO	ALTA	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte	Fuerte	
Nºracimos/cepa	Producción	Bajo	MEDIO	ALTA	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Muy fuerte	
Kg/cepa ("Yield")	Producción	Bajo	ALTO	ALTA	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	
P medio racimo	Producción	Bajo	ALTO	ALTA	Fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte	
Peso de 1 baya	Producción	Bajo	ALTO	ALTA	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	
SFT/P	Ratio vegetación: producción	Bajo	ALTO	ALTA	Media	Media	Media	Media	Relacionada con SFT y P
SFE/P	Ratio vegetación: producción	Bajo	ALTO	ALTA	Débil	Media	Media	Media	Relacionada con SFE y P
I.TODA	Ratio vegetación: producción	Bajo	ALTO	ALTA	Débil	Débil	Débil	Débil	Relacionada con SFT, P y LTP
Eca suelo	Suelo	Alto	MEDIO	ALTA	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	

LTP: longitud total del pámpano, SFE: superficie foliar expuesta, P medio racimo: Peso medio del racimo, SFT/P: Superficie foliar total / Producción, SFE/P: Superficie foliar expuesta/ Producción,

I.Toda: Índice de Toda, Eca= Conductividad eléctrica aparente del suelo

Sin embargo, se establecieron una serie de condicionantes para limitar el efecto de un grado y una acidez excesivamente altos así como de un pH excesivamente bajo. Dichas limitaciones, basadas en el conocimiento experto, fueron:

- Si el GAP>14, se le restó al valor ideal (13,5°) la diferencia entre el valor medido y un valor umbral (14°)

- Si la AT>8, se le resta al valor ideal (6 g/L) la diferencia entre el valor medido y un valor umbral (8 g/L)

- Si el pH<3, se le suma al valor ideal (3,3) la diferencia entre el valor medido y un valor umbral (3,3).

De esta forma, se intentó estimar la calidad de la uva según un concepto clásico, pero introduciendo unas restricciones para el caso de valores extremos.

El segundo índice (Qi_2) se calculó según la expresión de la Ecuación 7.2. Se diseñó buscando una mejor adaptación a la situación general de calentamiento climático y, para ello, se prescindió del grado de alcohol probable así como de las limitaciones ante una acidez excesivamente alta y un pH excesivamente bajo.

$$Qi_2 = \frac{(AT \cdot 4) + (AC/10) + IPT}{pH \cdot 10} \quad \text{[Ecuación 7.2]}$$

Donde,

AT = Acidez total (g/L de ácido tartárico)

AC = Antocianos extraíbles (mg/L)

IPT = Índice de polifenoles totales (Unidades de absorbancia)

La selección del mejor modelo se realizó según los siguientes criterios:

- Mayor coeficiente R²
- Mayor *F-statistics* del análisis ANOVA de regresión múltiple
- Significancia ($p>0.05$) de las variables en el análisis ANOVA
- Descarte de posibles colinearidades
- Simplicidad del modelo y facilidad de uso

7.3. Resultados y discusión

Una vez calculados los índices de calidad, y analizada la naturaleza estadística de las variables potencialmente aptas para el modelo, se realizó el análisis de regresión. Los modelos obtenidos para el QI_1 se muestran en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Resultados de la modelización por análisis de regresión del Índice de calidad de la uva 1 (QI_1). Modelos en negrita corresponden al mejor ajuste de cada año.

Modelo	R ²	F-stat	No sign
2010			
1- $QI_1 = 2,317 + 0,036 \cdot ECa$	0,23	8,88	-
2- $QI_1 = 2,577 \cdot 1,009^{ECa}$	0,24	9,51	-
3- $QI_1 = 1,738 + 4,315 \cdot NDVI$	0,16	5,55	-
2011			
4- $QI_1 = 3,461 + 0,014 \cdot ECa$	0,10	4,65	-
5- $QI_1 = 3,492 \cdot 1,003^{ECa}$	0,11	4,83	-
2012			
6- $QI_1 = 6,746 - 0,344 \cdot Yield$	0,47	27,05	-
7- $QI_1 = 6,918 - 1,232 \cdot \log(Yield)$	0,39	19,92	-
8- $QI_1 = 4,418 + (2,822/Yield)$	0,26	11,04	-
9- $QI_1 = 7,053 \cdot 0,930^{Yield}$	0,49	29,26	-
2013			
10- $QI_1 = 3,852 + 0,095 \cdot SFT/P$	0,22	7,39	-
11- $QI_1 = 5,048 + 0,134 \cdot SFT/P - 3,930 \cdot NDVI$	0,48	11,89	- ‡
12- $QI_1 = 4,582 + 0,149 \cdot SFT/P - 4,568 \cdot NDVI + 0,002 \cdot Pmracimo$	0,57	10,82	- ‡
13- $QI_1 = 3,774 + 0,001 \cdot LTP$	0,15	4,73	- ‡
14- $QI_1 = 4,963 + 0,002 \cdot LTP - 4,432 \cdot NDVI$	0,45	10,74	- ‡
15- $QI_1 = 4,767 + 0,002 \cdot LTP - 5,096 \cdot NDVI + 0,379 \cdot SFE/P$	0,56	10,46	- ‡
16- $QI_1 = 5,068 - 0,06 \cdot N^{\circ}rac$	0,15	4,69	-
17- $QI_1 = 6,514 - 0,01 \cdot N^{\circ}rac - 3,356 \cdot NDVI$	0,35	6,95	-
18- $QI_1 = 6,429 - 0,089 \cdot N^{\circ}rac - 5,338 \cdot NDVI + 0,873 \cdot Ppoda$	0,47	7,49	- ‡
19- $QI_1 = 5,389 - 0,067 \cdot N^{\circ}rac - 4,045 \cdot NDVI + 0,025 \cdot ECa$	0,44	6,51	-
20- $QI_1 = 3,812 \cdot 1,022^{SFT/P}$	0,20	6,53	-

‡ Posible colinearidad

ECa: conductividad eléctrica aparente del suelo (mS/m), Yield: producción (kg) por cepa, SFT/P: superficie foliar total (m²)/ producción (kg), Pm racimo: peso medio del racimo (g), LTP: longitud total del pámpano (cm), SFE/P: superficie foliar expuesta (m²)/producción (kg), N^orac: número de racimos, Ppoda: peso de poda (kg).

En el análisis del año 2010, los modelos de predicción descartaron todas las variables en el modelo salvo la ECa (Tabla 7.2). Al intentar eliminar la ECa del análisis, apareció como segunda variable el NDVI, aunque con peores valores de ajuste. Al eliminar NDVI del análisis, siguieron apareciendo más variables en el modelo pero, siempre, con peor ajuste (datos no mostrados). Se observó que, en 2010, la variación de la conductividad eléctrica aparente del suelo explicó mejor el Índice de calidad de la uva 1. Por ello se estudiaron otros ajustes no lineales, resultando que el ajuste exponencial (2- Q_{1_1}) mejoró ligeramente los parámetros de selección (sobre todo F-statistic). En el año 2011, la única variable capaz de explicar el índice de calidad 1 fue también la ECa. De nuevo, el modelo exponencial (5- Q_{1_1}) pareció aportar una mejora de los parámetros de ajuste del modelo. En 2012, la variable que influyó en el Índice de calidad 1 de manera significativa fue la producción por cepa. El modelo exponencial mejoró también la predicción (9- Q_{1_1}). En 2013, el análisis incluyó más variables dentro del modelo, aunque algunas pudieron presentar colinearidad (NDVI y SFT/P, o NDVI y Peso de poda), de manera que se consideró que el modelo que mejor podría representar el índice de calidad de la uva era el 10- Q_{1_1} , el cual incluía únicamente la variable superficie foliar total dividida por producción (SFT/P).

En la Tabla 7.3, el modelo que mejor explicó el Q_{1_2} en el año 2010 fue el que incluyó la variable peso de la baya (2- Q_{1_2}). El análisis seleccionó en un principio el peso de la baya y la ECa, pero esta última sin ser estadísticamente significativa ($p>0.05$), motivo por el cual se eliminó del modelo. En 2011 las variables incluidas fueron ECa y NDVI, esta última con un valor de $p>0.05$. Por ese motivo se eligió como mejor modelo aquél que incluyó sólo la ECa (4- Q_{1_2}). En 2012 el análisis incluyó muchas más variables. De todos los modelos, el que incluía únicamente la variable producción por cepa, pareció ser el que mejor se ajustó. Por ese motivo, se probaron otras regresiones no lineales con dicho parámetro, de las cuales la que mejor se ajustó fue la exponencial (11- Q_{1_2}). También se probó con la variable NDVI, pero los resultados no fueron mejores. En 2013, el análisis de regresión lineal múltiple tan sólo seleccionó las variables NDVI y la relación entre superficie foliar total y producción (SFT/P). A pesar de que dicho modelo (15- Q_{1_2}) fue el que mejores valores de ajuste presentó, se optó por no considerarlo, puesto que entre dichas variables era muy probable que existiera una cierta colinearidad. Un posterior análisis de correlación entre ambas variables (datos no mostrados) así lo demostró ($r=0.45$). Al eliminar la SFT/P del análisis, apareció en el modelo la variable ECa. Sin embargo, el modelo con NDVI como única variable, presentó mayor *F-statistics*, por lo que se estudiaron otros ajustes no lineales con dicha variable. Sin embargo, ninguno presentó mejoras respecto a los modelos iniciales.

Tabla 7.3. Resultados de la modelización por análisis de regresión del Índice de calidad de la uva 2 (QI_2). Modelos en negrita corresponden al mejor ajuste de cada año.

Modelo	R ²	F-stat	No sign
2010			
1- $QI_2 = 4,31 - 0,7 \cdot P_{baya} - 0,02 \cdot E_{Ca}$	0,155	2,66	E _{Ca}
2- $QI_2 = 4,96 - 0,56 \cdot P_{baya}$	0,089	2,926	-
2011			
3- $QI_2 = 3,34 + 0,02 \cdot E_{Ca} - 1,51 \cdot NDVI$	0,159	3,693	NDVI
4- $QI_2 = 2,759 + 0,012 \cdot E_{Ca}$	0,087	3,83	-
2012			
5- $QI_2 = 5,894 - 0,299 \cdot Yield$	0,443	24,67	-
6- $QI_2 = 7,520 - 0,291 \cdot Yield - 2,498 \cdot NDVI$	0,484	14,079	-
7- $QI_2 = 8,194 - 0,281 \cdot Yield - 5,125 \cdot NDVI + 0,896 \cdot P_{poda}$	0,576	13,126	-
8- $QI_2 = 7,926 - 0,273 \cdot Yield - 7,543 \cdot NDVI + 0,947 \cdot P_{poda} + 0,035 \cdot E_{Ca}$	0,608	10,852	E _{Ca}
9- $QI_2 = 6,051 - 1,078 \cdot \log(Yield)$	0,376	18,65	-
10- $QI_2 = 3,859 + (2,485/Yield)$	0,255	10,617	-
11- $QI_2 = 6,164 \cdot 0,930^{Yield}$	0,452	25,56	-
12- $QI_2 = 6,361 \cdot Yield^{-0,258}$	0,368	18,07	-
13- $QI_2 = 6,770 - 3,235 \cdot NDVI$	0,069	2,306	-
14- $QI_2 = 7,727 \cdot 0,446^{NDVI}$	0,074	2,48	-
2013			
15- $QI_2 = 6,176 - 4,272 \cdot NDVI + 0,087 \cdot SFT/P$	0,408	8,974	- ‡
16- $QI_2 = 5,301 - 4,078 \cdot NDVI + 0,025 \cdot E_{Ca}$	0,339	6,676	-
17- $QI_2 = 6,179 - 3,206 \cdot NDVI$	0,228	7,962	-
18- $QI_2 = 4,105 - 0,859 \cdot \log(NDVI)$	0,227	7,934	-
19- $QI_2 = 6,229 \cdot 0,536^{NDVI}$	0,206	6,229	-

‡ Posible colinearidad

P_{baya}: peso de la baya (g), *E_{Ca}*: conductividad eléctrica aparente del suelo (mS/m), *Yield*: producción (kg) por cepa, *P_{poda}*: peso de poda (kg), *SFT/P*: superficie foliar total (m²)/ producción (kg).

Globalmente, se observó que en los tres primeros años de estudio (2010, 2011 y 2012), caracterizados por una menor disponibilidad hídrica, el parámetro E_{Ca} fue el que determinó de manera positiva la calidad de la uva, y los parámetros producción y peso de la baya la determinaron de manera negativa. Esto quiere decir que en estos años de mayor estrés, las zonas con menor producción y con suelos de mayor E_{Ca} (con mayor capacidad de suministro hídrico a la planta y mayor fertilidad), fueron las que dieron (en mayor o menor

medida) uvas de más calidad, tanto desde una perspectiva “clásica” (índice Q_{i_1}) como de una perspectiva de “cambio climático” (índice Q_{i_2}). Por el contrario, en el 2013, año mucho más húmedo y fresco, con menor estrés, la calidad de la uva dependió más del equilibrio vegetativo-productivo de la planta (de manera positiva) y de variables más relacionadas con la expresión vegetativa, como es el NDVI (de manera negativa).

7.4. Conclusiones del capítulo

Los resultados obtenidos en este capítulo confirman la complejidad de los factores intervinientes en la calidad de la uva, y la importancia de las condiciones climáticas de cada año. Los coeficientes de determinación (R^2) en ningún caso sobrepasaron 0,50, lo cual era esperable y aceptable en sistemas agrícolas en los que son múltiples los factores que intervienen en la variable de estudio.

La variable que más se repitió en los modelos fue la conductividad eléctrica aparente del suelo (años 2010 y 2011 en el caso del Q_{i_1} , y en 2011 con el Q_{i_2}), relacionada de manera positiva con la calidad de la uva. También los aspectos productivos (peso de la baya y producción) parecieron estar ligados negativamente con la calidad de la uva en 2012 -año especialmente seco-, y en 2010 para el Q_{i_2} . En conjunto, se observó que en los años más secos y cálidos (2010, 2011 y 2012), las variables que explicaron la calidad de la uva fueron aquellas más relacionadas con el estrés hídrico: la ECa, con una relación positiva con la calidad de la uva; y los componentes productivos, que tuvieron una relación negativa; esto explicaría que aquellas zonas sometidas a menor estrés fueran capaces de producir uvas de mayor calidad. Sin embargo, en 2013, año mucho más fresco y húmedo, donde la disponibilidad hídrica no fue factor limitante, las variables que mayor peso tuvieron sobre la calidad de la uva estuvieron relacionadas con el desarrollo y equilibrio vegetativo de la planta.



8. INFLUENCIA DEL VIGOR DEL VIÑEDO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VINO

8.1. Introducción

El estudio de la delimitación zonal del viñedo tiene como objetivo el poder gestionar la vendimia de manera diferenciada para elaborar vinos con unas características concretas, ya sea a nivel de grado alcohólico, acidez, aroma, color o sensaciones gustativas. Por este motivo, se consideró importante abordar la vinificación de uva de las diferentes zonas establecidas según el vigor (estimado a través del NDVI) durante los cuatro años de estudio y, así conocer mejor el efecto sobre el producto final, es decir, sobre el vino.

Entre las características consideradas como más importantes en la calidad de los vinos tintos destacan el color y la impresión gustativa, provenientes de los compuestos fenólicos de la uva, como los antocianos y los taninos (Glories, 1988). A pesar del análisis más profundo realizado en los capítulos previos sobre la composición de estos compuestos en la uva, pueden existir diferencias entre los valores obtenidos con respecto al vino final. Esto puede ser debido a numerosos factores, tales como la alta variabilidad de la composición antocianica en la uva, que se ve homogeneizada al realizar la vinificación, diferencias en la extractabilidad de los diferentes compuestos y su paso al vino (Ribereau- Gayon, 1972; Canals, 2005), fenómenos de copigmentación (Brouillard y Delaport, 1977; Boulton, 2001; Salas et al., 2005), degradaciones o precipitaciones, etc.

En la actualidad, cada vez está adquiriendo más importancia la calidad aromática de los vinos. Los aromas del vino proceden de diversas familias de compuestos, siendo los más importantes los terpenos, norisoprenoides, alcoholes, ésteres, ácidos volátiles y fenoles volátiles (Rap y Mandery, 1986). Son numerosos los estudios que han relacionado las propiedades organolépticas de los vinos con aspectos fisiológicos: la carga productiva (Chapman et al., 2004), la exposición de los racimos (Marais et al., 1992; Reynolds et al., 2007a; Ristic et al., 2007), el deshojado (Diago et al., 2010; Vilanova et al., 2012; Hernández-Orte et al., 2014), el suelo (Scarlett et al., 2014), la climatología de la añada (Mendez-Costabel et al., 2013), la disponibilidad hídrica (Koundouras et al., 2006) y la nitrogenada (Choné et al., 2001) o el vigor (Cortell et al., 2008; King et al., 2014). La síntesis de estos compuestos se vería favorecida por todos aquellos factores que favorezcan el metabolismo secundario, y mayores exposiciones, como es el caso de cepas con poco vigor (Baumes et al., 2002). Además, por otro lado, una mayor exposición favorecería la disminución de aromas herbáceos o vegetales (Lasanta et al., 2014). En cualquier caso, la relación entre la disposición y vigor de la

vegetación, el microclima de los racimos y la síntesis de compuestos aromáticos ligada al aroma del vino no es del todo conocida (Hernández-Orte et al., 2014, Song et al., 2014).

Además, la adecuación del perfil sensorial del vino a los deseos del enólogo dependerá del tipo de vino que se pretenda elaborar, ya sea destinado a un consumo rápido, o a un envejecimiento y crianza en barrica. En el primer caso, se buscarán vinos más ligeros, pero más frutales y frescos, mientras que en el segundo caso, se buscarán vinos, quizá no tan ricos en aromas primarios, pero con mayor cuerpo y volumen en boca.

Cabe señalar que la finalidad última de este capítulo no fue la de conocer las diferencias en la composición química de los vinos obtenidos en las diferentes zonas de vigor, aspecto que ya ha sido desarrollado en los capítulos anteriores a nivel de uva y con una metodología más adecuada. Se ha pretendido más bien proceder a su análisis sensorial con objeto de detectar la influencia del vigor en unas características, las organolépticas, difícilmente cuantificables en uva, para las que se precisa la elaboración y posterior análisis sensorial de los vinos.

8.2. Desarrollo

Las microvinificaciones se llevaron a cabo según el protocolo desarrollado en el Capítulo 4, en depósitos de 30 litros de capacidad y siguiendo las mismas prácticas enológicas en todos los lotes. Así, la única variación entre cada microvinificación fue el origen de la uva.

La fecha de vendimia, en cada año, fue la misma para las distintas zonas de vigor. Se optó por proceder de esta manera porque permite apreciar mejor las posibles diferencias entre las zonas de vigor, al ser vendimiadas en un mismo momento. Se prefirió este método al de vendimiarse en diferentes fechas “óptimas” para cada zona de vigor porque, en este último caso, las comparaciones no son tan directas y sencillas y, además, es el proceso habitual en una vendimia real.

En los dos primeros años de estudio (2010 y 2011), se vinificaron dos zonas de vigor (alto y bajo), sin embargo, en 2012 la separación se hizo en tres zonas de vigor (alto, medio y

bajo), ya que las diferencias entre las zonas de vigor extremas parecían mayores. Dicho protocolo de tres zonas, se realizó también en 2013. Para ello, se utilizó el mapa de zonas (*clusters*) de NDVI, de manera que cada cepa se asignó a una zona de vigor. La elección de la uva se hizo al azar, entre varias cepas de cada nivel de vigor, hasta alcanzar la uva necesaria para la vinificación (una caja de 25 kg de uva por mini-depósito). Las elaboraciones se hicieron por duplicado salvo en el año 2012, que sólo se realizó una repetición. Cada repetición hace referencia a la vinificación (no a la uva), ya que se realizó con la misma uva de origen, que tras el despalillado se separó en dos partes idénticas.

El análisis organoléptico se realizó mediante un panel de catadores expertos, tal y como se indicó en el Capítulo 4, tomando como referencias 8 descriptores aromáticos y 3 gustativos.

8.3. Resultados y discusión

8.3.1. Composición físico-química del vino

Los resultados del análisis físico y químico de los vinos elaborados en cada año de estudio se presentan en la Tabla 8.1.

El grado alcohólico de los vinos no siguió una tendencia clara en todos los años estudiados. En 2010 la zona de alto vigor presentó un grado alcohólico superior a la de bajo vigor, al contrario que en 2011 y 2012. En 2013 ambas zonas presentaron el mismo grado. Los grados alcohólicos obtenidos en todos los casos fueron compatibles con una elaboración de vinos tintos de calidad. El comportamiento específico del grado alcohólico-acumulación de azúcares en función del vigor ya fue abordado en los capítulos anteriores, y con datos de todas y cada una de las cepas, al estudiar las características de la uva. La acidez total del vino fue mayor, todos los años, cuanto más alto era el vigor. Este comportamiento concuerda con la mayoría de los estudios al respecto, donde se constata que las cepas con mayor disponibilidad hídrica y racimos más sombreados presentan una acidez más elevada (Jackson y Lombard, 1993).

Tabla 8.1. Análisis ANOVA y separación de medias para los parámetros físico-químicos del vino en base al vigor.

		Grado alc. (%vol.)	Acidez total (g/L tartárico)	pH	Ácido málico (g/L)	Intensidad Color	Tonalidad	Índice Polifenoles Totales
2010	ALTO	14,4 ^a	6,45	3,68 ^a	3,46 ^a	9,9 ^b	0,54 ^a	60,6 ^b
	BAJO	13,5 ^b *	6,34 ns	3,51 ^b **	2,85 ^b *	14,9 ^a *	0,43 ^b ***	77,9 ^a **
2011	ALTO	14,5	5,70	3,69	2,33	6,3 ^b	0,70	55,6
	BAJO	15,0 ns	5,36 ns	3,91 ns	2,15 ns	7,9 ^a *	0,75 ns	64,2 ns
2012†	ALTO	13,0	5,70	3,47	2,18	6,3	0,54	43,4
	MEDIO	14,7	5,25	3,67	nd	10,4	0,56	61,0
	BAJO	13,9	5,10	3,61	0,73	12,8	0,53	66,4
2013	ALTO	14,3 ^a	4,54 ^a	3,75 ^b	3,25 ^a	5,7 ^c	0,67 ^a	38,4 ^c
	MEDIO	13,5 ^b	4,50 ^a	3,62 ^c	2,61 ^b	8,1 ^b	0,57 ^b	42,6 ^b
	BAJO	14,4 ^a **	4,09 ^b *	3,82 ^a **	2,31 ^c ***	12,9 ^a ***	0,57 ^b **	60,2 ^a ***

†Año 2012 no se pudo hacer análisis ANOVA al no existir repeticiones

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes

El pH, salvo en el año 2010, fue mayor en las zonas de bajo vigor. El pH final del vino depende de múltiples circunstancias como la proporción entre los ácidos tartárico y málico o la concentración del catión K⁺ en la uva, y su influencia sobre la salificación de los ácidos (como el tartárico), provocando aumentos del pH de los mostos. El K⁺ tiende a acumularse en el hollejo principalmente (Iland y Coombe, 1988), por lo que bayas pequeñas (con un ratio hollejo:pulpa mayor) pueden presentar mayores concentraciones.

El ácido málico mostró una tendencia clara hacia menores concentraciones en los vinos procedentes de uvas de la zona de bajo vigor; este comportamiento parece razonable debido a una menor síntesis, por menor crecimiento vegetativo, y a mayor combustión respiratoria al estar los racimos más expuestos a la radiación solar y, como consecuencia, sometidos a mayor temperatura (Smart et al., 1985).

Respecto al color de los vinos, se observó que en todos los años de estudio las mayores intensidades de color se obtuvieron en las vinificaciones procedentes de uvas de las zonas de bajo vigor, y viceversa. Esto coincide con la mayoría de los estudios que relacionan el vigor con el color del vino (Cortell et al., 2008; Priori et al., 2011; Fillipetti et al., 2013; King et

al., 2014).

Los resultados inesperados en los niveles de antocianos extraíbles obtenidos en uva -discutidos en esta tesis-, los cuales fueron más altos en uvas de cepas de mayor vigor en las añadas cálidas (2010, 2011 y 2012), parecen discrepar con los resultados en los vinos. Estas diferencias entre uva y vino se pueden explicar a través de varios efectos.

El primero, tal y como se explicaba en la introducción del capítulo, pudo ser debido a que la vendimia no se realizó de la misma manera en ambos casos; en el caso de la uva para muestreo y análisis se tomaron uno o varios racimos representativos de todas y cada una de las cepas, sin embargo, en el caso de la uva para vinificación, se vendimiaron todos los racimos de un número variable de cepas (entre 8-15, según la producción de las mismas) elegidas aleatoriamente entre todas las cepas zonificadas en cada nivel de vigor.

En cualquier caso, en los análisis de uva, la estimación del color se realizó a través de la concentración de antocianos extraíbles mientras que, en el vino, se hizo en términos de intensidad de color (como suma de las absorbancias a 420, 520 y 620 nm). Son varios los estudios que han demostrado que el índice de color no refleja enteramente el contenido en antocianos del vino (Mazza, 1995) y que, mayores intensidades de color, no siempre se corresponden con mayores niveles de antocianos (Edwards y Clingeleffer, 2013). Más bien, la intensidad colorante parece estar más relacionada con los polímeros pigmentados (Gao et al., 1997; Mazza, 1995), es decir, con formas combinadas de antocianos con otros compuestos presentes en el vino (Boulton, 2001).

Esta copigmentación es uno de los fenómenos principales que explicaría la mayor intensidad de color de los vinos elaborados a partir de uvas de cepas de bajo vigor. El contenido en polifenoles totales fue claramente superior en los vinos procedentes de zonas de menor vigor, al igual que lo observado en otros estudios (Cortell et al., 2008; Priori et al., 2011; Edwards y Clingeleffer, 2013; King et al., 2014) y en consonancia con los datos obtenidos en uva en el presente estudio. Esto induce a pensar que los contenidos en ciertos compuestos fenólicos fueron mayores en estos vinos, permitiendo la formación de mayor número de polímeros pigmentados que contribuyeron a la intensidad de color constituyendo, además, estructuras de color más estables en el tiempo.

Se ha constatado que son tan importantes los valores iniciales en uva, no sólo de antocianos, sino especialmente de proantocianidinas (taninos), ya que juegan un papel importante en el color final del vino a través de la síntesis de polímeros pigmentados (Fulcrand

et al., 2004). Cuando los antocianos son liberados en la matriz del mosto, tras el encubado, forman rápidamente complejos de copigmentación (Schwarz et al., 2005; Lorenzo et al., 2005) y experimentan numerosas reacciones, de manera que se han identificado diversas familias de compuestos pigmentados en el vino (Asen et al. 1972; Salas et al., 2005). La mayoría de estos compuestos está constituida por las uniones entre antocianos y proantocianidinas y se asume que son responsables de la mayor parte del color a largo plazo de los vinos tintos (Price et al., 1995; Boulton, 2001; Salas et al., 2003). Varios estudios han demostrado que los vinos elaborados a partir de uvas expuestas a la radiación solar, produjeron mayores contenidos en copigmentos, hasta un 40% más, que las uvas sombreadas. Esto reforzaría la teoría por la cual los vinos de las uvas de cepas más vigorosas, con racimos más sombreados, presentarían menor contenido en polímeros pigmentados y, por lo tanto, menor intensidad colorante (Price, 1995, Ristic et al., 2007).

Otro de los factores de gran importancia que podrían haber afectado a la intensidad de color final en el vino sería la extractabilidad de los antocianos. El nivel de madurez de la uva, así como las propiedades mecánicas del hollejo pueden tener gran influencia sobre la liberación de antocianos desde la piel al mosto durante la fermentación (Rolle et al., 2011). A pesar de que el etanol puede tener influencia positiva al favorecer la extracción de antocianos (pero sobre todo de proantocianidinas), parece que las propiedades físicas de las células del hollejo juegan un papel más decisivo (Canals et al., 2005). Así mismo, el grado de madurez es más importante que el contenido en sólidos solubles de la uva (Fournand et al., 2006). Varios trabajos han estudiado cómo la composición de la pared del hollejo influye en la extractabilidad de los compuestos antocianídicos en diversas variedades, entre ellas Tempranillo (Ortega-Segures et al., 2006; Hernández-Hierro et al., 2014). Los antocianos se ubican en las vacuolas de las células, constituyendo su pared una barrera física a su difusión. Las diferencias en la pared celular a nivel de polisacáridos, junto con el contenido en celulosa y el grado de metilación de las pectinas están detrás de la extractabilidad de los antocianos. Las cepas de las zonas de bajo vigor, suelen presentar un estadio fenológico más avanzado respecto a las de alto vigor (Bodin y Morlat, 2006), por lo que sus estructuras celulares podrían encontrarse más degradadas, permitiendo una mejor difusión de los antocianos hacia el medio.

Por último, las tonalidades de los vinos procedentes de uvas de las zonas de menor vigor presentaron, en general, una tendencia a ser menores, es decir, la relación entre la A_{420} y la A_{520} fue menor. Este efecto está ligado a una mayor cantidad de compuestos en la longitud

de onda del rojo, que se han asociado a una mayor polimerización de los antocianos (Gao et al., 1997; Cortell et al., 2007b).

8.3.2. Evaluación sensorial del vino

Además de la composición físico-química del vino, sus cualidades organolépticas son, hoy en día, muy valoradas en lo que respecta a su calidad. Tanto el perfil aromático como el gusto en boca pueden verse afectados por las condiciones agronómicas de cultivo, esto es, la influencia del vigor sobre el equilibrio vegetativo, la carga productiva y el microclima de la vegetación y de los racimos.

En la Figura 8.1 se expone un resumen, en forma de gráficos radiales, de los datos recogidos en el análisis sensorial descriptivo-cuantitativo.



Figura 8.1. Gráficos radiales para los valores obtenidos en el análisis sensorial descriptivo-cuantitativo sobre los vinos elaborados en los cuatro años de estudio.

De los gráficos de la Figura 8.1 se desprende que, globalmente, los vinos elaborados a partir de uvas de cepas vigorosas presentaron un perfil sensorial con mayor acidez en boca, y más aromas de carácter de frutos rojos y gominola, así como un carácter más herbáceo que el resto. Por el contrario, los vinos elaborados con uvas de cepas poco vigorosas presentaron mayor volumen y astringencia en boca, así como notas aromáticas más maduras, del tipo regaliz, pasa, etc. Los descriptores olfativos del vino de “bajo de vigor” del año 2012 no pudieron ser tenidos en cuenta, puesto que las muestras conservadas para el análisis sensorial presentaron un defecto de corcho que imposibilitó su correcto análisis sensorial.

Además, se realizó un análisis de componentes principales con objeto de ver qué carácter o caracteres, de los once evaluados, se detectaban más intensamente en cada uno de los vinos. Los gráficos bi-plot se muestran en la Figura 8.2 y los vectores propios correspondientes a cada variable en la Tabla 8.2. En 2012, el problema gustativo con el defecto de corcho, hizo que los resultados fueran descartados.

En el año 2010, los Componentes 1 y 2 explicaron un 82,4% de la varianza, mientras que en 2011 este valor fue del 81,1% y del 72,3% en 2013. En general en todos los años de estudio, pareció que el Componente 1 (el que mayor varianza explica, eje de abscisas) expresó el carácter de madurez del vino (más maduro: pasas, pimienta, regaliz, volumen, astringencia; o menos maduro y más primario: mora, violeta, gominola, fresa, hierba, acidez).

Se observó una tendencia en los vinos procedentes de zonas de alto vigor, por la que se situaron cerca de los caracteres aromáticos frutales primarios (violeta, gominola, fresa...), aromas herbáceos (hierba) y acidez, lo que correspondería a un perfil de vino de uvas menos maduras. Los vinos procedentes de zonas de bajo vigor tendieron a situarse cerca de los descriptores de fruta pasa, regaliz, pimienta, volumen y astringencia, lo que se correspondería con perfiles de vinos más maduros. Resultados similares fueron encontrados en los estudios de Bramley et al. (2011) y Fillipetti et al. (2013) sobre las variedades Cabernet Sauvignon y Sangiovese. Estos autores describen los vinos de zonas de alto vigor con descriptores como “herbáceo”, “a raspón”, “oliva” o “cárnico”, mientras que los vinos de zonas de bajo vigor mostraron un carácter frutal mayor, con notas desde fruta roja hasta mermelada, fruta negra o fruta pasa.

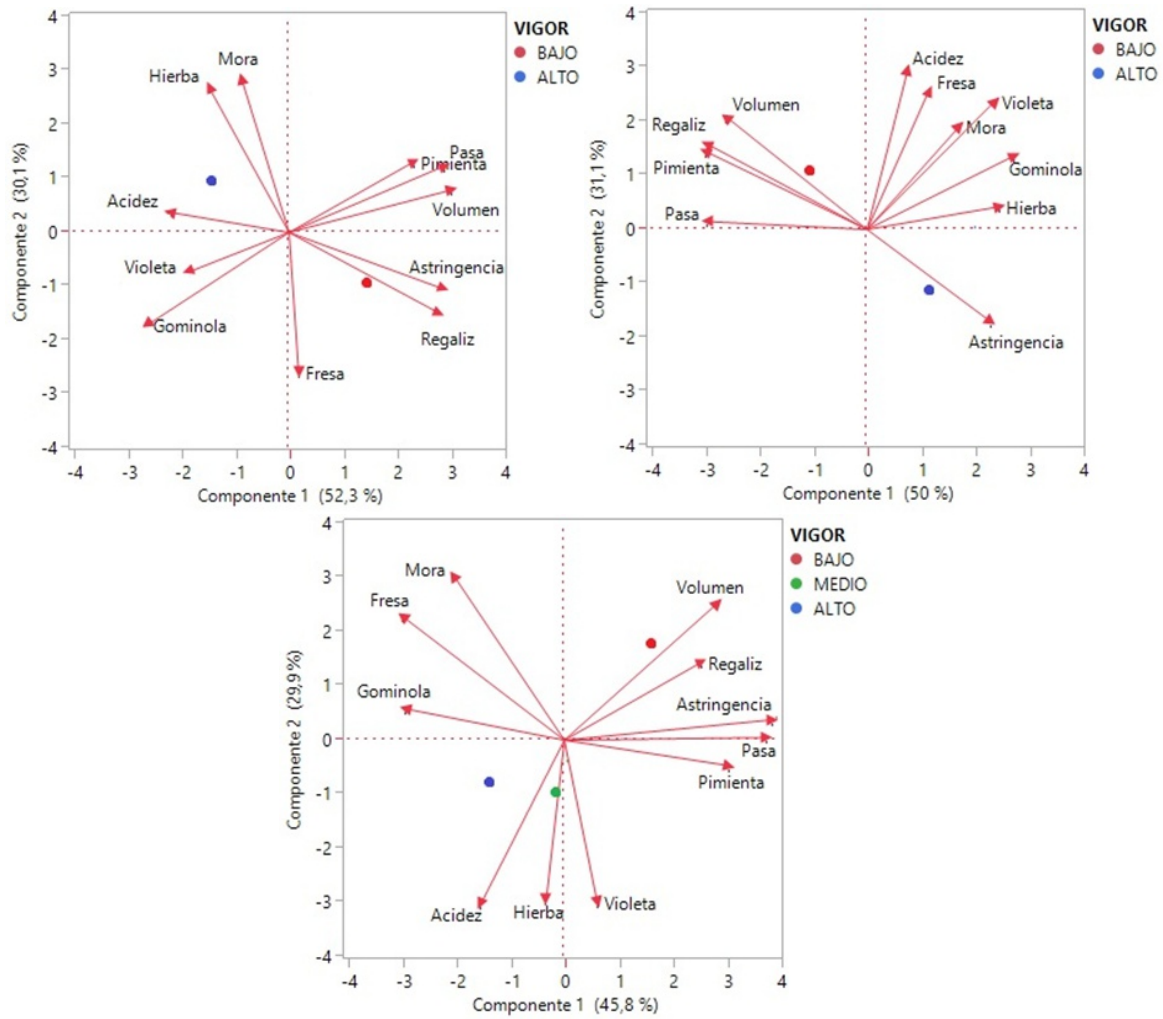


Figura 8.2. Gráficos bi-plot correspondientes al análisis de componentes principales del análisis sensorial descriptivo-cuantitativo de los vinos. Los vinos están graficados como la posición media de las repeticiones. (Datos correspondientes a 2012 descartados).

Tabla 8.2. Vectores propios de las variables gustativas y aromáticas del PCA.

	2010		2011		2013	
	Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2
Fresa	0,02343	-0,45159	0,14437	0,41206	-0,34176	0,32342
Mora	-0,11669	0,49674	0,2182	0,30956	-0,23345	0,42945
Gominola	-0,34849	-0,29997	0,34387	0,21909	-0,33453	0,08195
Violeta	-0,24597	-0,12782	0,29977	0,38266	0,06883	-0,42059
Hierba	-0,19619	0,46848	0,31005	0,068	-0,03806	-0,41377
Regaliz	0,36719	-0,2598	-0,37445	0,25399	0,28902	0,20346
Pasa	0,38286	0,21617	-0,37414	0,02387	0,42609	0,00689
Pimienta	0,30684	0,22927	-0,37885	0,23263	0,34607	-0,06606
Volumen	0,40003	0,13804	-0,33117	0,33625	0,32198	0,3568
Acidez	-0,29408	0,06559	0,0956	0,47663	-0,17512	-0,4245
Astringencia	0,37859	-0,1827	0,29117	-0,27546	0,43751	0,05327

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial muestran que los vinos procedentes de zonas de alto vigor, revelaron gustativamente menor volumen y mayor acidez, lo cual concuerda con los datos analíticos, con mayor acidez total, menor pH, y menor contenido en alcohol. Se les atribuyó un carácter herbáceo más frecuentemente, debido probablemente a la alta densidad foliar y sombreado de racimos, que pudo provocar que las uvas poseyeran un mayor contenido en compuestos C6, conocidos por su carácter vegetal (López et al., 1999). Los aromas fueron más frescos, con notas de frutos rojos-fresa, violetas o gominola. Opuestamente, los vinos elaborados con uvas de zonas de menor vigor, mostraron mayor astringencia y volumen, debido a su mayor contenido alcohólico y mayor IPT, y caracteres aromáticos más maduros, con notas de fruta pasa, regaliz, pimienta.

Las notas de fresa-fruta roja suelen ir asociadas a ésteres como el hexanoato de etilo o el isobutirato de etilo. La mora suele ir ligada al norisoprenoide β -ionona, mientras que la violeta a la α -ionona o la pasa a la β -damascenona. Los aromas del vino integran un buffer aromático formado por cerca de una treintena de componentes volátiles (Ferreira, 2007). Las notas percibidas son el producto de la interacción de varias moléculas directamente e indirectamente, que pueden potenciarlas o atenuarlas, y la contribución al aroma se produce más bien por familias de odorantes (que actúan de forma sinérgica) que individualmente (Cacho, 2006).

Carbonneau (2007) evaluó numerosos vinos de diversas variedades, definiendo una evolución clara de las familias de aromas durante la maduración de la uva, en dos tipos de series: la serie básica (ligada a la maduración de base) y la serie derivada (ligada al metabolismo secundario). En la primera, la sucesión de familias comienza con la serie vegetal, continuando con la fruta fresca, fruta madura, fruta pasa/confitada, mermelada y por último, fruta cocida (en caso de sobremaduración). La serie derivada, más dependiente del metabolismo secundario, comienza a desarrollarse una vez que la uva elimina el carácter herbáceo y empieza a desarrollar el carácter frutal. Las condiciones en la maduración provocarían que el metabolismo secundario se decantase hacia la producción de unos aromas u otros, teniendo en cuenta también que la impresión olfativa depende del conjunto de moléculas odorantes que actúan de forma sinérgica, más que de una en concreto (Cacho, 2006). Esta serie incluiría, entre otras, las familias aromáticas especiada (pimienta) y empireumática (regaliz), que se desarrolla en estado de maduración avanzada. Iland y Gago (2000) encontraron, para variedades cultivadas típicamente en Australia, resultados similares en las familias aromáticas, dependiendo de la variedad. Según esto, los vinos de uvas

procedentes de zonas de bajo vigor, mostrarían una madurez más avanzada y un metabolismo secundario más activo en comparación con las de alto vigor.

8.4. Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se ha estudiado la composición físico-química y, especialmente, el análisis sensorial de los vinos elaborados a partir de las uvas correspondientes a las diferentes zonas de vigor de la parcela de estudio.

Los vinos elaborados con uvas de las zonas de menor vigor mostraron mayor intensidad de color, mayores contenidos en polifenoles totales y menor tonalidad. Las diferencias encontradas a nivel de color en uva y vino pudieron ser debidas principalmente a fenómenos de copigmentación, al presentar estas uvas mayor contenido en proantocianidinas, que favorecieron la estabilización del color, motivo por el cual presentaron también mayor cantidad de compuestos rojos, esto es, menor tonalidad. Así mismo, estas uvas de las zonas de bajo vigor, que presumiblemente estaban en un estadio fenológico más avanzado, pudieron presentar hollejos con una estructura celular más degradada, lo que habría favorecido la extracción de los antocianos al medio.

El análisis sensorial descriptivo-cuantitativo mostró que los vinos elaborados con uvas de zonas de alto vigor mostraron como descriptores más comunes la acidez y aromas herbáceos y frutales frescos, como fresa-fruta roja, gominola o violeta. De manera opuesta, los vinos procedentes de uvas de zonas de bajo vigor, puntuaron más alto en descriptores como el volumen en boca y la astringencia, así como en aromas maduros (pasa, regaliz, pimienta).

A la vista de los resultados obtenidos, se puede confirmar la gran influencia del vigor sobre la composición del vino y, especialmente, sobre sus características gustativas y aromáticas. Estas diferencias apreciadas en los vinos deben orientarse a la producción de un tipo de vino concreto, de manera que los vinos de zonas de alto vigor parecen estar más orientados a una tipología de vino joven, de consumo rápido, mientras que los vinos de zonas de bajo vigor presentarían cualidades más idóneas para la elaboración de vinos de crianza. Estos resultados subrayan la importancia de la variabilidad del viñedo: una clasificación de la

vendimia en unidades separadas permitiría dirigir, cada una de ellas, hacia una estrategia de vinificación diferente y una tipología de vino concreta, lo que permitiría un mayor aprovechamiento de la cosecha que, de otra manera, se habría homogeneizado presentando unas características intermedias.



9. CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis supone uno de los pocos ejemplos reales existentes a nivel nacional sobre las posibilidades de aplicación de algunas de las técnicas de la denominada viticultura de precisión en bodegas familiares de pequeño/medio tamaño, habiéndose explorado la relación de índices de vegetación y propiedades de los suelos (como la conductividad eléctrica aparente) con parámetros vegetativos, productivos y de calidad de la uva, así como la selección de uva para vinificación a través de zonificaciones basadas en índices de vegetación y la relación entre esas zonas y las características de los vinos.

Estas herramientas tecnológicas propias de agricultura de precisión, y aplicadas en este caso a la viticultura de precisión, han mostrado su utilidad en cuanto a la zonificación del viñedo y el análisis de la relación con el desarrollo vegetativo y parámetros de calidad de la uva y el vino. Son herramientas que facilitan y ahorran trabajo de campo, en lo que se refiere a la medida espacial detallada de ciertos parámetros indicadores del vigor que, como se ha visto, guardan cierta relación con los parámetros de calidad de la uva y el vino. No obstante, muchos de los aspectos vitícolas que se han contemplado en la presente Tesis podrían haberse estudiado sin recurrir a estas herramientas, a través de medidas directas en campo. Son por lo tanto herramientas complementarias que facilitan la espacialización de medidas tradicionalmente tomadas a pie de campo y el establecimiento de diferentes zonas de manejo de interés para el vitivinicultor.

Además de confirmar las relaciones ya conocidas entre índices de vigor y parámetros vegetativos de la viña, y la variabilidad de la relación entre estos índices y parámetros de calidad de la uva, la investigación realizada también ha servido para poner de manifiesto relaciones inesperadas entre los antocianos de la uva y el vigor, que pueden estar condicionadas por los efectos del cambio climático.

En concreto, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Existe una gran variabilidad en el viñedo, muy alta en los parámetros referentes a la expresión vegetativa y la producción. La variación en la composición de la uva es mucho menor, si bien los contenidos en antocianos y polifenoles presentan mayor variabilidad que otros parámetros como pH o grado probable.

2. El NDVI se ratifica como indicador fiable del vigor de la planta y estado vegetativo, y es capaz de distinguir cepas con características productivas diferentes, especialmente en lo que a tamaño de baya y de racimo se refiere, y en los diferentes años estudiados. Las

características físico-químicas de la uva mostraron más variabilidad, pero aun así se mostraron altamente relacionadas con la variación de NDVI.

3. La mayor parte de los parámetros de calidad de la uva analizados no fueron capaces de diferenciarse significativamente en tres zonas de vigor, por lo que se recomienda la delimitación de únicamente dos zonas (alto y bajo vigor) a la hora de establecer un sistema de manejo diferenciado del viñedo.

4. La zonificación considerando la ECa del suelo mejoró la diferenciación entre las cepas de cada unidad de manejo, aportando mayor precisión que los NDVIs de cada año, o incluso, que los de los 4 años juntos. Por tanto, la cartografía de la ECa se contempla como una posibilidad de gran interés como alternativa y/o complemento a los índices de vegetación para la delimitación de zonas de manejo diferenciado.

5. Respecto a la generalizada relación inversa entre desarrollo vegetativo y síntesis antocianica, la investigación ha mostrado que, en la variedad Tempranillo, en los años más cálidos y con temperaturas extremas, la síntesis antocianica fue mayor en las cepas de más vigor debido a un efecto de protección de los racimos por parte de la vegetación más frondosa. En un contexto de cambio climático, estos resultados aconsejan la orientación de las nuevas técnicas vitícolas hacia la protección de los racimos y evitar la sobreexposición de los mismos.

6. El análisis realizado para el establecimiento de un índice de calidad de la uva y su relación con parámetros medibles con antelación a la vendimia ha puesto de manifiesto la complejidad de los factores intervinientes en la calidad de la uva. Las variables vitícolas más determinantes en la calidad de la uva no son las mismas todos los años: en los años más cálidos y secos resultaron más determinantes las relacionadas con el estrés hídrico de la planta (características de los suelos, producción), mientras que los años más frescos y húmedos fueron más determinantes las relacionadas con el equilibrio vegetativo y con las características de la parte aérea.

7. Los vinos elaborados con uvas de las zonas de menor vigor mostraron mayor intensidad de color, mayores contenidos en polifenoles totales y menor tonalidad. Las diferencias encontradas a nivel de color en uva y vino pudieron ser debidas principalmente a fenómenos de copigmentación, al presentar estas uvas mayor contenido en proantocianidinas, que favorecieron la estabilización del color, motivo por el cual presentaron también mayor cantidad de compuestos rojos, esto es, menor tonalidad. Así mismo, estas uvas de las zonas

de bajo vigor, que presumiblemente estaban en un estadio fenológico más avanzado, pudieron presentar hollejos con una estructura celular más degradada, lo que habría favorecido la extracción de los antocianos al medio.

8. El análisis sensorial descriptivo-cuantitativo mostró que los vinos elaborados con uvas de zonas de alto vigor mostraron como descriptores más comunes la acidez y aromas herbáceos y frutales frescos, como fresa-fruta roja, gominola o violeta. De manera opuesta, los vinos procedentes de uvas de zonas de bajo vigor, puntuaron más alto en descriptores como el volumen en boca y la astringencia, así como en aromas maduros (pasa, regaliz, pimienta). Las diferencias observadas deberán ir dirigidas hacia una tipología de vino concreta, sugiriendo que los vinos de alto vigor serían más adecuados para vinos jóvenes, frescos y de consumo rápido, mientras que los de bajo vigor se orientarían hacia vinos de guarda.



BIBLIOGRAFÍA

Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., Ojeda, H. 2008. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture*, 9: 285-302.

Amerine, M., Berg, H., Kunkee, R., Ough, C., Singleton, V., Webb, A. 1980. *The Technology of Wine Making*. Ed. AVI Publishing, Westport.

Amerine, M.A., Winkler, A.T. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, 15: 493–673.

André, F., van Leeuwen, C., Saussez, S., Van Durmen, R., Bogaert, P., Moghadas, D., de Ressaiguiet, L., Delvaux, B., Vereecken, H., Lambot, S. 2012. High-resolution imaging of a vineyard in south of France using ground-penetrating radar, electromagnetic induction and electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 78 (0): 113-122.

Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J.A., Ribes-Dasi, M., Rosell, J.R. 2011. Clustering of grape yield maps to delineate site-specific management zones. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3): 721-729.

Arnó, J., Rosell, J.R., Blanco, R., Ramos, M.C. y Martínez-Casasnovas, J.A. 2012. Spatial variability in grape yield and quality influenced by soil and crop nutrition characteristics. *Precision Agriculture*, 13(3): 393-410.

Arozarena, I., Ayestarán, B., Cantalejo, M., Navarro, M., Vera, M., Abril, I., Casp, A. 2002. Anthocyanin composition of Tempranillo, Garnacha and Cabernet Sauvignon grapes from high- and low-quality vineyards over two years. *European Food Research and Technology*, 214: 303–309.

Asen, S., Stewart, R.N., Norris, K.H. Co-pigmentation of anthocyanins in plant tissues and its effects on color. *Phytochemistry*, 11: 1139-1145.

Baldy, R., DeBenedictis, J., Johnson, L., Weber, E., Baldy, M., Osborn, B., Burleigh, J. 1996. Leaf colour and vine size are related to yield in a phylloxera-infested vineyard. *Vitis*, 35: 201-205.

Baluja, J., Tardaguila, J., Ayestaran, B., Diago, M.P. 2013. Spatial variability of grape composition in a Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) vineyard over a 3-year survey. *Precision Agriculture*, 14(1): 40-58.

Barrios, I. 1994. Los suelos de viñedo de Rioja Alavesa. Tesis doctoral defendida en la Facultad de Biología de la Universidad de Santiago de Compostela. 351 pp.

Baumes, R., Wirth, J., Bureau, S., Gunata, Y., Razungles, A. 2002. Biogenesis of C13-norisoprenoid compounds: Experiments supportive for an apo-carotenoid pathway in grapevines. *Analytica Chimica Acta*, 458(1): 3–14.

Bell, J.C., Butler, C.A., Thompson, J.A. 1995. Soil-terrain modeling for site-specific agricultural management. *Site-specific Management for Agricultural Systems*. Ed. Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. ASA, CSSA y SSSA, Wisconsin.

Bergqvist, J., Dokoozlian, N., Ebisuda, N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(1): 1-7.

Berli, F., D'Angelo, J., Cavagnaro, B., Bottini, R., Wuilloud, R., Silva, M.F. 2008. Phenolic composition in grape (*Vitis vinifera* L. cv. Malbec) ripened with different solar UV-B radiation levels by capillary zone electrophoresis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 2892–2898.

Bertamini, M., Iacono, F., Scienza, A. 1991. Manipolazione dei rapporti sink-source mediante il diradamento dei grappoli e riflessi sulla qualità (cv. Cabernet Sauvignon). *Vignevini*, 10: 41-47.

Bodin, F., Morlat, R. 2006. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, 281(1-2): 37-54.gao

Boulton, R. 2001. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: a critical review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52: 67-87.

Bragachini, M. 2002. Evolución, presente y futuro de la agricultura de precisión en Argentina 1996/2001. INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.

Bramley, R.G.V., Ouzman, J., Boss, P. K. 2011. Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2): 217-229.

Bramley, R.G.V., Hamilton, R.P. 2007. Terroir and precision viticulture: Are they compatible? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 41(1): 1-8.

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 Wine Research*, 11: 33- 42.

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 Wine Research*, 10: 32-45.

Bramley, R.G.V., Proffitt, A.P.B. 1999. Managing variability in viticultural production. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, 427: 11-16.

Bramley, R., Proffitt, T., Hinze, C. J., Pearse, B., Hamilton, R.P. 2009. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. 5th European Conference on Precision Agriculture. Ed. Wageningen Academic Publishers., The Netherlands.

Brouillard, R., Delaport, B. 1977. Chemistry of anthocyanin pigments. 2. Kinetic and thermodynamic study of proton transfer, hydration, and tautomeric reactions of malvidin-3-glucoside. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 99: 8461-8468.

Cacho, J. La percepción de notas aromáticas del vino y el efecto de ciertas moléculas volátiles. *Revista de Enología*, 66.

Canals, R., Llaudy, M.C., Vallis, J., Canals, J.M., Zamora, F. 2005. Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skins and seeds of Tempranillo grapes at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4019-4025.

Carbonneau, A. 2007. Théorie de la maturation et de la typicité du raisin. *Le Progrès agricole et viticole*, Année 124, 13-14: 275-584.

Chapman, D.M., Matthews, M.A., Guinard, J.X. 2004. Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different crop yields. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55: 325-334.

Choné, X., Van Leeuwen, C., Chery, P., Ribéreau-Gayon, P. 2001. Terroir influence on water status and nitrogen status of non irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*):

vegetative development, must and wine composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 22: 8–15.

Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas. 1983. SINEDARES, Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja. 2013. Memoria 2013. Capítulo “Estadísticas 2013: El Rioja en cifras”. Ed. Consejo Regulador de la Denominación de Origen Calificada Rioja. http://es.riojawine.com/multimedia/files/publicaciones/MemoriaConsejo_2013.pdf

Constantini, E., Pellegrini, S., Bucelli, P., Storchi, P., Vignozzi, N., Barbetti, R., Campagnolo, S. 2009. Influence of hydrogeology on viticulture and oenology of Sangiovese vine in the Chianti area (Central Italy). *Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 1197-1231.

Cook, S.E., Bramley, R.G.V. 1998. Precision agriculture - opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 753-763.

Coombe, B.G. 1959. Fruit-set development in seeded grape varieties as affected by defoliation, topping, girdling, and other treatments. *American Journal of Enology and Viticulture*, 10: 85-100.

Coombe, B.G., Iland, P.G. 2004. *Viticulture Vol. 1- Resources*. Capítulo 11. Winegrape quality. Ed. Dry & Coombe.

Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T., Kennedy, J.A. 2007a. Influence of vine vigor on grape (*Vitis Vinifera* L. cv. Pinot Noir) anthocyanins. 1. Anthocyanin concentration and composition in fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 55: 6575-6584.

Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T., Kennedy, J.A. 2007b. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) anthocyanins. 2. Anthocyanins and pigmented polymers in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 6585-6595.

Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T., Kennedy, J.A. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis Vinifera* L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5798-5808.

Cortell, J.M., Kennedy, J.A. 2006. Effect of shading on accumulation of flavonoid compounds in (*Vitis vinifera* L.) Pinot noir fruit and extraction in a model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (22): 8510-8520.

Cortell, J. M., Sivertsen, H. K., Kennedy, J. A., Heymann, H. 2008. Influence of vine vigor on pinot noir fruit composition, wine chemical analysis, and wine sensory attributes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(1): 1-10.

Corwin, D.L., Lesch, S.M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46 (1-3 SPEC. ISS.): 11-43.

Cox, J. 1999. *From Vines to Wines*. Ed. Storey Publishing, North Adams.

Cunha, M., Marçal, A. R. S., Silva, L. 2010. Very early prediction of wine yield based on satellite data from vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 31(12): 3125-3142.

Dai, Z.W., Ollat, N., Gomès, E., Decroocq, S., Tandonnet, J.P., Bordenave, L. 2011. Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62: 413–425.

Dai, Z. W., Vivin, P., Barrieu, F., Ollat, N., Delrot, S. 2010. Physiological and modelling approaches to understand water and carbon fluxes during grape berry growth and development: a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 70–85.

de la Fuente M., Linares R., Baeza P., Lissarrague J.R. 2007. Efecto del sistema de conducción en climas semiáridos sobre la maduración, composición de la baya y la exposición de los racimos en *Vitis vinifera* L. cv. Syrah. *Revista de Enología*, 4: 1-9.

de Orduña, R.M. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43: 1844–1855.

del Rio, J.L.P., Kennedy, J.A. 2006. Development of proanthocyanidins in *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir grapes and extraction into wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57: 125–132.

Diago, M.P., Vilanova, M., Tardáguila, J. 2010. Effects of timing of manual and mechanical early defoliation on the aroma of *Vitis vinifera* L. Tempranillo wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61 (3): 382-391.

Dobrowsky, S., Ustin, S., Wolpert, J. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertical shoot positioned vineyards: determining optical vegetation indices. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8: 117-125.

Dobrowsky, S., Ustin, S., Wolpert, J. 2003. Grapevine dormant pruning weight prediction using remotely sensed data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9: 177-182.

Downey, M., Harve, J., Robinson, S. 2004. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 55-73.

Edwards, E.J., Clingeleffer, P.R. 2013. Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(2): 261-276.

EEC (European Union Commission Regulation). 1990. Diario Oficial de la Unión Europea, L272. Reglamento Nº 2676/90 por el que se determinan los métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino.

Ewart, A., Kliewer, W.M. 1977. Effects of controlled day and night temperatures and nitrogen on fruit-set, ovule fertility, and fruit composition of several wine grape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28: 88–95.

Ferreira, V. 2007. La base química del aroma del vino: un viaje analítico desde las moléculas hasta las sensaciones olfato-gustativas. *Revista Real Academia de Ciencias Zaragoza*, 62: 7-36.

Filippetti, I., Allegro, G., Valentini, G., Pastore, C., Colucci, E., Intrieri, C. 2013. Influence of vigour on vine performance and berry composition of cv. Sangiovese (vitis vinifera L.). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 47(1): 21-33.

Fiorillo, E., Crisci, A., De Filippis, T., Di Gennaro, S. F., Di Blasi, S., Matese, A., Primicerio, J., Vaccari, F. P., Genesio, L. 2012. Airborne high-resolution images for grape classification: Changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(1): 80-90.

Fischer, A. 1994. A simple model for the temporal variations of NDVI at regional scale over agricultural countries. Validation with ground radiometric measurement. *International*

Journal of Remote Sensing, 15: 1421-1446.

Fournand, D., Vicens, A., Sidhoum, L., Souquet, J.M., Moutounet, M., Cheynier, V. 2006. Accumulation and extractability of grape skin tannins and anthocyanins at different advanced physiological stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 7331–7338.

Fulcrand, H., Atanasova, V., Salas, E., Cheynier, V. 2004. The fate of anthocyanins in wine: are there determining factors? En *Red Wine Color: Revealing the Mysteries*. Waterhouse, A. L., Kennedy, J. ACS Symposium Series 886. Ed. American Chemical Society, Washington.

Furby, S.L., Campbell, N.A. 2001. Calibrating images from different dates to “Like-Value” digital counts. *Remote Sensing of the Environment*, 77: 186-196.

Gao, L., Girard, G., Mazza, G., Reynolds, A.G. 1997. Changes in anthocyanins and color characteristics of Pinot noir wines during different vinification processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 2003-2008.

García-Escudero, E. 2006. El aclareo de racimos como herramienta adecuada para el manejo del potencial productivo en el cultivo de la vid. *La prensa del Rioja*, 161: 12-17.

Glories, Y. 1988. Anthocyanins and tannins from wine: organoleptic properties. *Progress in clinical and biological research*, 280: 123-134.

Glories, Y., Augustin, M. 1993. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. *Compte Rendu Colloque Journée Technique CIVB (Bordeaux)*: 56-61.

Godwin, R.J., Richards, T.E., Wood, G.A., Welsh, J.P., Knight, S.M. 2003. An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. *Biosystems Engineering*, 84: 533-545.

Gubler, W.D., Bettiga, L.J., Heil D. 1991. Comparisons of hand and machine leaf removal for the control of Botrytis bunch rot. *American Journal of Enology and Viticulture* 42: 233-236.

Guisard, Y., Tesic, D. 2006. Infrared thermography to evaluate stomatal conductance in grapevines: an overview of the method. *Australian grapegrower and winemaker*, 509: 29-32.

Hale, C.R. 1981. Interaction between temperature and potassium and grape acids. CSIRO division of horticultural research report, Glen Osmond: 87-88.

Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B. P., Louis, J. P. 2011. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. *Precision Agriculture*, 12(1): 103-117.

Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B., Louis, J. 2002. Optimal remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8 (1): 36-47.

Hardie W.J., Considine J.A. 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development *American Journal of Enology and Viticulture*, 27(2): 55-61.

Haselgrove, L., Botting, D., van Heeswijck, R., Hoj, P., Dry, P., Ford, C., Iland, P. 2000. Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6: 141-149.

Hernández-Hierro, J.M., Quijada-Morín, N., Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Rivas-Gonzalo, J.C., Escribano-Bailón, M.T. 2014. Relationship between skin cell wall composition and anthocyanin extractability of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo at different grape ripeness degree. *Food Chemistry*, 146: 41-47.

Hernández-Orte, P., Concejero, B., Astrain, J., Lacau, B., Cacho, J., Ferreira, V. 2014. Influence of viticulture practices on grape aroma precursors and their relation with wine aroma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. En prensa.

Huglin, P., Schneider, C. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Ed. Tec & Doc Lavoisier, Cachan.

Iland, P.G., Coombe, B.G. 1988. Malate, tartrate, potassium, and sodium in flesh and skin of Shiraz grapes during ripening: Concentration and compartmentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39: 71-76.

Iland, P.G., Gago, P. 2000. *Australian wine from the vine to the glass*. Ed, Patrick Iland Wine Promotions, Adelaide.

Iland P., Gago P. 2002. *Australian Wine: Styles and Tastes*. Ed. Patrick Iland Wine Promotions, Campbelltown.

IPCC 2007. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. Ed. Cambridge University Press, Cambridge.

Jackson, D.I., Lombard, P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44: 409-430.

Johnson, L., Lobitz, B., Armstrong, R., Baldy, R., Weber, E., DeBenedictis, J., Bosch, D. 1996. Airborne imaging aids vineyard canopy evaluation. *California Agriculture*, 50: 14-18.

Johnson, L.F. 2003. Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9:96-101.

Johnson, L.F., Bosch, D.F., Williams, D.C., Lobitz, B.M. 2001. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4): 557-560.

Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K. 2005. Climate change and global wine quality. *Climate Change*, 73: 319–343.

Jordan, D.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663-666.

Kazmierski, M., Glemas, P., Rousseau, J., Tisseyre, B. 2011. Temporal stability of within-field patterns of NDVI in non irrigated Mediterranean vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 45(2): 61-73.

Keller, M., Torres-Martinez, N. 2004. Does UV radiation affect winegrape composition? *Acta Horticulturae*, 640: 313–319.

Keller, M. 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 56-69.

King, P.D., Smart, R.E., McClellan, D.J. 2014. Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke's Bay, New Zealand. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(2): 234-246.

Kliewer, W.M. 1971. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 96: 372-377.

Kliewer, W.M., Dokoozlian, N.K. 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(2): 170-181.

Kliewer W.M., Lider L.A., Schultz H.B., 1967. Influence of artificial shading of vineyards on the concentration of sugar and organic acid in grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 18(2): 78-86.

Kliewer, W.M., Torres, R.E. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *American Journal of Enology and Viticulture*, 26: 71- 77.

Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., van Leeuwen, C. 2006. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 5077–5086.

Koundouras, S., Van Leeuwen, C., Seguin, G., Glories, Y. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 33: 149–160.

Kriedemann, P., Smart, R. 1971. Effect of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica*, 5: 6–15.

Lamb, D.W., Weedon, M.M., Bramley, R.G.V. 2004. Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 46- 54.

Lasanta, C., Caro, I., Gómez, J., Pérez, L. 2014. The influence of ripeness grade on the composition of musts and wines from *Vitis vinifera* cv. Tempranillo grown in a warm climate. *Food Research International*, 64: 432-438.

Lawless, H.T., Heyman, H. 1998. *Sensory evaluation of food, Principles and Practices*. Ed. Aspen Publishers, Gaithersburg.

Lyang, Z., Owens, C.L., Zhong, G.Y., Cheng, L. 2011. Polyphenolic profiles detected in the ripe berries of *Vitis vinifera* germplasm. *Food Chemistry*, 129: 940–950.

Llorens J., Gil E., Llop J., Escolà A. 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection*, 29(3): 239-248.

Lorenzo, C., Pardo, F., Zalacain, A., Alonso, L.G., Salinas, M.R. 2005. Effect of red grapes co-winemaking in polyphenols and color of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7609-7616.

López, R., Ferreira, V., Hernández, P., Cacho, J.F. 1999. Identification of impact odorants of young red wines made with Merlot, Cabernet Sauvignon and Grenache grape varieties: A comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 1461-1467.

Marais, J., Versini, G., Van Wyk, C., Rapp, A. 1992. Effect of region on free and bound monoterpene and C-13-norisoprenoid concentrations in Weisser Riesling wines. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 13: 71–77.

Martínez de Toda, F. 2005. Interés de la diversidad genética en la viticultura actual. Ed. Universidad de La Rioja, Logroño.

Martínez de Toda, F., Balda, P. 2013. Delaying berry ripening through manipulating leaf area to fruit ratio. *Vitis*, 52 (4): 171-176.

Martínez de Toda, F., Sancha, J. C., Zheng, W., Balda, P. 2014. Leaf area reduction by trimming, a growing technique to restore the anthocyanins: sugars ratio decoupled by warming climate. *Vitis*, 53 (4): 189-192.

Martínez de Toda, F., Tardáguila, J., Sancha, J.C. 2007. Estimation of grape quality in vineyards using a new viticultural index. *Vitis*, 46: 168-173.

Martínez de Toda, F. 2011. Claves de la viticultura de calidad. Nuevas técnicas de estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo. 2ª Edición. Ed. Mundiprensa, Madrid.

Martínez-Casasnovas, J.A., Bordes, X. 2005. Viticultura de precisión: Predicción de cosecha a partir de variables del cultivo e índices de vegetación. XI Congreso Nacional de Teledetección, 21-23 septiembre 2005. Puerto de la Cruz, Tenerife.

Martínez-Casasnovas, J.A., Agelet-Fernandez, J., Arnó, J., Ramos, M.C. 2012. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity

and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2): 326-337.

Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., Espinal-Utgés, S. 2009. Hillslope terracing effects on the spatial variability of plant development as assessed by NDVI in vineyards of the Priorat region (NE Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*: 1-18.

Martini, E., Comina, C., Priori, S. and Costantini, E. A. C. 2013. A combined geophysical-pedological approach for precision viticulture in the Chianti hills. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54 (2): 165-181.

Mazza, G. 1995. Anthocyanins in grapes and grape products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35: 341-371.

Mazetto, F., Calcante, A., Mena, A., Vercesi, A. 2010. Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. *Precision Agriculture*, 11(6): 636-649.

McNeill, J. D. 1980a. Electrical conductivity of soils and rocks. Technical note TN-5, 5–22. Ontario, Canada: Geonics Ltd. <http://www.geonics.com/pdfs/technicalnotes/tn5.pdf>.

McNeill, J.D. 1980b. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical note TN-6, 5-14. Ontario, Canada: Geonics Ltd. <http://www.geonics.com/pdfs/technicalnotes/tn6.pdf>.

Mendez-Costabel, M.P., Wilkinson, K.L., Bastian, S.E.P., McCarthy, M., Ford., C.M., Dokoozlian, N. 2013. *American Journal of Enology and Viticulture*, 64(4): 430-436.

Montero, F.J., Meliá, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., Lanjeri, S. 1999. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 40: 363-375.

Moran, M.S., Vidal, A., Troufleau, D., Qi, J., Clarke, T.R., Pinter, P.J., Mitchel, T.A., Inoue, Y., Neale, C.M.U. 1997. Combining multifrequency microwave and optical data for crop management. *Remote Sensing of Environment*, 61: 96-109.

Mori K., Sugaya S., Gemma H. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia Horticulturae*, 105(3): 319-330.

Mori K., Goto-Yamamoto N., Kitayama M., Hashizume K. 2007. Loss of anthocyanins in redwine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8): 1935-1945.

Munsell Color Chart. 1990. Munsell Soil Color Charts. Ed. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corp., Baltimore.

O.I.V. 1990. International analysis methods of wines and must. Paris.

Ortega-Regules, A., Romero-Cascales, I., Ros-García, J.M., López-Roca, J.M., Gómez-Plaza, E. 2006. A first approach towards the relationship between grape skin cell-wall composition and anthocyanin extractability. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2 SPEC. ISS.): 26-32.

Pearson, R.L., Miller, L.D. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee national grasslands, Colorado. *Proceedings 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Ann Arbor: 1357-1381.

Pereira, G.E., Gaudillere, J.P., Pieri, P., Hilbert, G., Maucourt, M., Deborde, C., Moing, A., Rolin D. 2006. Microclimate influence on mineral and metabolic profiles of grape berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(18): 6765-6775.

Pieri, P., Fermaud, M. 2005. Effects of defoliation on temperature and wetness of grapevine berries. *Acta Horticulturae*, 689: 109-116.

Pomar, F., Novo, M., Masa, A. 2005. Varietal differences among the anthocyanin profiles of 50 red table grape cultivars studied by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1094: 34-41.

Poni, S., Bernizzoni, F., Civardi, S., Libelli, N. 2009. Effects of pre-bloom leaf removal on growth of berry tissues and must composition in two red *Vitis vinifera* L. cultivars. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15: 185-193.

Price, S.F., Breen, P.J., Valladao, M. y Watson, B.T. 1995. Cluster sun exposure and quercetin in grapes and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46: 187- 194.

Priori, S., Martini, E., Biagi, M., Andrenelli, M.C., Magini, S., Agnelli, A.E., Natarelli, L., Bucelli, P., Comina, C., Pellegrini, S., Constantini, E.A.C. 2011. Improving wine quality through a harvest zoning based upon the combined use of proximal and remote sensing. *The Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing*, Montreal.

Proffitt, A.P.B., Pearse, B. 2004. Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, 491:40-44.

Proffitt A., Bramley, R., Lamb, D., Winter, E. 2006. *Precision Viticulture. A new era in vineyard management and wine production*. Ed. Winetitles. Adelaide.

Ramos, M.C., Jones, G.V., Martínez-Casasnovas, J.A. 2008. Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Climate Research*, 38: 1- 15.

Rapp, A., Mandery, H. 1986. Wine aroma. *Experientia*, 42: 873–884.

Reynolds, A.G., Schlosser, J., Sorokowsky, D., Roberts, R., Willwerth, J., De Savigny, C. 2007a. Magnitude of viticultural and enological effects. II. Relative impacts of cluster thinning and yeast strain on composition and sensory attributes of Chardonnay Musqué. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58: 25-41.

Reynolds, A.G., Senchuk, I.V., van der Reest, C., De Savigny, C. 2007b. Use of GPS and GIS for elucidation of the basis for terroir: spatial variation in an Ontario Riesling vineyard. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58: 145 - 162.

Ribéreau-Gayon, P. 1972. Évolution des composés phénoliques au cours de la maturation reet du Vin, 6: 161-175.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. 2006. *Tratado de Enología. 1. Microbiología del vino. Vinificaciones*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Ristic, R., Downey, M.O., Iland, P.G., Bindon, K., Francis, I.L., Herderich, M., Robinson, S.P. 2007. Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(2): 53-65.

Rodríguez-Pérez, J. R., Plant, R. E., Lambert, J. J., Smart, D. R. 2011. Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. *Precision Agriculture*, 12 (6): 775-794.

Rodríguez-Pérez, J.R., Riano, D., Carlisle, E., Ustin, S., Smart, R.E. 2007. Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58: 302-317.

Rolle, L., Río Segade, S., Torchio, F., Giacosa, S., Cagnasso, E., Marengo, F., Gerbi, V. 2011. Influence of grape density and harvest date on changes in phenolic composition, phenol extractability indices, and instrumental texture properties during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(16): 8796-8805.

Rossi, R., Pollice, A., Diago, M.P., Oliveira, M., Millán, B., Bitella, G., Amato, M., Tardáguila, J. 2013. Using an automatic resistivity profiler soil sensor on-the-go in precision viticulture. *Sensors*, 13: 1121-1136.

Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.S., Deering, D.W., Harlan, J.C. 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC final report, Greenbelt. 371 pp.

Rovira-Más, F., Sáiz-Rubio, V. 2013. Crop biometric maps: the key to prediction. *Sensors*, 13: 12698-12743.

Ruffner, H.P. 1982. Metabolism of tartaric and malic acids in *Vitis*: a review. Part B. *Vitis*, 21: 346–358.

Sadras, V.O., Stevens, R.M., Pech, J.M., Taylor, E.J., Nicholas, P.R., McCarthy, M.G. 2007. Quantifying phenotypic plasticity of berry traits using an allometric-type approach: A case study on anthocyanins and sugars in berries of Cabernet Sauvignon. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(2): 72-80.

Sadras, V.O. y Moran, M.A. 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(2): 115-122.

Salas, E., Fulcrand, H., Meudec, E., Cheynier, V. 2003. Reactions of anthocyanins and tannins in model solutions *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7951-7961.

Salas, E., Montserreat, D., Schwarz, M., Winterhalter, P., Cheynier, V., Fulcrand, H. 2005. Characterization of pigments from different high speed countercurrent chromatography wine fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4536-4546.

Santesteban, L. G., Guillaume, S., Royo, J. B., Tisseyre, B. 2013. Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? *Precision Agriculture*, 14(1): 2-17.

Scarlett, N.J., Bramley, R.G.V., Siebert, T.E. 2014. Within-vineyard variation in the “pepper” compound rotundone is spatially structured and related to variation in the land underlying the vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20: 214-222.

Schwarz, M., Picazo-Bacete, J.J., Winterhalter, P., Hermosín-Gutiérrez, I. 2005. Effects of copigmentos and grape cultivar on the color of red wines fermented after the addition of copigmentos. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (21): 8372-8381.

Schultz, H.R., Jones, G.V. 2010. Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21(2): 137-145.

Scollary, G., Iland, P. G., Rolley, L. 2008. What does vineyard variability mean to wine quality? *Australian Viticulture*, March/April: 76-81.

Smart, R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36: 230-239.

Smart, R.E., Robinson, M. 1991. Sunlight into de wine: A handbook for winegrape canopy management. Ed. Winetitles. Adelaide.

Song, J., Smart, R.E., Dambergs, R.G., Sparrow, A.M., Wells, R.B., Wang, H., Qian, M.C. 2014. Pinot Noir wine composition from different vine vigour zones classified by remote imaging technology. *Food Chemistry*, 153: 52-59.

Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C. 2002. Separation of sunlight and temperature on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53: 171-182.

Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy (11ª edición). Ed. USDA-National Resources Conservation Service, Washington.

Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadilas, C., Christofides C., Tsadila, E., Schepers J. 2006. Relation of ground-sensor canopy reflectance to biomass production and grape color in two Merlot vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57: 415-422.

Sttaford, J. 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76: 267- 275.

Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S., Gemtos, T. A. 2013. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture*, 14(1): 18-39.

Tagarakis, A., Koundouras, S., Papageorgiou, E.I., Dikopoulou, Z., Fountas, S., Gemtos, T.A. 2014. A fuzzy inference system to model grape quality in vineyards. *Precision Agriculture*, 15: 555-578.

Tarara, J.M., Lee, J., Spayd, S.E., Scagel, C.F. 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 235-247.

Taylor, J.A., Bates, T.R. 2013. Temporal and spatial relationships of vine pruning mass in Concord grapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(3): 401-408.

Taylor, J. A., Coulouma, G., Lagacherie, P., Tisseyre, B. 2009. Mapping soil units within a vineyard using statistics associated with high-resolution apparent soil electrical conductivity data and factorial discriminant analysis. *Geoderma*, 153 (1-2): 278-284.

Teixeira, A., Eiras-Dias, J., Castellarin, S.D., Gerós, H. 2013. Berry phenolics of grapevine under challenging environments. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9): 18711-18739.

Tisseyre, B., Mazzoni, C., Fonta, H. 2008. Whithin-field temporal stability of some parameters in viticulture: potential toward a site specific management. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42: 27-39.

Tou J.T., González, R.C. 1974. *Pattern Recognition Principles*. Ed. Addison-Wesley, Massachusetts.

Van Leeuwen, C., Seguin, G. 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17(1): 1-10.

Vilanova, M., Diago, M.P., Genisheva, Z., Oliveira, J.M., Tardaguila, J. 2012. Early leaf removal impact on volatile composition of Tempranillo wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(4): 935-942.

Webb, L.B., Whetton, P.H., Barlow, E.W.R. 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of grapevines in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13: 165–175.

Winkler, A.J., Cook, J. Kliewer, W.M., Lider, L.A. 1974. General viticulture. Ed. University of California Press, Berkeley.

Zarco-Tejada, P. J., Berjon, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., González, M.R., Frutos, A. 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of the Environment*, 99 (3): 271-287.

Zarrouk, O., Francisco, R., Pinto-Marijuan, M., Brossa, R., Santos, R.R., Pinheiro, C., Costa, J.M., Lopes, C., Chaves, M.M. 2012. Impact of irrigation regime on berry development and flavonoids composition in Aragonez (Syn. Tempranillo) grapevine. *Agricultural Water Management*, 114: 18-29.

