



VNiVERSiDAD D SALAMANCA

“USO DE MEDIDAS ESPECTRALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL VIÑEDO”

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Joaquín Aparicio Fernández de Gatta

Tutora: Dra. Nilda Sánchez Martín

Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno

Salamanca, febrero de 2015

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a mi maestra Nilda Sánchez, por guiarme en esta nueva senda, que es para mí la investigación científica, sin ella nada de esto hubiese sido posible. Gracias a profesores como ella, que nunca pierden la ilusión y se involucran en el aprendizaje de los alumnos, hacen grande esta Universidad. Te reitero en estas líneas mi gratitud y admiración hacia ti, me gustaría disculparme contigo por todas las horas que te he robado. Muchas gracias.

También querría agradecer a todo el grupo de investigación HIDRUS, liderado por D. José Martínez-Fernández, los datos facilitados para llevar a cabo el presente estudio. Ha sido fundamental el rigor de su trabajo, y su amplia trayectoria en el campo de la investigación agrícola.

Gracias a los análisis del grupo de investigación POLIFENOLES, en especial a M^a Teresa Escribano Bailón y a su equipo por la generosidad a la hora de compartir los análisis.

Tengo que agradecer al Grupo Pesquera, propietarios de la bodega “Dehesa la Granja”, por permitirnos tomar los datos en su viñedo y la amabilidad mostrada.

Querría dar las gracias a todos los profesores que han impartido clases en la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales por su dedicación a lo largo de estos años y por haberme enseñado una profesión tan bonita y vocacional como es la de Ingeniero Agrónomo.

Por último agradezco de corazón a toda mi familia su apoyo, en especial a mi madre que aunque ya no esté entre nosotros, desde que era un niño me inculcó la importancia de una buena formación académica. Gracias a mi padre por su esfuerzo y comprensión durante mi carrera universitaria, a mis hermanas por animarme en todo momento, y por último a mis amigos, sin todos ellos nada tendría sentido.

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
2	ESTADO DEL ARTE	11
2.1	INTRODUCCIÓN.....	11
2.2	ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN EL CAMPO DE INVESTIGACIÓN	14
2.2.1	AGUA Y VIÑEDO.....	14
2.2.2	ESPECTROSCOPIA Y VITICULTURA	15
2.2.3	CALIDAD DE LA UVA	18
3	ZONA DE ESTUDIO	20
3.1	LOCALIZACIÓN	20
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO.....	21
3.2.1	CLIMA.....	21
3.2.2	GEOLOGÍA	26
3.2.3	EDAFOLOGÍA	28
3.2.4	HIDROLOGÍA.....	29
3.2.4.1	Hidrología superficial	29
3.2.4.1	Hidrología subterránea.....	29
3.2.5	SECTOR VITIVINÍCOLA	30
3.2.5.1	Situación del mercado mundial.....	30
3.2.5.2	EL mercado español.....	31
3.3	VIÑEDO DE ESTUDIO	35
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
4.1	ESTIMACIÓN DE VARIABLES	39
4.1.1	AGROCLIMÁTICAS.....	42
4.1.1.1	Evapotranspiración (ETo).....	43
4.1.2	PLANTA.....	43
4.1.2.1	Medidas de Índice de área foliar (LAI)	43
4.1.2.2	Medidas de clorofila	45
4.1.2.3	Medidas del estado hídrico de la planta.....	46
4.1.2.4	Producción total de la cepa	46
4.1.3	UVA	47
4.1.3.1	Estudio detallado de la calidad tecnológica de uvas de la variedad Tempranillo.....	47
4.1.4	SUELO.....	48
4.1.4.1	Contenido de agua del suelo	48
4.1.5	MEDICIONES ESPECTRALES	49
4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	56
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
5.1	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MONITORIZADOS EN LA CAMPAÑA	57

5.1.1	<i>MEDIDAS A ESCALA DE HOJA</i>	57
5.1.1.1	Superficie foliar	57
5.1.1.2	Porcentaje de agua en las hojas.....	58
5.1.1.3	Clorofila.....	58
5.1.2	<i>MEDIDAS A ESCALA DE PLANTA</i>	59
5.1.2.1	LAI.....	59
5.1.2.2	Contenido de agua	60
5.1.2.3	Humedad del suelo	61
5.1.3	<i>MEDIDAS DE CALIDAD DE UVA</i>	63
5.1.4	<i>MEDIDAS ESPECTRALES</i>	63
5.1.4.1	NDVI y SAVI.....	63
5.1.4.2	WI.....	64
5.1.4.3	CAR Chap y Black	65
5.1.4.4	TCARI	66
5.1.4.5	CNDI.....	67
5.1.4.6	PRI.....	67
5.1.4.7	GREENNESS	68
5.2	CORRELACIONES ENTRE PARÁMETROS Y MEDIDAS ESPECTRALES.....	69
5.2.1	<i>RESULTADOS DE LAS MEDIDAS A ESCALA DE HOJA</i>	69
5.2.1.1	Superficie foliar y NDVI	70
5.2.2	<i>RESULTADOS DE LAS MEDIDAS A ESCALA DE CEPA</i>	72
5.2.2.1	LAI y NDVI.....	73
5.2.2.2	LAI y SAVI	75
5.2.2.3	LAI y TCARI.....	76
5.2.2.4	LAI y CNDI.....	77
5.2.2.5	Contenido de agua en la planta, NDVI y SAVI.....	78
5.2.2.6	Contenido de agua en la vid y TCARI.....	79
5.2.2.7	Humedad del suelo y PRI	80
5.2.3	<i>RESULTADOS DE LA MEDIDA DE HUMEDAD DEL SUELO</i>	81
5.2.4	<i>RESULTADOS DE CALIDAD DE LA UVA</i>	82
5.3	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	83
5.3.1	<i>CONCLUSIONES</i>	83
5.3.2	<i>PROPUESTAS DE MEJORA Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</i>	
	85	
6	REFERENCIAS	86

Índice de figuras

Figura 1. Usos del agua en España 2014	11
Figura 2. Evolución del viñedo (ha).	12
Figura 3. Evolución de las técnicas de mantenimiento en el viñedo (ha).	13
Figura 4. Longitud de onda de la luz.	16
Figura 5. Mayores influencias en las propiedades espectrales de la hoja viva.....	16
Figura 6. Distribución de los principales tipos de compuestos fenólicos en la uva.	19
Figura 7. Localización zona de estudio.	20
Figura 8. Diagrama ombrotérmico a partir de los datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica “Dehesa la Granja”, año 2013	21
Figura 9. Pluviometría media mensual (mm) de la serie histórica de Fuentesauco.	22
Figura 10. Pluviometría media mensual del año 2013(mm) estación meteorológica “Dehesa la Granja”.	22
Figura 11. Temperatura media mensual (°C) de la serie histórica de Fuentesauco.	23
Figura 12. Tª media mensual del año 2013 (°C) estación meteorológica “Dehesa la Granja”.....	23
Figura 13. Vientos dominantes de Fuentesauco.	25
Figura 14. Geología y leyenda.....	27
Figura 15. Hidrología superficial.....	29
Figura 16. Distribución del viñedo por CCAA (%).	32
Figura 17. Distribución de las variedades de uva en España.....	33
Figura 18. Evolución de las exportaciones de vino español.....	34
Figura 19. Línea de vides con sistema de riego por goteo.	35
Figura 20. Ciclo fenológico de la vid.	36
Figura 21. Estados fenológicos de la vid.....	38
Figura 22. Distribución de los perfiles y puntos de muestreo de las cepas	39
Figura 23. Vid “A” y “B” con el tubo de acceso N° 13.....	40
Figura 24. Estados fenológicos los días de las medidas espectrales de uva.....	40
Figura 25. Estados fenológicos del viñedo los días de las medidas espectrales de planta y hoja.	42
Figura 26. Estación meteorológica automática.....	42
Figura 27. Secuencia del cálculo del área foliar.....	45
Figura 28. Medidor de clorofila SPAD-502.	46
Figura 29. Vid 7A con los racimos, días antes de ser vendimiada.	47
Figura 30. Utilización de la sonda FDR en la zona de estudio.....	48
Figura 31. Regiones del espectro electromagnético.	49
Figura 32. Respuesta de las plantas a la energía electromagnética.	50
Figura 33. Firma espectral de una cubierta vegetal y del suelo.....	51
Figura 34. Reflectividad de la cepa 12 A.	52
Figura 35. Procedimiento de la medida con el espectrorradiómetro Ocean Optics USB4000.	52
Figura 36. Spectralon Labsphere	53
Figura 37. Evolución temporal de la superficie foliar en los perfiles N° 4, 5 y 6.	57

Figura 38. Evolución temporal del porcentaje de agua a escala de hoja en los perfiles N° 16 y 17.	58
Figura 39. Evolución temporal del contenido de clorofila en los perfiles N° 7, 8 y 9. ...	59
Figura 40. Evolución temporal del LAI en los perfiles N° 4, 5 y 6.	59
Figura 41. Evolución temporal del contenido de agua de las cepas en los perfiles N° 7, 8 y 9.	60
Figura 42. Evolución temporal del contenido de agua de las cepas en los perfiles N° 4, 5 y 6.	60
Figura 43. Precipitaciones de los últimos 5 años medidas en la estación meteorológica de “Dehesa la Granja”.	61
Figura 44. Representación gráfica de la precipitación, ET0 y ETc.	61
Figura 45. Evolución temporal y Punto de Marchitez de los perfiles N° 1, 5 y 17.	62
Figura 46. Evolución temporal y Punto de Marchitez del perfil N° 16.	62
Figura 47. Evolución temporal de NDVI en los perfiles N° 13, 14 y 15.	64
Figura 48. Evolución temporal de SAVI en los perfiles N° 13, 14 y 15.	64
Figura 49. Evolución temporal de WI en los perfiles N° 4, 5 y 6.	65
Figura 50. Evolución temporal de CAR Chap en los perfiles N° 4, 5 y 6.	65
Figura 51. Evolución temporal de CAR Black en los perfiles N° 4, 5 y 6.	66
Figura 52. Evolución temporal de TCARI en los perfiles N° 7, 8 y 9.	66
Figura 53. Evolución temporal de TCARI en los perfiles N° 16 y 17.	67
Figura 54. Evolución temporal de CNDI en los perfiles N° 7, 8 y 9.	67
Figura 55. Evolución temporal de PRI en los perfiles N° 4, 5 y 6.	68
Figura 56. Evolución temporal de GREENNESS en los perfiles N° 1, 2 y 3.	68
Figura 57. Serie temporal de la superficie foliar y NDVI en el perfil N°5.	71
Figura 58. Serie temporal de la superficie foliar y el NDVI en el perfil N° 13.	71
Figura 59. Serie temporal de LAI y NDVI en el perfil N° 10.	74
Figura 60. Serie temporal de LAI y NDVI en el perfil N°17.	74
Figura 61. Serie temporal de LAI y SAVI en el perfil N° 4.	75
Figura 62. Serie temporal de LAI y SAVI en el perfil N° 14.	75
Figura 63. Serie temporal de LAI y TCARI en el perfil N° 4.	76
Figura 64. Serie temporal de LAI y TCARI en el perfil N° 17.	76
Figura 65. Serie temporal de LAI y CNDI en el perfil N° 4.	77
Figura 66. Serie temporal de LAI y CNDI en el perfil N° 14.	77
Figura 67. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y NDVI en el perfil N° 14.	78
Figura 68. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y NDVI en el perfil N° 13.	78
Figura 69. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y SAVI en el perfil N° 13.	79
Figura 70. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y TCARI en el perfil N° 4.	79
Figura 71. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y TCARI en el perfil N° 17.	80
Figura 72. Serie temporal de la humedad el suelo y PRI en el perfil N° 2.	80
Figura 73. Humedad del suelo en los perfiles.	81

Índice de tablas

Tabla 1. Evolución de la superficie de viñedo según tipos de riego (ha).....	12
Tabla 2. Número medio mensual de días de heladas para la estación de Fuentesauco. .	24
Tabla 3. Número medio mensual de días de nieve de la serie histórica para la estación de Fuentesauco.	24
Tabla 4. Número medio mensual de días de niebla para la estación de Fuentesauco. ...	24
Tabla 5. Vientos dominantes de Fuentesauco.	25
Tabla 6. Composición granulométrica de los perfiles.	28
Tabla 7. Evolución de los consumos de vino en la UE.	31
Tabla 8. Fechas y estados fenológicos en los que se recogieron las muestras de las hojas para calcular el LAI.	44
Tabla 9. Recopilación de los índices estudiados en el proyecto.....	54
Tabla 10. Resumen de las variables enológicas analizadas.....	63
Tabla 11. Resultados de las correlaciones observadas a escala de hoja.	70
Tabla 12. Resultados de las correlaciones observadas a escala de cepa.....	72
Tabla 13. Clasificación textural de los perfiles y Punto de Marchitez.	81

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En nuestro planeta, en el que el agua es un bien escaso, resulta tremendamente importante adelantarse a las necesidades de la población y poder ser capaces de gestionar el agua de una manera más racional, haciendo un uso más eficiente. Las zonas mediterráneas constituyen un medio especialmente frágil, donde determinadas modificaciones ambientales pueden entrañar consecuencias notables en la gestión y el manejo de la cubierta vegetal y los suelos y, como consecuencia de todo ello, cambios en la disponibilidad de agua. El conocimiento del estado hídrico del suelo y de la vegetación es fundamental para llevar a cabo una correcta gestión de los ecosistemas naturales y de las tierras agrícolas. La determinación de la cantidad de agua disponible en cada tipo de suelo y ambiente, el análisis de valores de humedad especialmente significativos para las plantas, la constatación del estado hídrico de la vegetación, y la identificación de los periodos críticos y del nivel de estrés hídrico, resultan de un interés fundamental para llevar a cabo una gestión adecuada del agua y de los suelos de un territorio, así como de su utilización agrícola.

El funcionamiento hidrológico de los suelos de los viñedos mediterráneos es importante durante todo el ciclo vegetativo, y particularmente en el verano, cuando la calidad del vino se va a ver especialmente afectada por la disponibilidad de agua, ya que la escasez e irregularidad de las precipitaciones hacen imposible su previsibilidad. Es por ello que las técnicas no invasivas para la monitorización del viñedo, usando datos hiperespectrales, pueden mejorar los métodos tradicionales para determinar el estado hídrico del viñedo (Rodríguez-Pérez et al., 2007). De tal modo que es factible su uso para el manejo hídrico de dicho cultivo, ejemplo de ello es el índice Water Index (WI) como indicador del estado hídrico del viñedo, pues aporta información fiable aun cambiando los años, y por tanto las condiciones (Serrano et al., 2010).

Este estudio pretende analizar la capacidad de los índices hiperespectrales para estimar características biofísicas de la vid y como indicadores del estado de estrés hídrico del viñedo. Se pretende determinar de una forma novedosa condiciones y fisonomía del viñedo, tales como el estrés hídrico y parámetros de la planta y la hoja, a través de la utilización de indicadores espectrales y métodos indirectos. Para ello se monitoriza el viñedo a escala de planta en las diferentes fases del ciclo vegetativo.

La idea del trabajo es analizar y discutir el empleo de índices hiperespectrales, directamente relacionados con las características biofísicas de la vid, como potencial alternativa para evaluar y monitorizar el estado hídrico de la planta y su repercusión en la producción y calidad de la uva.

Además de las medidas espectrales, el trabajo se completó con observaciones de parámetros de las plantas durante el ciclo vegetativo, como índice de área foliar (LAI), contenido de clorofila y porcentaje de agua en las plantas, entre otros, que permitieron establecer relaciones entre el estado del suelo, el estado de la planta y la respuesta espectral, que en última instancia se pretende vincular a la producción y vinificación. La

combinación de las observaciones conjuntamente con los índices espectrales puede ayudar a definir el estado hídrico con un método menos costoso a escala de planta. La ingente cantidad de observaciones de índices espectrales, LAI y fPAR junto con las del estado hídrico de la planta y del suelo, podría permitir establecer un marco empírico consistente para relacionar estos parámetros entre sí, y estudiar su repercusión en la producción y en la calidad del fruto. La caracterización del vector suelo-agua-planta-fruto bajo condiciones climáticas semiáridas mediterráneas conforma el objetivo global de este trabajo.

El estudio se llevó a cabo durante la campaña vitivinícola del año 2013, en la zona de la Guareña, concretamente en el viñedo perteneciente al Grupo Pesquera, “Dehesa la Granja”, perteneciente al término municipal de Vadillo de la Guareña (Zamora). El viñedo está formado 100 ha de variedad Tempranillo (Tinta del País) en espaldera y dotadas con riego por goteo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

El alto consumo de agua en la agricultura (figura 1), requiere una reducción por la vía de la eficiencia, y por ello resulta tremendamente importante saber cuáles son las necesidades hídricas de cada cultivo y cuanta agua hay disponible en el suelo para poder ser aprovechada por las plantas.

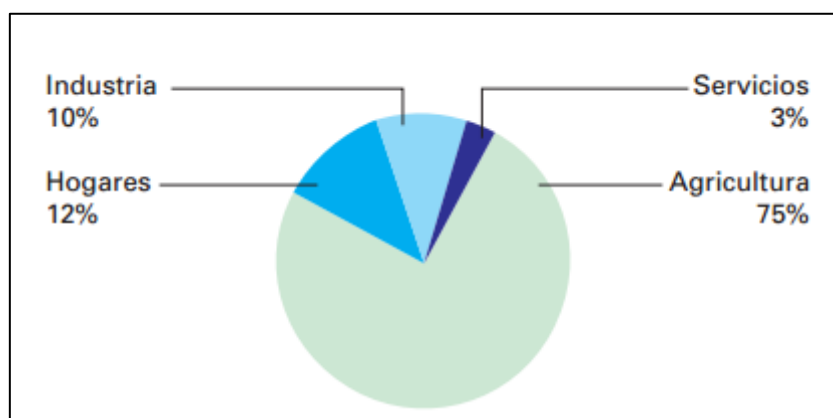


Figura 1. Usos del agua en España 2014

Fuente: Ministerio de Fomento CEDEX.

La mayoría de estudios sobre evolución climática en España muestran un incremento claro de la temperatura (Abaurrea et al., 2007, Del Río et al., 2011, López-Moreno et al., 2011). Este aumento de la temperatura lleva implícita una tendencia positiva en la evapotranspiración (Gallart et al., 2011, López-Moreno y Vicente-Serrano, 2008) y, por tanto, tiene un impacto directo sobre la disponibilidad de agua.

El viñedo se ve afectado por estos procesos debido a su localización mayoritaria en regiones de condiciones mediterráneas o próximas a ellas, siempre con sequía estacional, en donde el déficit hídrico es una característica esencial, le convierte en un cultivo especialmente expuesto a determinados cambios ambientales (Chaves et al., 2010) y, especialmente, al cambio climático. De hecho, en las últimas décadas la mayoría de las regiones productoras de vino de alta calidad experimentaron un incremento de la temperatura durante el ciclo vegetativo del viñedo (Jones et al., 2005)

Las viñas con mayor potencial para producir vinos de calidad se desarrollan en climas o suelos que proporcionan un aporte de agua menor que la evapotranspiración potencial (Seguin, 1983). Sin embargo, el debate sobre la influencia del estrés hídrico en la producción vinícola está muy lejos de concretarse puesto que se obtienen vinos de calidad en diferentes climas, con diferentes temperaturas, radiación y precipitación,

además de con diversas prácticas vitivinícolas, es imposible definir las mejores condiciones para obtener estos vinos (Van Leeuwen y Seguin, 2006).

Por otra parte, el viñedo en los últimos años se ha caracterizado por ser uno de los cultivos donde mayoritariamente se han venido implantando sistemas de riego localizado. Muchas de las viñas cultivadas en ambientes semiáridos y bajo clima mediterráneo, con limitaciones de precipitación y altas tasas de evaporación en los periodos secos, son regadas eventualmente en algún momento de su ciclo vegetativo. Desde el año 2005 este sistema se ha implantado en 63.500 ha.

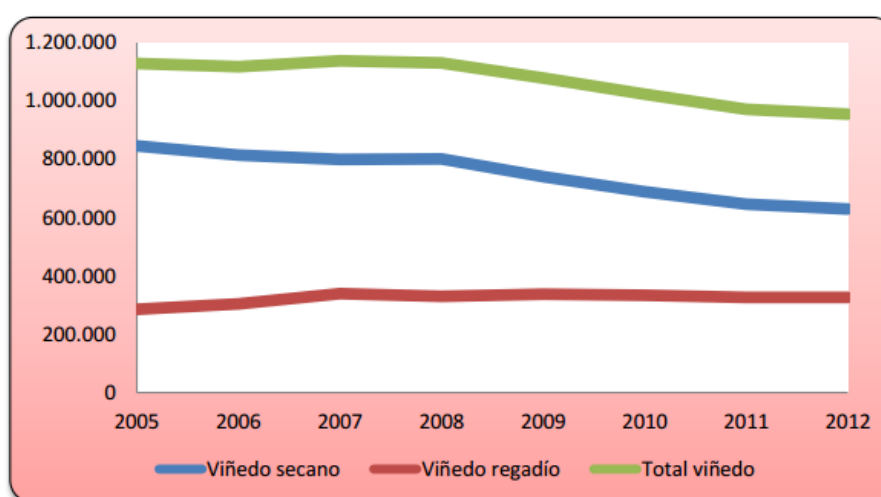


Figura 2. Evolución del viñedo (ha).

Fuente: (MAGRAMA, 2012)

El riego por gravedad ha descendido más de la mitad de superficie que ocupaba en el año 2005 (figura 2). Solo en el último año 2012 ha descendido un 14,5% respecto al año precedente. Los sistemas de aspersión y automotriz están en claro descenso en el viñedo, sobre todo el segundo, en desuso prácticamente (tabla 1).

Tipos de Regadío	Superficie (ha)								Variaciones (%)	
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2012/11	2012/Prom. 05-11
Gravedad	15.965	10.370	7.364	7.829	6.533	7.529	7.592	6.470	-14,8%	-28,3%
Aspersión	16.860	15.212	15.951	18.427	14.962	12.989	9.496	9.680	1,9%	-34,8%
Automotriz	3.619	3.430	1.965	1.191	664	562	53	6	-88,5%	-99,6%
Localizado	245.588	271.726	306.780	301.594	314.079	311.992	307.822	309.087	0,4%	5,1%
Sin información	2.339	2.954	6.596	864	798	388	387	341	-12,0%	-83,4%

Tabla 1. Evolución de la superficie de viñedo según tipos de riego (ha).

Fuente: (MAGRAMA, 2012)

Otro cambio de tendencia en las prácticas culturales de los viticultores españoles, es el amplio ejercicio del laboreo mínimo, siendo a día de hoy la principal técnica de mantenimiento del suelo utilizada en España en el año 2012, lo que representa el 66,4% de la superficie total del viñedo (figura 3). A continuación, y a gran distancia, se sitúa el laboreo tradicional (22,8%). El resto de cubiertas solo están presentes en el 10,7% de la superficie de viñedo.

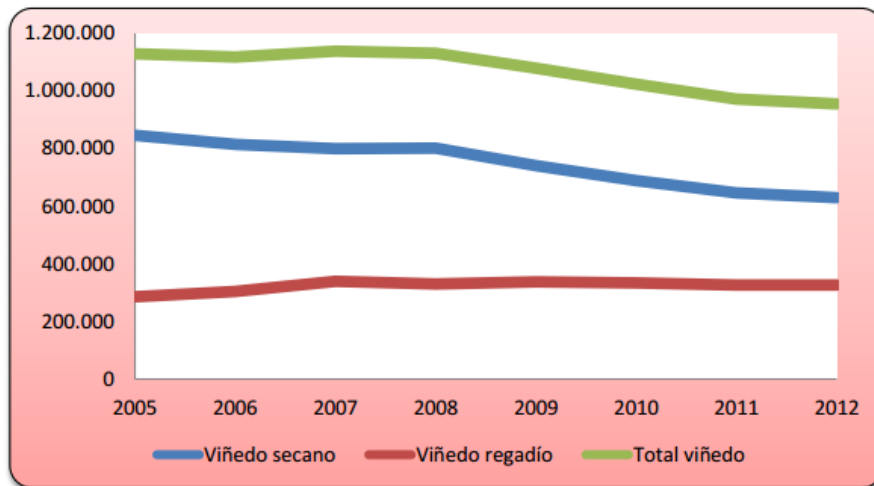


Figura 3. Evolución de las técnicas de mantenimiento en el viñedo (ha).

Fuente: (MAGRAMA, 2012)

Determinadas condiciones ambientales (clima y suelo), y particularmente la disponibilidad de agua, influyen en la composición y calidad de la uva (Deloire et al., 2004, Van Leeuwen y Vivin, 2008).

A pesar de la compleja interacción entre los diferentes factores ambientales, hay consenso en aceptar que la disponibilidad de agua y el consecuente estado hídrico de las vides son determinantes en la maduración y composición del fruto (Medrano et al., 2003, Deloire et al., 2004, Koundouras et al., 2006, Van Leeuwen y Seguin, 2006, Chaves et al., 2010).

Los cambios que se producen en el estado hídrico, particularmente durante los estados críticos del ciclo fenológico de la planta, tienen un efecto directo en su crecimiento vegetativo, en el microclima que genera la planta y en su crecimiento y metabolismo (Serrano et al., 2012). Además, se relaciona el estado hídrico con aspectos clave como la concentración de azúcar (Van Leeuwen et al., 2009), la fotosíntesis (Flexas et al., 2002), o el tamaño del fruto (Ojeda et al., 2001), entre otros.

2.2 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN EL CAMPO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1 AGUA Y VIÑEDO

El contenido hídrico depende del clima (precipitación y temperatura) y de la capacidad de almacenamiento de agua (Seguin, 1996). En secano, el tamaño de la baya decrece y el total de compuestos fenólicos se incrementa cuando las vides tienen un cierto estrés hídrico, lo que se refleja en una mayor calidad y mayor potencial para vino tinto. Estos efectos fueron confirmados por Matthews y Anderson (1988) y por Ojeda et al. (2002).

Para conocer el estado hídrico de los suelos del viñedo y su relación con ciertos parámetros de la uva y del vino, los trabajos realizados hasta ahora han tenido en cuenta diferentes metodologías (Van Leeuwen y Vivin, 2008). En algún caso (Constantini et al., 2009) se ha recurrido a la utilización de modelos hidroedáficos, basados en características de los suelos y atributos del terreno. En otros casos, como Acevedo-Opazo et al. (2008), se ha utilizado información espacial de alta resolución a partir de imágenes obtenidas mediante sensores aerotransportados, para llevar a cabo una zonificación del estado hídrico del viñedo. Diversos autores determinan dicho estado a partir de las condiciones de la vid, sin tener en cuenta las condiciones hidrológicas del suelo, utilizando indicadores como el potencial hídrico foliar como hiciesen Schultz (1996) o Choné et al. (2001).

Otro enfoque fue dado por Matthews y Anderson (1988), quienes llevaron a cabo un estudio sobre el papel del déficit hídrico en la maduración de la uva, mediante riego controlado, gracias a la aplicación de diferentes dosis de agua y la medición del potencial hídrico foliar. Van Leeuwen et al. (2001) usaron un balance de agua y análisis isotópico. Ramos y Martínez-Casasnovas (2010) y Serrano et al. (2012) calculan un balance de agua simple para determinar la cantidad de agua presente en el suelo, basado únicamente en variables meteorológicas, con un enfoque similar al del cálculo de la reserva hídrica del suelo o índice de sequía de Tonietto y Carbonneau (2004).

La mayoría de los estudios en los que se incluye la monitorización del contenido de agua del suelo en viñedo están relacionados con el control de la irrigación (Zhou et al., 2008), como es el caso de las prácticas de déficit controlado de Lopes et al. (2011). Sin embargo, son escasos los estudios realizados en los que el análisis de parámetros del estado hídrico de la vid va unido a una monitorización del contenido de agua del suelo. El trabajo realizado por Oke et al. (2007) es un ejemplo de ello, aunque en este caso solamente se midió la humedad superficial del suelo.

En otras ocasiones se han realizado estudios sobre estrés hídrico de la vid controlando el contenido de agua edáfica, como el llevado a cabo por Pellegrino et al. (2005), si bien en este caso se trataba de un trabajo exclusivamente en invernadero. En un artículo reciente, Ramos y Martínez-Casasnovas (2010) estudian un viñedo del Penedés en el

que se midió durante doce años la humedad del suelo con TDR (*Time Domain Reflectometry*) en tres puntos, hasta 80 cm de profundidad, y únicamente relacionan el contenido en agua edáfica antes del envero con la productividad de la vid. Zhang et al. (2011) estudian la dinámica de flujo de savia de un viñedo regado en una región árida al NE de China y hacen mediciones periódicas del contenido de agua del suelo, mediante el método gravimétrico. Por último, recientemente, Rogiers et al. (2012) han llevado a cabo un estudio en el que, si bien no se analiza el estado hídrico del viñedo, se investiga la relación entre la respuesta estomática, la demanda evaporativa (en términos de déficit de vapor), la humedad del suelo disponible y el ácido abscísico, y se hacen mediciones del contenido de agua del suelo hasta un metro de profundidad en diversos viñedos australianos irrigados.

2.2.2 ESPECTROSCOPIA Y VITICULTURA

La estimación de parámetros de la vegetación y la monitorización de procesos y estados en las coberturas vegetales a partir de observaciones remotas ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, gracias a la creciente disponibilidad de sensores e imágenes desde nuevas plataformas espaciales; así como a un más fácil acceso a sistemas aerotransportados. Pese a su desarrollo, todavía existen limitaciones, como la resolución espectral (número de bandas que son capaces de registrar) o la resolución espacial (tamaño del píxel de las imágenes en el terreno).

El enorme interés que ha suscitado este campo hace que sea inabordable recoger todos los trabajos que analizan coberturas agrícolas mediante datos extraídos de las imágenes aplicando métodos empíricos, estadísticos, modelos físicos o matemáticos, etc. Una visión general y actualizada de la sinergia entre teledetección y vitivinicultura es recogida por Johnson et al. (2012). Las aplicaciones con imágenes remotas son numerosas, a pesar de la exigencia de una resolución espacial suficiente para discriminar las plantas (Campos et al., 2010, Johnson y Trout, 2012, Martínez-Casasnovas et al., 2012). Por ello, cada vez es más frecuente el uso de sensores aerotransportados (Acevedo-Opazo et al., 2008, Hall et al., 2011, Barmaley y Williams, 2001), espectrorradiometría de campo Rodríguez-Pérez et al. (2007) o combinación de ambos (Zarco-Tejada et al., 2005).

Las plantas captan la energía electromagnética derivada del sol para convertirla en materia, a la vez que reflejan buena parte de ella (figura 4). La forma en que lo hacen depende de los parámetros que las caracterizan en cada momento (contenido de clorofila, nitrógeno, altura, área foliar, contenido de agua, etc.). De esta forma, el registro de la energía reflejada permite el estudio y estimación de esos parámetros y variables. La estimación indirecta, que no implica métodos destructivos en la planta, puede también basarse en la observación de la respuesta espectral de las plantas (a escala de hoja, planta o dosel) observada mediante sensores portátiles de alta capacidad y resolución espectrales, los llamados espectrorradiómetros y radiómetros.

Es un campo relativamente menos explotado en teledetección debido a su alto coste, y no presenta la ventaja de registrar la energía en forma de imágenes, con un componente espacial, sino en medidas puntuales. Pero los espectrorradiómetros cuentan con una gran resolución espectral, que permite la utilización de diferentes ventanas espectrales según la variable que se quiera caracterizar o monitorizar. El espectro de reflectividad presenta zonas de absorptividades y reflectividades típicamente relacionadas con algunos parámetros vegetales. Por ejemplo, de manera general, los pigmentos de la planta se relacionan tradicionalmente con el visible (figura 4) (Blackburn, 1998b, Zarco-Tejada et al., 2001, Gitelson et al., 2003), o la zona del red-edge (Tarpley y Sassenrath-Col, 2000); la actividad vegetativa y la producción con el infrarrojo cercano, (Hunsaker et al., 2003, Doraiswamy et al., 2004), mientras que el contenido de agua se suele relacionar con las zonas de absorción del infrarrojo medio (figura 5), lejano o térmico (Jackson et al., 1977, Gao, 1996, Ceccato et al., 2002, Fensholt y Sandholt, 2003).

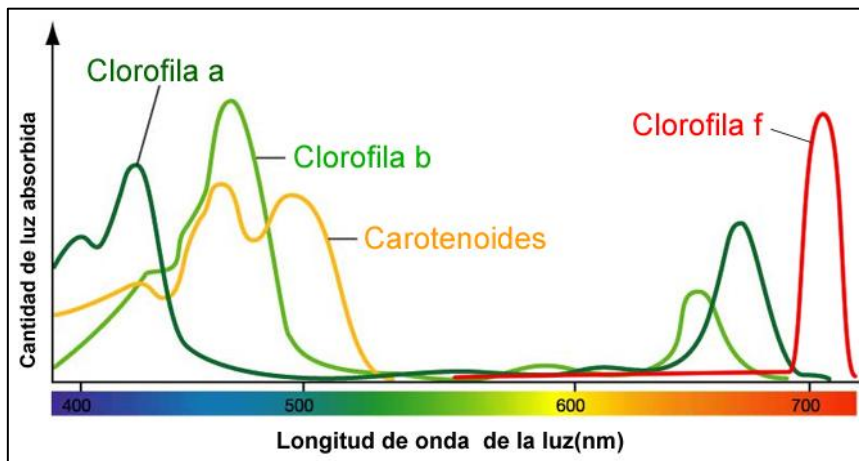


Figura 4. Longitud de onda de la luz.

Fuente: Rubén Hernández Gil.

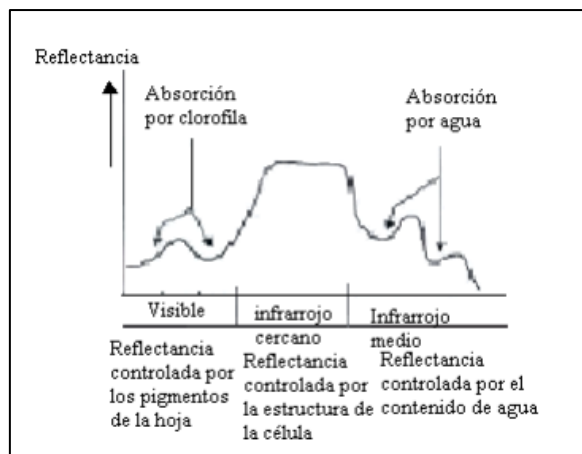


Figura 5. Mayores influencias en las propiedades espectrales de la hoja viva.

Fuente: Biblioteca UDEP.

La relación del espectro visible e infrarrojo cercano con el contenido de agua ha sido poco estudiada respecto a la vegetación (Gao, 1996, Peñuelas et al., 1997) y menos aún en cuanto al contenido de agua en el suelo (Adegoke y Carleton, 2002, Wang et al., 2007). Sin embargo, el vigor de la planta está íntimamente relacionado con la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que índices espectrales que describen el vigor, como el *Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI (Rouse et al., 1974), pueden proporcionar información relevante sobre restricciones de agua en la viña (Acevedo-Opazo et al., 2008). Además, estas relaciones apenas se han estudiado a escala de planta, por lo que su estudio es uno de los desafíos del presente trabajo.

Los índices o ratios entre las bandas del visible y el infrarrojo, entre otros métodos, permiten destacar esas discontinuidades y cambios, y relacionarlos con el estado y características de la planta. Existen infinidad de índices y formulaciones, básicamente fundamentadas en la relación de dos o más bandas, pero no todos se han utilizado en el contexto de la vitivinicultura (Zarco-Tejada et al., 2005, Serrano et al., 2012). Índices como el *Red Green Index* (Gamon y Surfus, 1999), el *Structural Independent Pigment Index*, SIPI (Peñuelas et al., 1994) se han relacionado con el potencial hídrico a escala de dosel (Serrano et al., 2012). El *Water Index*, WI (Serrano et al., 2010) con la conductividad estomática; e índices de clorofila como el *Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index*, TCARI (Haboudane et al., 2004), el *Chlorophyll Index* (Gitelson y Merzlyak, 1994), el *Photochemical Reflectance Index*, PRI (Gamon et al., 1992) o el *Greenness Index* han sido correlacionados con este y otros pigmentos, junto con el contenido de nitrógeno. Otros índices más conocidos en el ámbito del visible e infrarrojo como el *Triangular Vegetation Index*, TVI (Broge y Leblanc, 2000), el *Soil-Adjusted Vegetation Index*, SAVI (Huete, 1988), o el *Enhanced Vegetation Index*, EVI (Huete et al., 2002) han sido relacionados con la producción de fruto y su calidad (Johnson et al., 2001, Hall et al., 2002).

Por otra parte, los parámetros de vegetación que se pretenden observar y monitorizar están fuertemente relacionados, y algunas de esas relaciones han sido ya descritas, para coberturas de otro tipo de cultivos por Sánchez et al. (2012), entre otros. Se ha comprobado, por ejemplo, que existe linealidad entre LAI, NDVI y coeficiente de cultivo, y que el NDVI está correlacionado con la biomasa, la estructura de la cubierta y el contenido de clorofila foliar. En combinación con otros índices como el PRI, el NDVI es un estimador de la eficiencia fotosintética del dosel vegetal, proporcionando una idea de la estructura del dosel y su función fisiológica, que son los componentes clave de la productividad de la cubierta vegetal. También la relación de NDVI, fPAR (*fraction of Photosynthetically Active Radiation*) y LAI (*Leaf Area Index*) ha sido demostrada en numerosos estudios, siendo más fuerte entre NDVI y fPAR que entre NDVI y LAI (Myneni et al., 2002, Fensholt et al., 2004), aunque las relaciones pueden diferir según la fisiología de cada especie. El reto consiste en verificar esas relaciones para una cobertura tan compleja como es el viñedo.

Por todo ello el estudio de las relaciones entre características espectrales y otras variables de cada especie constituye un campo de investigación en expansión.

Las condiciones hídricas de la planta se analizan frecuentemente a partir de la medición del potencial hídrico foliar, normalmente antes del amanecer. Este enfoque se ha utilizado en multitud de trabajos y para una gran diversidad de especies, y ha sido especialmente frecuente en el caso de la vid (Medrano et al., 2003, Antolín et al., 2006, Giorio et al., 2007, Poni et al., 2007, Williams y Baeza, 2007, Zsófi et al., 2008, Rogiers et al., 2009, Santesteban et al., 2009, Vandeleur et al., 2009, Chaves et al., 2010, Serrano et al., 2010). Esta circunstancia le ha conferido una estandarización que la convierte en la variable imprescindible para caracterizar el estado hídrico de la vid.

2.2.3 CALIDAD DE LA UVA

El calentamiento global y la alteración de los patrones de precipitación que prevén los estudios sobre cambio climático van a tener una incidencia muy importante sobre el viñedo español. De hecho, algunos viticultores y enólogos ya han podido constatar algunos efectos en vendimias especialmente cálidas. Se ha observado un considerable desfase entre la madurez en el contenido en azúcares, más temprana y la madurez fenólica (y también aromática), más tardía. Además, el desfase entre una y otra podría ser todavía mayor conforme el cambio climático progresa, dando como resultado vinos desequilibrados, demasiado amargos y/o astringentes y con colores pobres o irregulares (Mira de Orduña, 2010).

La madurez fenólica es un concepto difícil de concretar que desde las últimas décadas atrae con fuerza el interés de profesionales e investigadores. Podría definirse como el estado en el cual las uvas contienen suficientes compuestos fenólicos en cuanto a cantidad y calidad. En las uvas, los compuestos fenólicos están localizados principalmente en los hollejos y las semillas, (figura 6) desde donde son extraídos durante el proceso de vinificación. Estos compuestos son los principales responsables de las características sensoriales del vino como el color y la astringencia (Arnold y Noble, 1978, Robichaud y Noble, 1990, Ribéreau-Gayon et al., 1983) Entre los compuestos fenólicos, encontramos tres tipos de flavonoides especialmente relevantes desde el punto de vista organoléptico: los antocianos, los flavonoles y los flavanoles. Estos compuestos participan en la calidad del vino, donde actúan como compuestos clave en la definición del color, de la astringencia y del amargor. Los ácidos fenólicos y los taninos hidrolizables extraídos de las barricas, también pueden tener influencia en el sabor y color del vino.

Los pigmentos antociánicos se localizan en los hollejos de la uva, con excepción de algunos cultivares tintoreros que también los contienen en la pulpa. Los antocianos de *Vitis vinifera* L. son principalmente: 3-O-glucósidos de antocianidinas, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina y sus correspondientes derivados acilados. Estos compuestos son cedidos desde los hollejos durante la maceración y son los principales responsables del color de los vinos jóvenes. Los antocianos son estructuralmente dependientes de las condiciones y la composición del medio donde se

encuentran disueltos y sufren interacciones con otros compuestos que influyen su equilibrio estructural y modifican su color.

Los flavonoles son pigmentos amarillos encontrados principalmente en los hollejos de la uva (figura 6), (Cheynier y Rigaud, 1986) aunque también han sido detectados en la pulpa (Pereira et al., 2006). La acumulación de estos compuestos en las uvas depende de su exposición a la luz (Downey et al., 2004, Spayd et al., 2002) en consonancia con su papel como protectores frente a la radiación UV (Cortell et al., 2005a, Castillo-Muñoz et al., 2007).

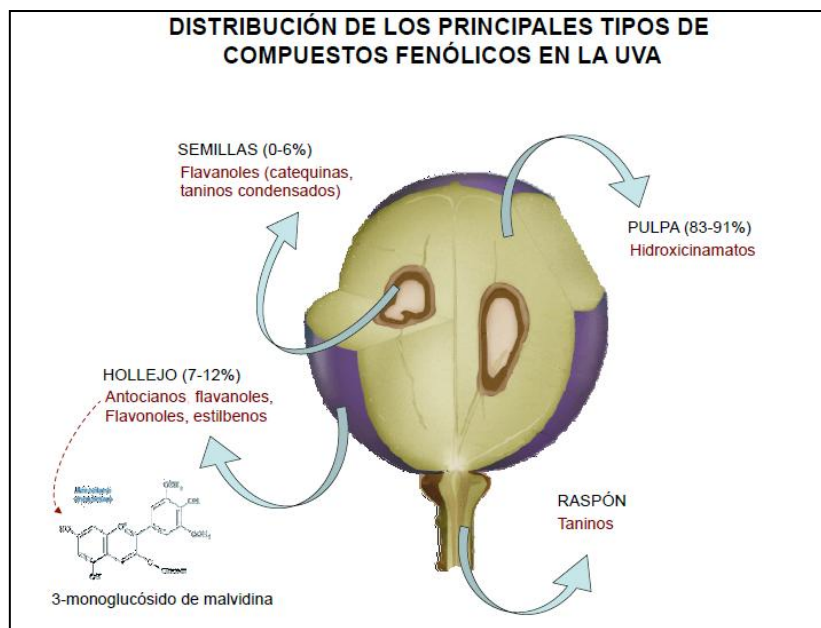


Figura 6. Distribución de los principales tipos de compuestos fenólicos en la uva.

Fuente: Documentación de asignaturas, M^a Teresa Escribano.

Diversos estudios han puesto de manifiesto que los cambios en el estatus hídrico del viñedo a lo largo de los distintos estados fenológicos tiene efecto directo en la composición y en la calidad de la uva, y por consiguiente, en los atributos sensoriales del vino (Kennedy et al., 2002, Cavaliere et al., 2010). Las deficiencias hídricas antes de la floración provocan una reducción del tamaño de la baya y pueden afectar a la biosíntesis de los flavonoides de forma diferente a las deficiencias en post-verano. No obstante, en la bibliografía se encuentran resultados contradictorios en relación a cómo se ve afectada la composición de la uva, que pueden estar relacionados con la precisión de la monitorización del estatus hídrico del viñedo (Bindon et al., 2011).

3 ZONA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

El viñedo donde se desarrolla el proyecto se encuentra en el municipio de Vadillo de la Guareña, al SE de la provincia de Zamora en la CCAA de Castilla y León, España (figura 7). Pertenece a la explotación “Dehesa la Granja”, propiedad del Grupo Pesquera.

La localización por coordenadas es, 41° 18' 26,25" N y 5° 21' 44,96" W.

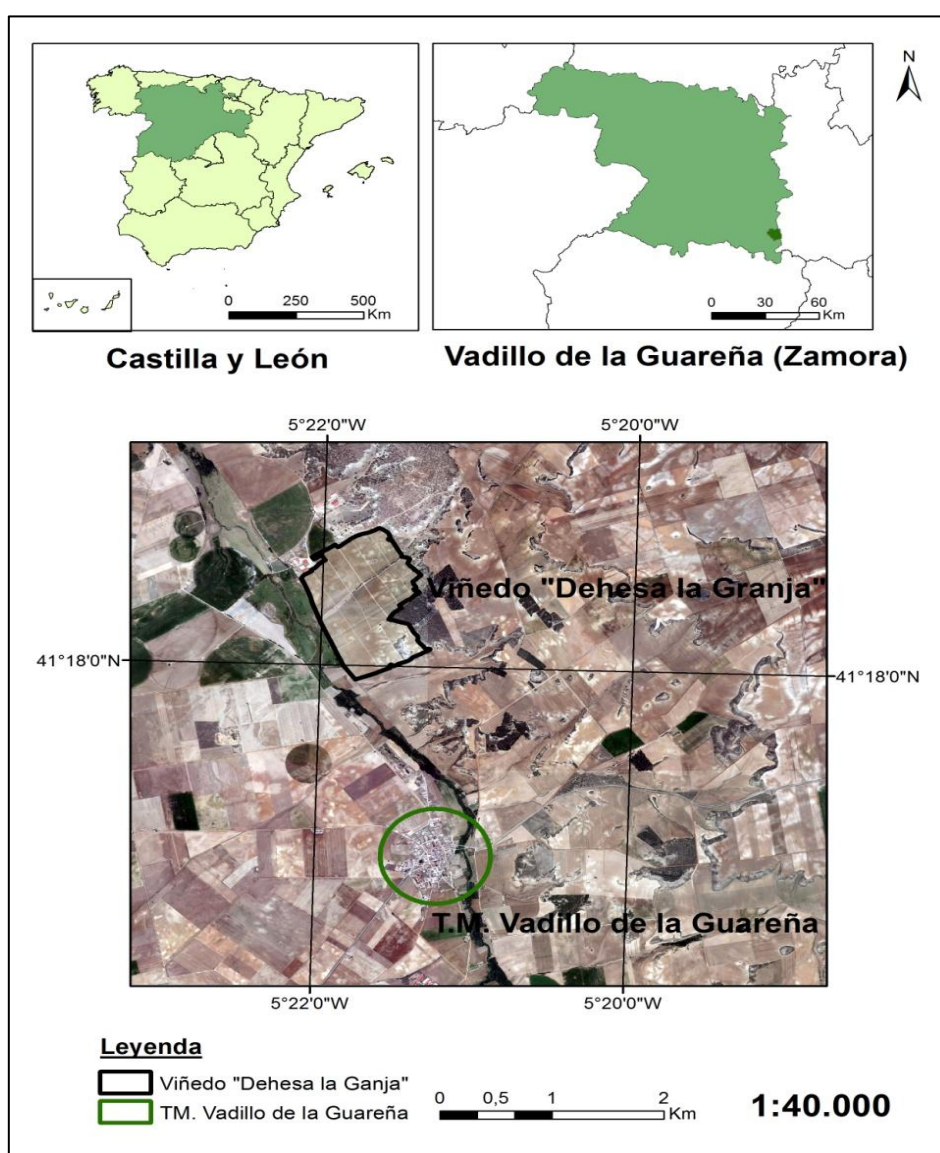


Figura 7. Localización zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de la ortofoto del ITACyL de 2011.

La parcela de estudio dista 4 km del casco urbano de Vadillo de la Guareña. El río Guareña, que da nombre al municipio, recorre la zona de estudio. Esta zona se caracteriza por ser eminentemente agrícola aunque hay explotaciones ganaderas en la comarca. Está dentro de una zona catalogada como ZEPA (Zona de Especial Protección para las aves).

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

3.2.1 CLIMA

Clasificación climática

Los datos que se utilizan para la caracterización climática de la zona de estudio proceden de una estación meteorológica automática propia situada en la zona de estudio (5.365965 E, 41.312139 N), que proporciona datos desde 2007. La evapotranspiración (figura 8) aumenta en los meses de más calor y con reservas hidrológicas ya sea en la planta o en el propio suelo. La evapotranspiración de referencia (ET₀) media anual (calculada por el método de Penman-Monteith) oscila en torno a los 1000 mm. Otro dato que refleja claramente las condiciones semiáridas de la zona y que tiene gran importancia para la agricultura, y especialmente para el viñedo, es el de las rachas secas (sucesión de *n* días consecutivos sin precipitación). En la zona de estudio la duración media es de 10 días y el promedio de las rachas máximas anuales es de 48 días.

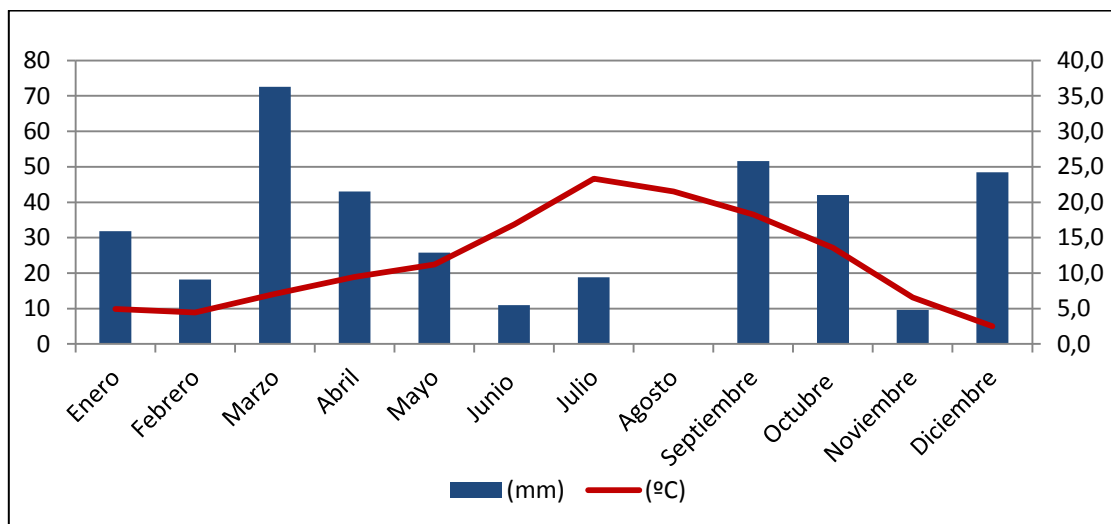


Figura 8. Diagrama ombrotérmico a partir de los datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica “Dehesa la Granja”, año 2013

Datos pluviómetros

Las precipitaciones recaen en las estaciones de Otoño, Invierno y Primavera. Es una zona climática con escasas precipitaciones. La precipitación media anual está en torno a los 400 mm (figura 9), con un coeficiente de variación de un 20%. El año de estudio fue un año que se caracterizó por tener abundantes lluvias en primavera y en el que no llovió en todo el mes de agosto (Figura 10)

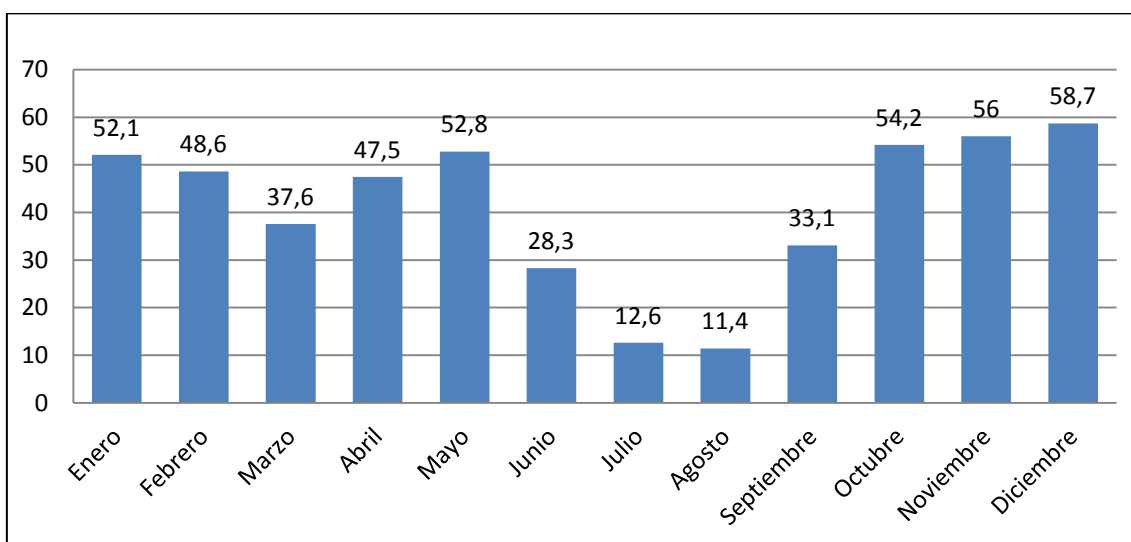


Figura 9. Pluviometría media mensual (mm) de la serie histórica de Fuentesauco.

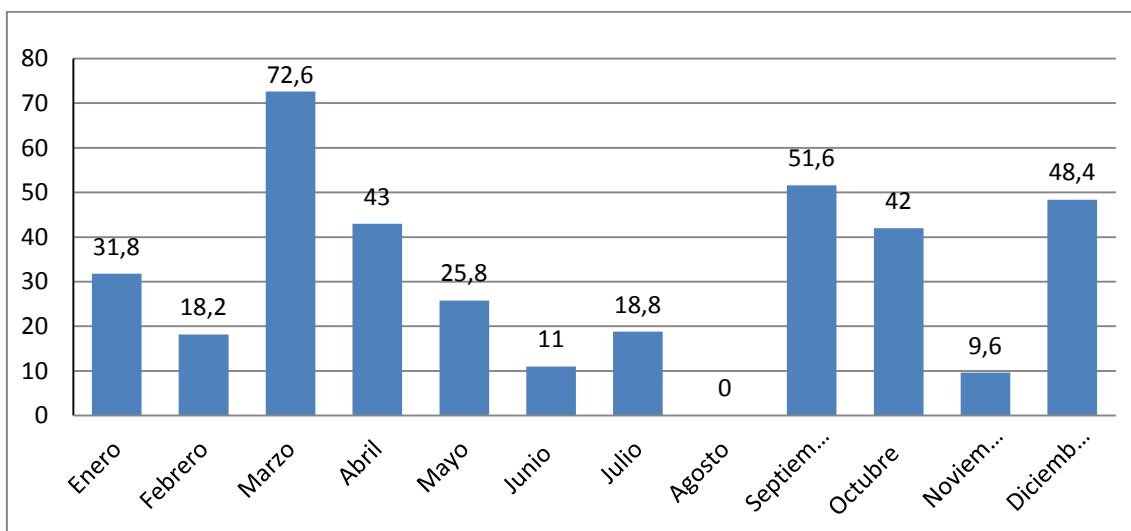


Figura 10. Pluviometría media mensual del año 2013(mm) estación meteorológica "Dehesa la Granja".

Temperaturas

La distribución de las temperaturas es típica de una zona con marcada estacionalidad (figura 11). La campaña 2013 se caracterizó por tener un verano más calido de lo normal (figura 12), siendo los meses de julio y agosto 2 y 1 grados, respectivamente más calurosos respecto a la serie histórica.

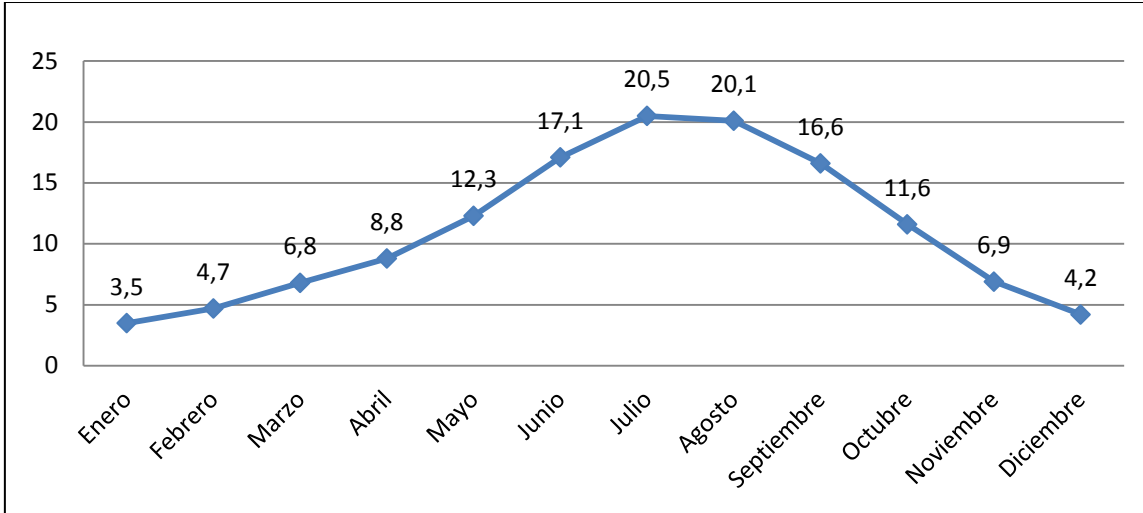


Figura 11. Temperatura media mensual (°C) de la serie histórica de Fuentesauco.

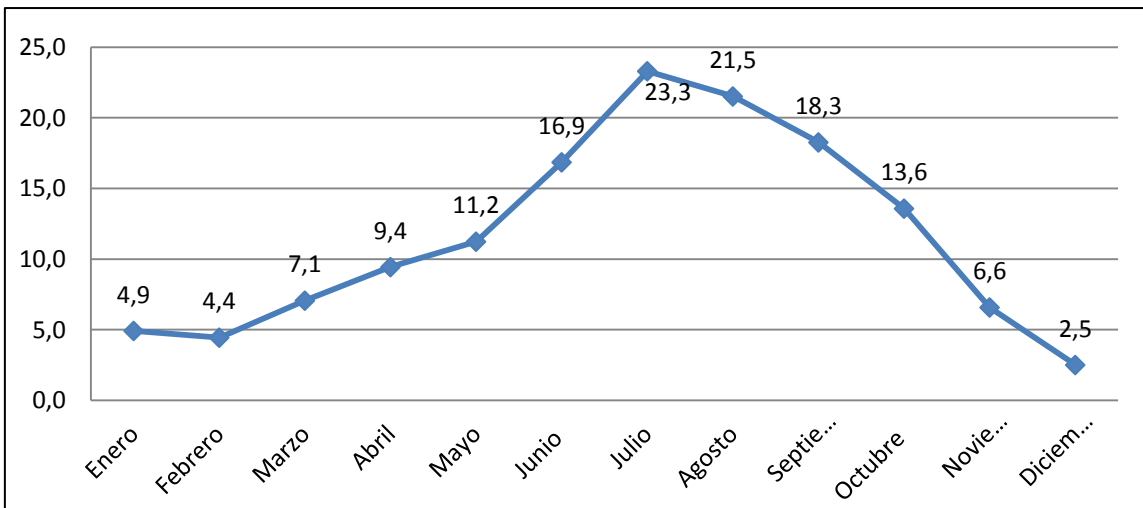


Figura 12. Tª media mensual del año 2013 (°C) estación meteorológica "Dehesa la Granja".

Número medio mensual/anual de días de heladas

Las heladas se producen cuando la temperatura mínima es igual o inferior a 0°C., pudiendo causar graves daños al viñedo. En este caso, para caracterizar la serie histórica, se ha utilizado la estación de Fuentesauco de AEMET. El número medio anual de días de heladas es de 77 (tabla 2), durante el periodo estudiado (16 años). La fecha

más temprana de la primera helada: 13 de Octubre de 1974 con una temperatura de $-0,6^{\circ}$ C. La fecha más tardía de primera helada: 4 de Enero de 1989 con una temperatura de $-0,6^{\circ}$ C. La fecha más temprana de la última helada: 20 de Enero de 1980 con una temperatura de $-0,4^{\circ}$ C. Fecha más tardía de la última helada: 15 de Mayo de 1972 con una temperatura de 0° C.

MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
DÍAS	19	14	11	4	1	0	0	0	0	1	11	15

Tabla 2. Número medio mensual de días de heladas para la estación de Fuentesauco.

Número medio mensual/anual de días de nieve

En el periodo observado, la media de los días de nieve es muy escasa, apenas llega a un total de nueve días de nieve al año, los días de nieve se encuentran repartidos en las estaciones de invierno y primavera (tabla 3).

MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
DÍAS	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 3. Número medio mensual de días de nieve de la serie histórica para la estación de Fuentesauco.

Número medio mensual/anual de días de niebla

En esta zona la niebla existente es de radiación, es decir se produce debido a un ascenso de las temperaturas durante la noche. La media anual es de 32 días, siendo más abundantes en invierno, sobre todo en los meses de Diciembre y Enero (tabla 4).

MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
DÍAS	8	3	2	1	0	0	0	0	1	3	6	8

Tabla 4. Número medio mensual de días de niebla para la estación de Fuentesauco.

Insolación/ Horas de sol

En la zona se registra una insolación equivalente a un 58% del máximo teórico. El mayor número de horas de sol ha sido en el mes de Julio. Por el contrario en el mes de Diciembre se produce el mínimo de horas de sol.

Vientos

Los vientos dominantes referidos a la zona de estudio son NE- ENE y O-SO (tabla 5 y figura 13). Estos vientos son denominados: Gragal (NE y ENE), Poniente (O) y Lebeche (O-SO).

Mes del año	E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D	SUM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Dominante Dirección. del viento	SO	SO	OSO	E	NE	NE	NE	NE	O	SO	NE	E	O
Probabilidad del viento >= 4 Beaufort (%)	29	33	37	34	25	21	9	14	14	20	29	27	24
Promedio Velocidad del viento (Knots)	8	9	9	9	8	7	6	6	6	7	8	8	7
Promedio temperatura del aire (°C)	6	7	10	13	17	21	24	24	20	15	9	6	14

Tabla 5. Vientos dominantes de Fuentesauco.

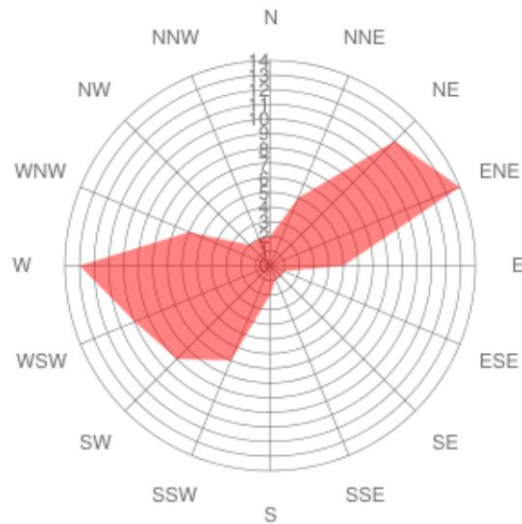


Figura 13. Vientos dominantes de Fuentesauco.

El clima de la zona es mediterráneo templado con un régimen térmico predominantemente templado-cálido según la clasificación climática de Papadakis. Invierno tipo Avena (fresco), con una temperatura del mes más frío mayor de -10° y de entre 5 a 10° en un mes frío. En cuanto al verano lo podemos clasificar como un verano tipo Maíz. Con un periodo libre de heladas de más de 4.5 meses. Media máxima de los meses más cálidos $> 21^{\circ}$.

De forma resumida, los rasgos básicos que caracterizan al clima son inviernos más o menos rigurosos, tanto por el frío como por su larga duración, y veranos secos, propios del clima mediterráneo, con altas temperaturas durante una o dos semanas como promedio. La conjunción de estas dos características, a la que se une una altitud media superior a los 700 m, favorecen la constatación de una tercera: la continentalidad. La

escasez de precipitaciones obedece, fundamentalmente, al emplazamiento central y deprimido que tiene la zona en el contexto topográfico de la cuenca del Duero respecto a las situaciones sinópticas que originan la mayoría de las precipitaciones: perturbaciones atlánticas desde finales de septiembre hasta bien entrada la primavera. Las precipitaciones estivales debidas a las tormentas de calor apenas descargan la suficiente cantidad de agua como para interrumpir la sequía fisiológica de cultivos y vegetación natural. Los otoños y las primaveras presentan con frecuencia días de características invernales, con heladas tempranas o tardías, de fuerte impacto en la agricultura (Sánchez, 2009).

3.2.2 GEOLOGÍA

CUATERNARIO

Aluvial, arenas, arcillas y gravas (14 y 15)

En los márgenes de los cursos actuales de agua encontramos materiales aluviales (14), constituidos por materiales gredoso-arcillosos, generalmente con cantos y ricos en materia orgánica (figura 14). En las zonas escarpadas se encuentran derrubios de ladera y conos de deyección.

Gravas (11)

En las proximidades de Vadillo de la Guareña se encuentran tres niveles de terrazas del río Guareña. La que encontramos en la zona de estudio se localizada al NO de Vadillo de la Guareña se corresponde con un nivel intermedio situado a una altura entre 730-720m. Son canturrales degradados, de cantos pequeños con matriz arenosa parda.

TERCIARIO

Areniscas, conglomerados y limos (Grupo Inferior Paleógeno) (1)

Son materiales conglomeráticos compactados con cemento, carbonatados o arcillosos, junto con areniscas de grano fino blancas o amarillentas provenientes del terciario.

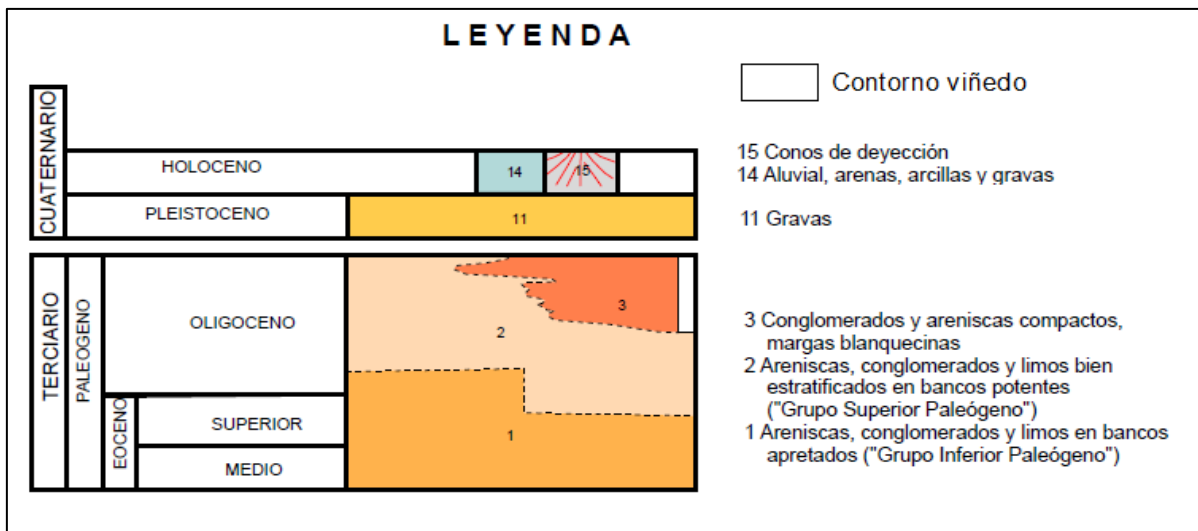
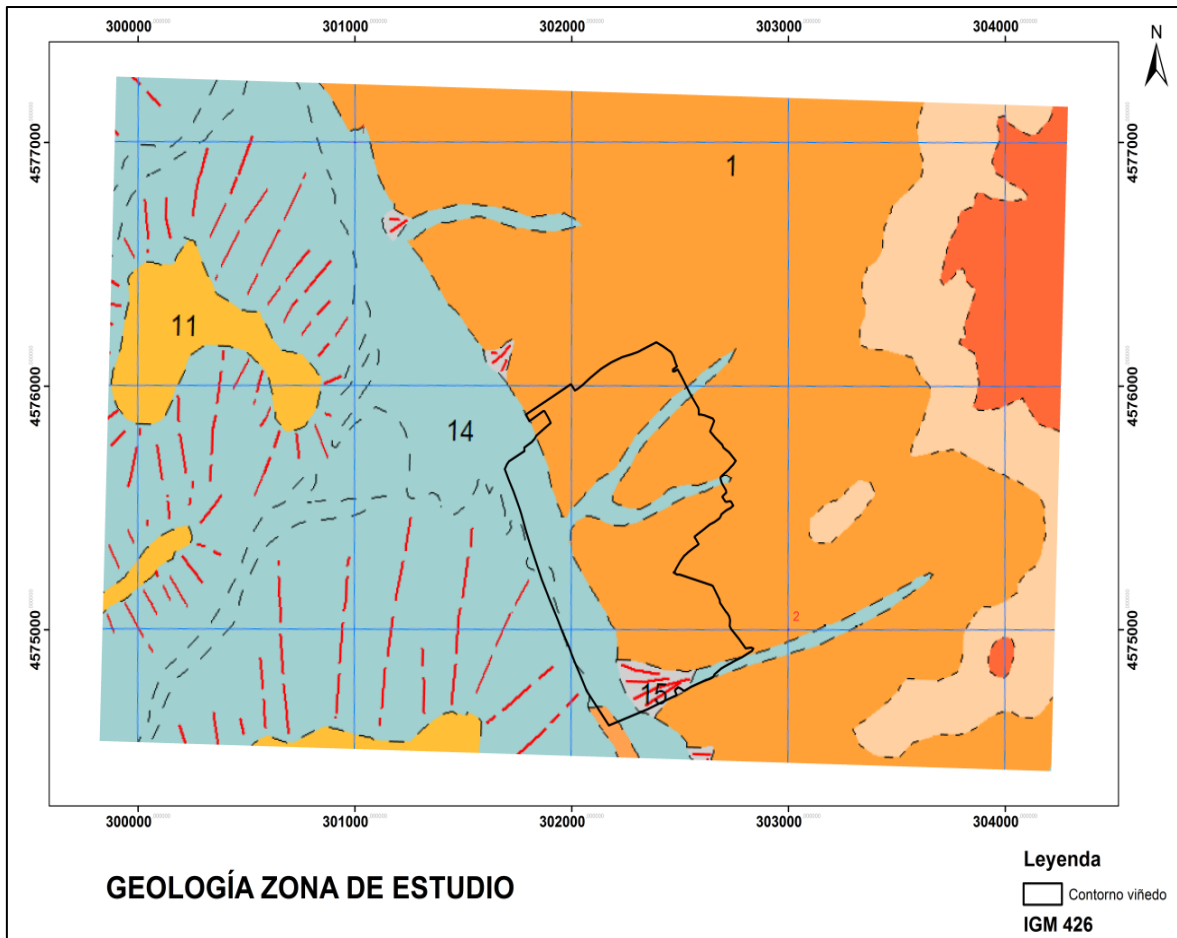


Figura 14. Geología y leyenda.

Fuente: Hoja 426 del mapa geológico de la serie MAGNA 1:25000 (IGME) y elaboración propia.

3.2.3 EDAFOLOGÍA

Los suelos que podemos encontrar son regosoles éutricos y cambisoles calcáricos, y presentan un elevado contenido en arena, en torno al 80%, con una textura media de tipo arenosa franca, una densidad aparente alta y un escaso contenido en materia orgánica (normalmente inferior al 1%), como es característico de los suelos agrícolas.

La diversidad de suelos que ofrece el viñedo objeto del estudio, unas 100ha, es variada, puesto que la composición en arena porcentual, varían desde un 90% hasta el 40% (tabla 6). Las clases texturales predominantes en el conjunto de los perfiles estudiados son Franco arenoso y Arenoso franco. Dichos perfiles corresponden a las inmediaciones de las viñas que fueron parametrizadas. Los suelos más fértiles, por su composición en limos y arcillas corresponden a los perfiles 5,6,12 y 13. Por otro lado la profundidad media se sitúa en torno a los 100 cm, aunque hay suelos menos potentes, de unos 50 a 70 cm. En general el contenido de materia orgánica es bajo, siendo menor al 1% en la totalidad de los perfiles.

Al ser suelos en su mayoría con un alto contenido en arenas, 70-80%, tienen una alta capacidad de infiltración, unido a una pendiente media del 7% propician un buen drenaje y baja capacidad de encharcamiento. Bien es sabido que en suelos profundos y ricos, las vides son vigorosas y altamente productivas, pero en general vinos producidos en viñas plantadas en suelos pobres son de una mayor calidad (Van Leeuwen y Seguin, 2006). Aunque la influencia de la composición suelo y el comportamiento de la vid es complejo, por las amplias interacciones (nutrición mineral, estrés hídrico, etc.)

PERFILES	% Ar Total	% Limo	% Arcilla
1	80,96	7,78	11,27
2	78,40	10,60	11,01
3	80,54	5,75	13,73
4	80,96	9,21	9,83
5	79,83	9,80	10,38
6	63,62	20,13	16,26
7	77,74	12,81	9,45
8	84,95	7,37	7,68
9	78,15	8,23	13,63
10	91,04	3,60	5,36
11	82,13	9,61	8,27
12	75,53	10,19	14,29
13	43,42	36,13	20,46
14	83,97	8,34	7,70
15	76,69	8,73	14,58
16	78,53	12,14	9,34
17	76,98	9,22	13,81

Tabla 6. Composición granulométrica de los perfiles.

3.2.4 HIDROLOGÍA

3.2.4.1 Hidrología superficial

Según la zonificación de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD, 2006), la zona de estudio se halla en la región denominada Bajo Duero, con el paso de este río en su curso medio (figura 15). La unidad hidrogeológica es la Tierra del vino y Medina del Campo. El río más importante es el Guareña, con una longitud de 63.2 km, una superficie de cuenca de 1097 km² y una aportación media anual de 64 hm³. Como se aprecia en mapas anteriores, el río Guareña atraviesa la explotación donde se enmarca el viñedo.

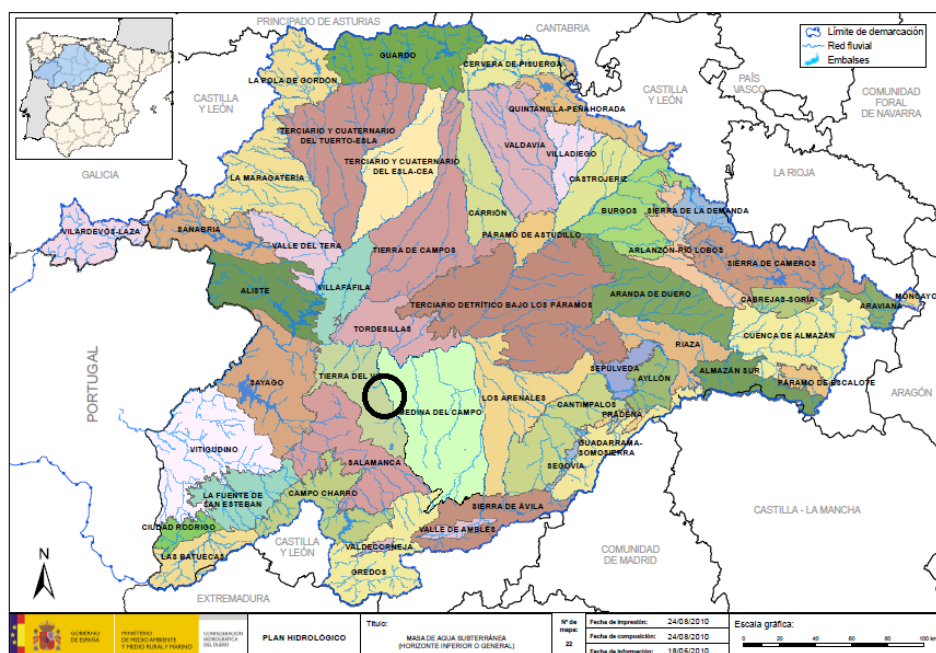


Figura 15. Hidrología superficial.

Fuente: CHD (Confederación Hidrográfica del Duero).

3.2.4.1 Hidrología subterránea

Los acuíferos de la cuenca terciaria del Duero se agrupan en acuíferos superficiales y acuíferos profundos. Los acuíferos superficiales se caracterizan por su proximidad a la superficie del terreno, su escaso espesor y su comportamiento como acuíferos libres. Se recargan por la infiltración de la lluvia y los excedentes de riegos con aguas superficiales. Su capacidad de almacenamiento es relativamente pequeña y sus recursos se ven afectados durante los periodos de sequía. A este grupo pertenece el acuífero superficial del río Guareña. La recarga de este acuífero se produce por infiltración directa de la lluvia sobre el terreno y el cauce de los ríos, por los acuíferos superficiales suprayacentes y por entradas laterales procedentes de los acuíferos circundantes. Las descargas se producen fundamentalmente en el río Duero, en el límite norte del

acuífero, y por extracciones de sondeos para la agricultura, que han producido una bajada del nivel freático regional de varias decenas de metros, desconectándose incluso de los cauces menores. Por ello algunos de los caudales de la parte alta de afluentes del Duero (Guareña, Trabancos, Zapardiel) se han convertido prácticamente en efímeros, con la aportación única de la escorrentía superficial y la lluvia, manteniéndose secos buena parte del año.

3.2.5 SECTOR VITIVINÍCOLA

3.2.5.1 Situación del mercado mundial

Viñedo

Según datos de la Organización Internacional de la Viña y del Vino (OIV), en 2012 la superficie vitícola mundial disminuyó en 19.000 hectáreas respecto a 2011, estimándose el total mundial en 7.528.000 ha. El viñedo comunitario total (UE-27) está reduciendo progresivamente su superficie plantada, pasando de las 3.792.000 has en el año 2008 a las 3.492.000 has en el año 2012. Este proceso es consecuencia de la combinación de factores como la reestructuración del viñedo y el impacto de la crisis vitícola, que por otra parte, se ha dejado sentir de forma distinta por zonas y tipos de vino y a la que se añadió el programa europeo de ayuda a los arranques, ya finalizado. La disminución del viñedo comunitario queda compensada por el mantenimiento de las superficies plantadas del resto del mundo. Mientras disminuyen las plantaciones en Australia, éstas crecen en Chile, Argentina, China y, en menor medida, en Turquía, manteniéndose invariables en EE.UU. y Sudáfrica.

Consumo

Con unas estimaciones de consumo mundial de vino para 2012, según datos de la OIV, en alrededor de 243 millones de hectolitros, se aprecia un leve descenso respecto al año anterior de 1 millón de hl (-0,4%). Por países, destaca el aumento registrado en China, que crece en 1,5 millones de hl hasta los 17,8 millones (+9,3%). Le seguiría Francia, con un aumento de alrededor de 1 millón de hl hasta superar los 30 millones (+3,2%). En menor medida, el consumo crecería en EE.UU. (+575.000 hl) Alemania (+293.000 hl), o Argentina (+242.000 hl), entre otros. Por el contrario, caería el consumo en España un 6% hasta los 9,3 millones de hl (-594.000 hl), así como en Italia (-419.000 hl) o Reino Unido (-327.000 hl).

En cuanto a la Unión Europea, el consumo bajaría en 280.000 hl respecto a 2010 (tabla 7), con una caída del 1,1%, mientras que, en el resto del mundo, también caería el consumo. Con 122,7 millones de hl, la Unión Europea seguiría liderando el consumo de

vino a nivel internacional, aunque sólo un punto por encima (50,5%) del conjunto de países.

Evolución de los consumos de vino de la UE.

	2009	2010	Variación
Alemania	20.250	20.205	-45
Austria	2.400	2.400	0
Grecia	3.029	2.955	-74
España	11.271	10.600	-671
Francia	29.304	29.438	134
Italia	24.600	24.500	-100
Portugal	4.515	4.447	-68
Bélgica + Luxemburgo	3.108	3.101	-7
Dinamarca	1.890	1.930	40
Irlanda	684	710	26
Países bajos	3.460	3.470	10
Finlandia	597	606	9
Suecia	2.010	2.010	0
Reino unido	12.680	13.200	520
UE 15	119.798	119.572	-226

Tabla 7. Evolución de los consumos de vino en la UE.

Fuente: OIV (Organization Internationale de la Vigne et du Vine).

3.2.5.2 EL mercado español

Viñedo

Siempre según datos de la OIV, España, con 1,018 millones de hectáreas destinadas al cultivo de la vid (97,4% destinadas a vinificación, un 2% a uva de mesa, un 0,3 % a la elaboración de pasas y un 0,3 % restante a viveros), sigue siendo, con diferencia, el país con mayor extensión de viñedo de la Unión Europea y del mundo, a pesar de estimarse una caída de 14.000 hectáreas respecto a 2011. En todo caso, representa casi el 30% de la superficie total de la UE (seguido por Francia con el 23%, y de Italia con el 22%) y un 13,4 % del total mundial.

Producción española

Tras siete campañas de relativa estabilidad, rondando un volumen de producción de vino y mosto de en torno a los 40 millones de hectolitros, en la campaña 2013/2014, y según los datos del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA), la producción supera los 52 millones de hl, frente a los 34,2 millones de la campaña 2012/13, lo que supone

un importante aumento del 53,7% (+18,4 millones de hl), y la cifra más elevada históricamente. Coincide, además, que la campaña anterior fue especialmente escasa.

Superficie de viñedo

La superficie de viñedo se extiende por todas las comunidades autónomas, si bien casi la mitad de la superficie vitícola se encuentra en Castilla-La Mancha con 493.694 hectáreas, lo que la sitúa como la zona geográfica del mundo con mayor extensión dedicada a este cultivo.

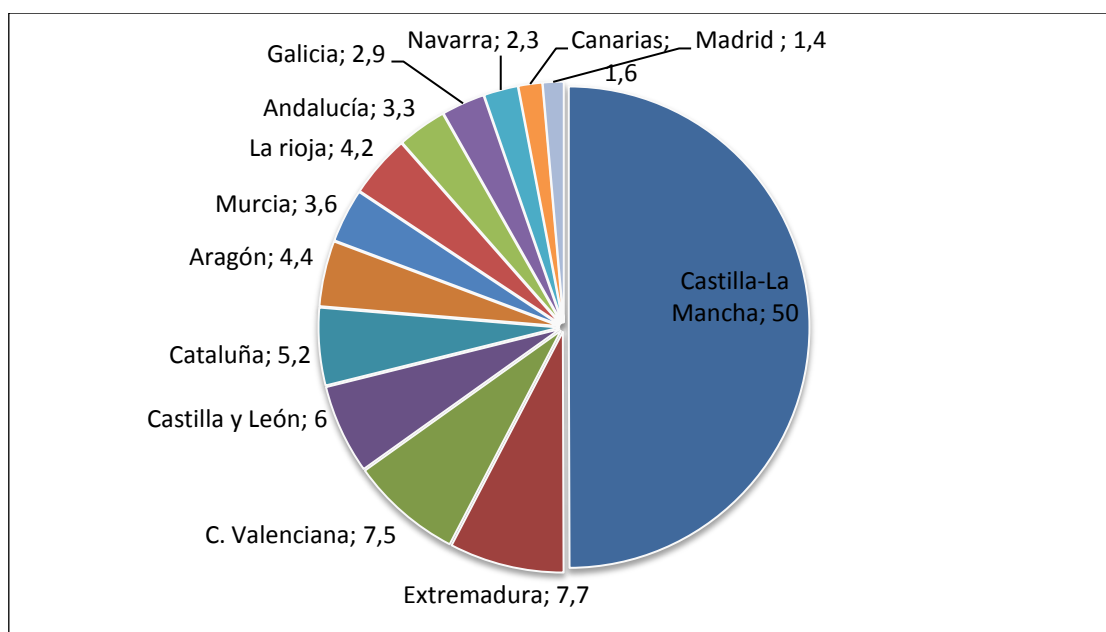


Figura 16. Distribución del viñedo por CCAA (%).

Fuente: En cuesta sobre rendimientos y superficies MAGRAMA (2012)

Por comunidades autónomas (figura 16), el mayor porcentaje de superficie de viñedo corresponde a Castilla-La Mancha (50% de toda la uva para vinificación) seguida de Extremadura (7,7%), Comunidad Valenciana (7,5%), Castilla y León (6%), Cataluña (5,2%), Aragón (4,4%), Murcia (3,6%), La Rioja (4,2%), Andalucía (3,3%), Galicia (2,9%), Navarra (2,3%), Canarias (1,6%) y Madrid (1,4%). Las demás comunidades autónomas ostentan porcentajes inferiores al 1%.

España cuenta con 90 zonas de producción de vinos de calidad con Denominación de Origen Protegida (DOP), de ellas 67 son con Denominación de Origen, 2 con Denominación de Origen Calificada, 7 son Vinos de Calidad con Indicación Geográfica y 14 son Vinos de Pago, las cuales, siguiendo el modelo europeo de producción, mantienen un estricto control sobre la cantidad producida, las prácticas enológicas, y la calidad de los vinos que se producen en cada zona.

Según los últimos datos publicados, el 52% producirá vinos tintos y rosados y el 45%, vinos blancos (figura 17).

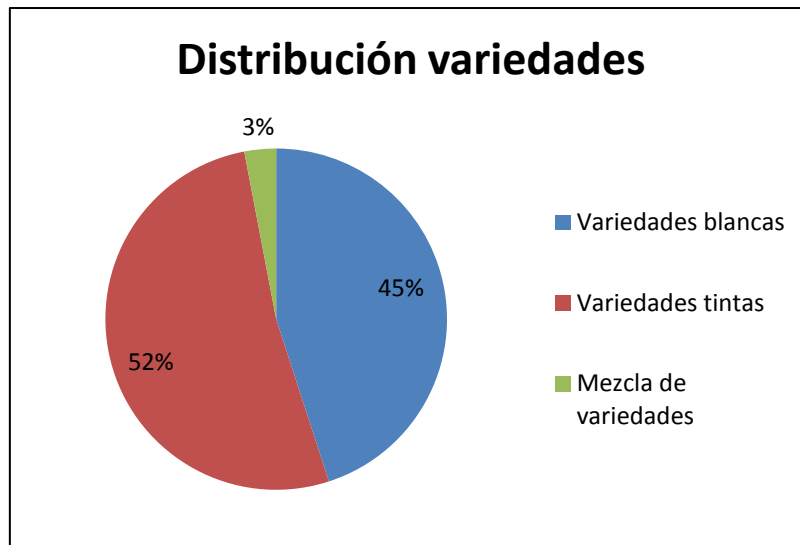


Figura 17. Distribución de las variedades de uva en España.

Fuente: En encuesta sobre rendimientos y superficies MAGRAMA (2012).

Las variedades de uva más comunes en España son la Airén (23,5%), Tempranillo (20,9%), Bobal (7,5%), Garnacha Tinta, Monastrell, Pardina, Macabeo y Palomino, por orden de importancia en cuanto a su cultivo (MAGRAMA, 2012).

Mientras tanto, el consumo interno de vino en España sigue ofreciendo unos datos preocupantes, situándose a día de hoy en una estimación por debajo de los 20 litros por persona y año, lo que supone estar a la cola de Europa.

Estructura empresarial española

El sector vitivinícola español se encuentra inmerso en un importante proceso de actualización y renovación. Así, desde el año 2000, la superficie sujeta a reconversión y reestructuración ha superado las 130.000 hectáreas, lo que representa una inversión cercana a los 800 millones de euros. Se estima que algo más de 4.000 bodegas elaboran en España vinos tranquilos, espumosos y de licor. Son, por lo general, de pequeño tamaño y su capital es mayoritariamente de origen español, de tipo familiar, mientras que un gran número están constituidas como cooperativas agrarias.

Exportaciones

El mercado mundial, considerado por la OIV como la suma de las exportaciones de todos los países, ha crecido significativamente en el último año en términos de valor, suponiendo un 1,4% más que en 2012. No obstante, el volumen se ha reducido un 2,3%

respecto a 2012, hasta los 98,6 millones de hectolitros, con una pérdida de 2,3 millones de hectolitros en un año.



Figura 18. Evolución de las exportaciones de vino español.

Fuente: ABC.

La suma de Italia, España y Francia representó en 2013 aproximadamente el 53,4% del volumen y el 59,7% del valor total de vino y mosto exportado a nivel mundial.

España e Italia están viviendo en la actualidad una tendencia muy parecida, con descenso del volumen exportado, pero buenos datos en valor (+7,3% para Italia y +1,8% para España, según GTA) (figura 18). Además, la causa de esta disparidad entre valor y volumen es similar: un fuerte encarecimiento de los vinos más económicos, como es el caso de los graneles, y más concretamente, de los vinos a granel sin ningún tipo de indicación ni variedad.

La balanza comercial varía en los últimos años (figura 18) con una tendencia hacia la exportación de vinos con precio unitario superior en detrimento de los vinos de granel (menor precio). Esto se debe a varios factores difíciles de determinar pero entre ellos está el mayor reconocimiento mundial de la calidad de los vinos españoles.

Como conclusión final se puede afirmar que el mercado vitivinícola español está sufriendo una positiva transformación en los últimos años, cambiando las técnicas de cultivo para obtener unos vinos acordes con el medio en que se producen y con las demandas del mercado tanto nacional como internacional, que demandan vinos con un cierto nivel de calidad.

Desde este punto de vista, ligeramente esperanzador, para este sector, se puede afirmar que las perspectivas del sector vitivinícola español son alentadoras. Siempre y cuando se apueste por mantener la calidad de los caldos españoles y se siga en la línea de la exportación, haciendo que las bodegas, independientemente del tamaño de producción, apuesten por este modelo de negocio.

Vino de la Tierra de Castilla y León

Actualmente la D.O. Vinos de la Tierra de Castilla y León, está compuesta por unas 60 bodegas siendo capaces de cultivar unas 75.000 ha de variedades tanto blancas como tintas. Esta D.O. (2005) obliga al cumplimiento de una serie de normas para poder mantener un baremo de calidad uniforme, por ejemplo el rendimiento máximo por ha es de 16.000 kg. Las variedades tintas recomendadas son: Garnacha Tinta, Juan García, Mencía, Prieto Picudo y Tempranillo (también llamada Tinto Fino, Tinta del País, Tinta de Toro). Cabría destacar que bajo el reglamento de esta D.O se permite la irrigación de viñedo.

Los vinos producidos en la zona geográfica delimitada, se caracterizan por ser potentes, con aromas a fruta madura, tienen una gran carga de materia colorante, están bien estructurados y por ellos tiene una gran capacidad para crianzas largas.

La bodega “Dehesa la Granja” elabora un único tipo de vino, etiquetado como “Dehesa la Granja” y producido con uva procedente del viñedo objeto del estudio. Es un vino de uva Tempranillo 100% caracterizado por su envejecimiento durante 24 meses en barricas de roble americano y francés con 12 meses de reposo en botella.

3.3 VIÑEDO DE ESTUDIO

El viñedo está formado por 100 ha de variedad tempranillo, injertado sobre un portainjerto Millardet 41-B. El marco de plantación es de 3x1,2 m. El tipo de conducción es en espaldera con una poda tipo guyot doble. El año de plantación del viñedo fue el 2000, por lo que la edad media es de 15 años. Cuenta con un sistema de riego por goteo en todas las parcelas (figura 19).



Figura 19. Línea de vides con sistema de riego por goteo.

Ciclo fenológico de la vid

El periodo invernal (figura 20) en el viñedo de “Dehesa la Granja” transcurre desde Noviembre, cuando se ha finalizado el proceso de caída de la hoja, hasta mediados de febrero que es cuando comienzan los primeros lloros. Posteriormente, en torno a abril (dependiendo de la climatología de cada año) se inicia el desborre, produciéndose el inicio de la fase de crecimiento, la floración del viñedo se produce como norma general a mediados de mayo comenzando así el ciclo reproductor que durará hasta el final de la maduración de las bayas. A principios de julio se da por finalizado el periodo de crecimiento, teniendo la mayor masa foliar en esa época, y pocos días después se inicia el envero. La maduración de las uvas se produce en ese periodo hasta concluir normalmente a inicios de septiembre, momento en el que se realiza la vendimia manual de las 100 ha de tempranillo para su posterior vinificación.

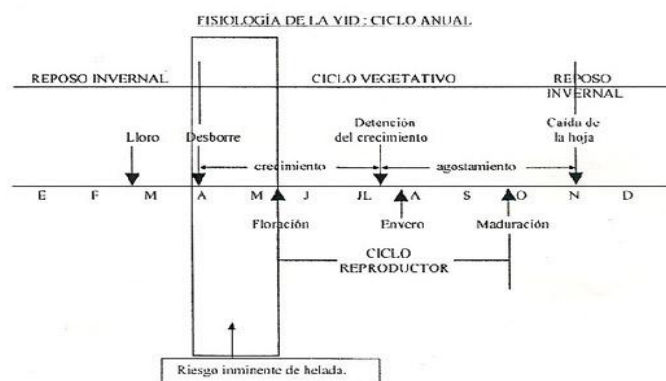


Figura 20. Ciclo fenológico de la vid.

Fuente: (Hidalgo Frenández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011).

Calendario vegetativo de la vid

La vid permanece en reposo desde noviembre y prosigue en esta situación latente hasta marzo, en el que con el incremento de temperatura inicia su actividad. En esta época de reposo o dormancia se realiza la poda, para retirar sarmientos ineficaces de la campaña anterior y orientar la producción de próxima campaña.

En marzo aparece el "lloro" como primera manifestación de la actividad anual de la cepa. Generalmente en abril el suelo alcanza una temperatura de diez grados surgiendo la "brotación", que se inicia por un hinchado de las yemas a lo que prosigue la separación de las escamas que las protegían y aparecen unas pequeñas hojas iniciales o "foliación" (figura 21).

A finales de mayo se desarrolla la "floración". Consistiendo ésta en la apertura de la flor con desprendimiento de la corola y fecundación. Se empiezan a desarrollar unos frutos



iniciales, muy pequeños, que forman el racimo, son muy ácidos y verdes. Se llaman "agracés" y su estado, que se prolonga hasta julio, se denomina "agraz".

Llegado el mes de julio, la vid alcanza su madurez fisiológica. Ya podría reproducirse por sí, pero el fruto aún dista de ser la uva madura, objetivo del viticultor, aunque ya se ha iniciado la evolución que ha de desembocar en la vendimia. En julio se manifiesta una fase denominada "envero". En ella, los granos de uva dejan de ser verdes para hacerse oscuros en las variedades tintas. Además, el grano de uva comienza a perder acidez y a acumular azúcar (Kennedy et al., 2002).

En septiembre los granos "enverados" pasan de ser muy ácidos a ser completamente azucarados, la piel de la uva se reblandece progresivamente y en las tintas toma un color intenso. Se trata de la maduración cuyo fin es difícil de definir y que concluye con la vendimia.

Generalmente entre septiembre y octubre se realiza la vendimia para vinificar. Ya desde antes de la vendimia la cepa camina hacia su agotamiento y en noviembre empieza su camino hacia la fase latente invernal. Los pámpanos se endurecen, la savia se acumula en el tallo y la hoja se vuelve color tabaco y ocre. En marzo volverá a iniciarse otro ciclo con el "lloro"



Figura 21. Estados fenológicos de la vid.

Fuente: Fuente Consejería de agricultura Sección de Protección de Cultivos

En cuanto a las características de las uvas vendimiadas, año a año los valores son cambiantes y suele haber una amplia variación en cuanto a número de racimos y el peso de los mismos siendo un promedio unos 15 racimos por cepa con un peso por cepa de 1800 gramos. El rendimiento por ha se sitúa en torno a 4000-5000 kg. Los datos medios de las uvas suelen ser más uniformes. En general los valores son un pH entre 3 y 3,2, con una acidez de unos 5 a 6 gramos de ácido tartárico por litro y en torno a 20-22 grados Brix.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 ESTIMACIÓN DE VARIABLES

Estrategia de muestreo

En el viñedo se seleccionaron 17 puntos de muestreo (figura 22), en cada uno de los cuales se instaló un tubo de acceso para la monitorización del contenido de agua del suelo.



Figura 22. Distribución de los perfiles y puntos de muestreo de las cepas

Estos tubos se ubicaron en la vertical de la espaldera (figura 23), para no interferir con el laboreo del suelo. Los tubos se protegieron con estacas para evitar daños con las labores agrícolas y se señalaron convenientemente. En cada uno de esos puntos se controlaron las variables biofísicas de las dos cepas situadas a cada lado del tubo (aguas arriba y abajo, A y B). De esa forma, el trabajo de monitorización y muestreo de todas las variables que se midieron, tanto en la cepa como en la uva, fue en 34 cepas de dicho viñedo.



Figura 23. Vid “A” y “B” con el tubo de acceso N° 13.

Las medidas espectrales se realizaron en 4 días diferentes, 3 de ellas en el campo y una en el laboratorio (uvas vendimiadas) las fechas corresponden al año 2013.



Figura 24. Estados fenológicos los días de las medidas espectrales de uva.

Se llevaron a cabo 4 medidas espectrales de las uvas, 3 de ellas en el campo y una en el laboratorio.

- El 20 de julio fue la primera medida espectral, las cepas en la mayoría de los casos estaban en el estado fenológico de cerramiento del racimo (figura 24 izquierda).
- La segunda medida fue realizada el 14 de agosto cuando se producía el envero (figura 24 centro).
- La tercera medida fue el 16 de septiembre estando las uvas prácticamente maduras (figura 24 derecha).
- El 24 de septiembre se hicieron las últimas mediciones de las uvas en el laboratorio.

En cuanto a las medidas espectrales de las plantas y hojas, fueron realizadas durante 5 fechas a lo largo de todo el ciclo fenológico.

- La primera fue el 23 de mayo, coincidiendo con la época en la que las vides estaban en estado entre hojas extendidas y racimos visibles (figura 25 superior izquierda).
- La siguiente fue el 23 de junio, cuando el viñedo se encontraba en plena floración (figura 25 superior centro).
- El 10 de julio se hizo la tercera medida, los racimos estaban en grano tamaño guisante (figura 25 superior derecha).
- La cuarta medida, el 14 de agosto se producía el envero (figura 25 inferior izquierda).
- La última medida se realizó el 1 de septiembre, cuando el viñedo estaba en fase de maduración (figura 25 inferior derecha).





Figura 25. Estados fenológicos del viñedo los días de las medidas espectrales de planta y hoja.

4.1.1 AGROCLIMÁTICAS

En las proximidades de la viña hay instalada una estación meteorológica automática completa (figura 26), con los siguientes sensores:

- Temperatura y humedad relativa (Vaisala HMP45C)
- Precipitación (ARG 100)
- Radiación global (SP-LITE)
- Velocidad y dirección del viento (Wind Monitor 05103-5)

Todas las variables se registran en un *datalogger* CR1000 (Campbell Scientific) a intervalos de 10 minutos.



Figura 26. Estación meteorológica automática.

4.1.1.1 Evapotranspiración (ET_o)

Dicha estación meteorológica registra todas las variables necesarias para el cálculo de la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) mediante el método de Penman-Monteith (Allen et al., 2006b).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

ET_o = evapotranspiración sobre un cultivo de referencia (mm/día); R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día); G = flujo de calor del suelo (MJ/m²/día); T = temperatura promedio del aire a 2 metros de altura (°C); U₂ = velocidad promedio diaria del viento a 2 metros de altura (m/s); e_s = presión de vapor en saturación (kPa); e_a = presión de vapor actual (kPa); Δ = pendiente de la curva de presión de vapor versus temperatura (kPa/°C); γ = constante psicrométrica (kPa/°C).

4.1.2 PLANTA

4.1.2.1 Medidas de Índice de área foliar (LAI)

En viticultura el área foliar representa la densidad y distribución del follaje y es un parámetro fundamental para entender la respuesta de la vid al medio que la rodea, el sistema de conducción y el manejo de dicha vegetación. El monitoreo de este parámetro no es una tarea fácil (Lopes y Pinto, 2005). Se distingue entre los métodos directos e indirectos para la determinación del área foliar.

Los indirectos y no destructivos se pueden realizar por varias metodologías como por ejemplo, empíricamente (Schltz, 1992) o por sensores remotos (satélites) (Dobrowski et al., 2002). Estos métodos son rápidos pero caros y normalmente es necesaria una previa calibración; además para follajes muy frondosos no funcionan correctamente. Otra desventaja es el hecho de que debe distinguirse entre el área central y lateral de las hojas.

Los métodos directos para determinar el área foliar están basados en medidas de hojas y/o muestreo de brotes, estos son destructivos o no destructivos. Los destructivos están basados en la destrucción y medida de las hojas en el laboratorio por planímetros, medida del área foliar con el ratio del peso (Sepúlveda y Kliewer, 1983) o media del área en metros. Estos métodos son fáciles de calcular y precisos, pero más laboriosos.

Para llevar a cabo esta medida, se muestrearon hojas de las cepas A y B de cada perfil de tal forma que las fechas coincidieran con distintos estados fenológicos (tabla 8).

Usando el programa *ImageJ* (figura 27), se procedió al cálculo del área foliar de cada hoja, con un simple procedimiento, en el cual cada hoja fue escaneada y transformada a una imagen de 8 bits en la que se calcula la distancia entre los píxeles, se escala la imagen y se resalta el verde de las hojas (rojo) en contraposición al fondo blanco. Una vez hecho esto se calcula el número de píxeles que forman parte de la hoja y se obtiene el área foliar.

Fechas	Estado fenológico
23/05/2013	Salida hojas- hojas extendidas
23/06/2013	Hojas extendidas- inflorescencia
10/07/2013	Cujado- guisante
14/08/2013	Envero
16/09/2013	Maduración

Tabla 8. Fechas y estados fenológicos en los que se recogieron las muestras de las hojas para calcular el LAI.

El conteo de hojas se realizó a partir de una estimación del número de hojas según la longitud de los pámpanos. Se cuenta el número de pámpanos de cada tipo y se multiplica por el número de hojas en cada tipo.

El LAI se define como el área de la hoja verde de un solo lado, por unidad de área de superficie en m².

Sabiendo el número de hojas de la cepa y el tamaño de las misas, se obtiene el LAI mediante la fórmula:

$$\text{LAI} = \frac{\text{Superficie foliar (cm}^2\text{)} \times \text{N}^\circ \text{ hojas}}{10.000}$$

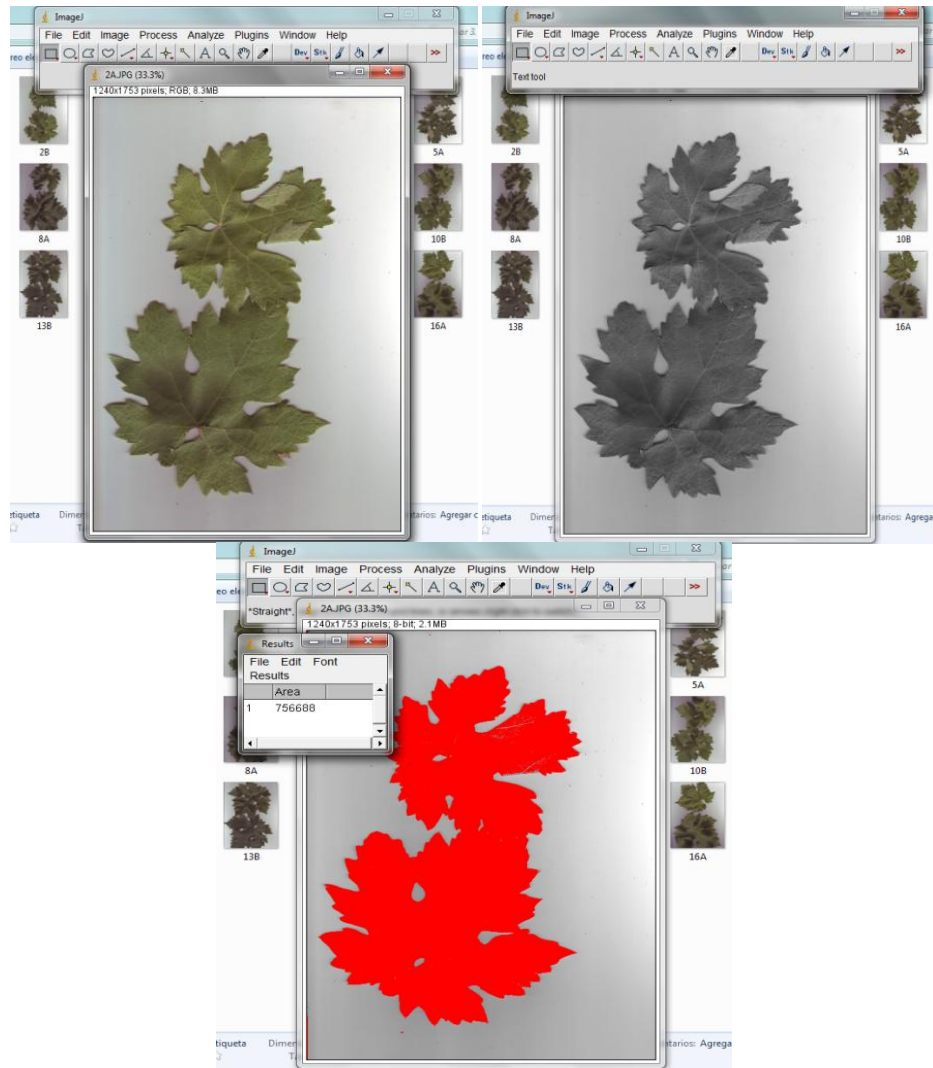


Figura 27. Secuencia del cálculo del área foliar.

4.1.2.2 Medidas de clorofila

El conocimiento de la cantidad de clorofila en hoja de los vegetales es fundamental en los estudios agronómicos. Por ello se han desarrollado distintos métodos para su estudio, tanto a nivel de hoja como por teledetección, proponiendo una gran variedad de índices que relacionan la reflectividad obtenida por sensores en distintas bandas del espectro visible e infrarrojo (Haboude et al., 2008).

En este trabajo se midió la cantidad relativa de clorofila en la hoja mediante el medidor Minolta SPAD-502, el sistema de medida de este instrumento se fundamenta la diferencia de densidad óptica de dos longitudes de onda, el rojo y el infrarrojo, obteniéndose de este modo el valor SPAD (índice de valor de clorofila relativa), para obtener unos valores fiables se deben hacer varias mediciones por cepa (figura 28). El procedimiento es sencillo, primero el medidor se auto calibra, se selecciona una hoja de

la vid y se coloca el medidor de tal forma que presione el haz y el envés de la hoja (forma de pinza), posteriormente el valor obtenido se almacena en una hoja de datos de campo.



Figura 28. Medidor de clorofila SPAD-502.

4.1.2.3 Medidas del estado hídrico de la planta

Por un lado se estimó el contenido de agua en las hojas. El procedimiento de esta medida fue, cortar hojas representativas de cada cepa, en distintas fechas (tabla 8), se usaron previamente para determinar el LAI y después fueron pesadas en fresco y posteriormente se introdujeron en una estufa para proceder al secado de las hojas. Una vez secas, se pesaron de nuevo las hojas, el contenido de agua se obtuvo como la diferencia entre peso seco y peso húmedo. La muestra de hojas estaba compuesta por 34 cepas.

Estimar el contenido de agua en hoja es más fiable que en el conjunto del follaje. Hay una mayor varianza en la reflectividad, aunque haya un similar estado hídrico puesto que el follaje está más sujeto a cambios determinados con su geometría (Serrano et al., 2000).

4.1.2.4 Producción total de la cepa

Se cuantificó la producción de uva de todas las cepas muestreadas (figura 29), obteniéndose valores de peso medio de los racimos, producción por cepa o peso de 100 bayas, entre otros parámetros.



Figura 29. Vid 7A con los racimos, días antes de ser vendimiada.

4.1.3 UVA

Se llevó a cabo un análisis de distintos parámetros químicos de las uvas de las cepas objeto del estudio. No obstante, los parámetros enológicos, sensoriales y químicos extraídos no son objeto de este estudio y serán utilizados en estudios posteriores.

4.1.3.1 Estudio detallado de la calidad tecnológica de uvas de la variedad Tempranillo

Se recogieron las bayas de los hombros, parte central y terminal de los racimos de cada una de las cepas muestreadas. En las muestras se realizó la determinación de parámetros de maduración convencionales: °Brix (para determinar el grado de madurez sacarimétrico), peso medio de la baya, peso del hollejo, pH, acidez titulable y grado alcohólico probable.

4.1.4 SUELO

4.1.4.1 Contenido de agua del suelo

Para la monitorización del contenido de agua en el suelo se instalaron tubos de acceso (hasta un metro de profundidad) para realizar mediciones del perfil mediante sondas de capacitancia mediante FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) (figura 30). A partir de la capacitancia, se obtiene la constante dieléctrica y, por tanto, la humedad del suelo. Para este trabajo se usó la sonda Diviner 2000 (Sentek) que permite realizar mediciones manuales a intervalos de 10 cm a lo largo del perfil. La sonda Diviner 2000 calcula el valor de humedad del suelo en función de una relación existente entre la humedad del suelo y la frecuencia normalizada (SF):

$$SF = \frac{(FA-FS)}{(FA-FW)}$$

Donde FA es la medición en un tubo de accesos en el aire, FW es la medición en un tubo de acceso sumergido en agua y FS en un tubo de acceso instalado en el suelo.



Figura 30. Utilización de la sonda FDR en la zona de estudio.

Las mediciones se tomaron semanalmente desde el 17 de mayo hasta el 18 de octubre de 2013.

4.1.5 MEDICIONES ESPECTRALES

Cada objeto, área o fenómeno emite un espectro electromagnético específico, en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe. La reflectividad de ese espectro electromagnético se denomina firma espectral, la cual hace distinguible a ese objeto, superficie o fenómeno de los demás.

La longitud de onda λ , equivalentemente la frecuencia, define el tipo de radiación electromagnética (figura 31) y en función de ella se establecen una serie de bandas constituyendo el llamado espectro electromagnético.

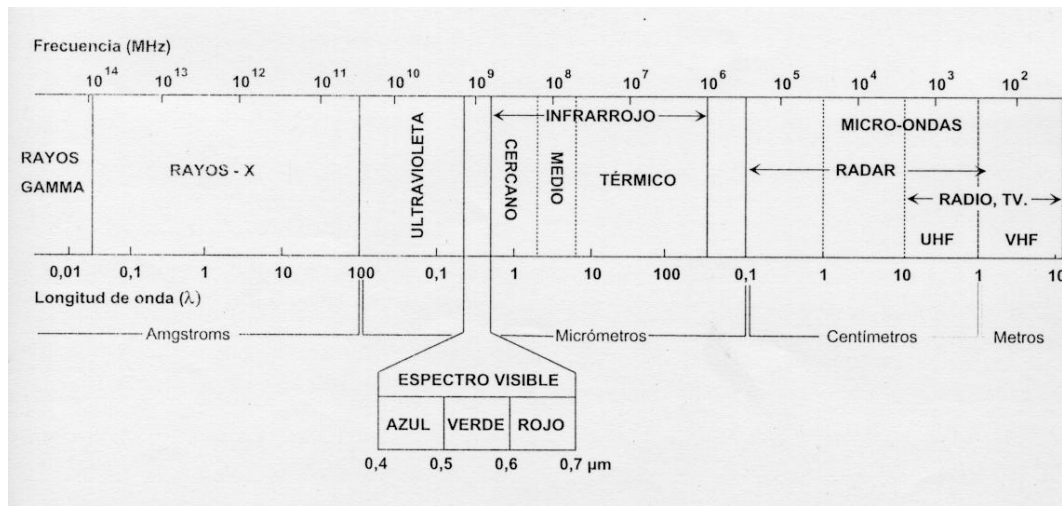


Figura 31. Regiones del espectro electromagnético.

Fuente: (Fernández, 2008).

Comportamiento espectral de la hoja viva

La clorofila no absorbe toda la luz del sol uniformemente, Las moléculas de clorofila preferentemente absorben la luz roja y azul para usar en la fotosíntesis. Ellas deben absorber tanta cantidad como el 70% a 90% de la luz incidente en esas regiones. Mucho menos cantidad de la luz verde es absorbida y más es reflejada, entonces el observador humano, que puede ver sólo el espectro visible, observa la reflexión dominante de la luz verde como vegetación viva.

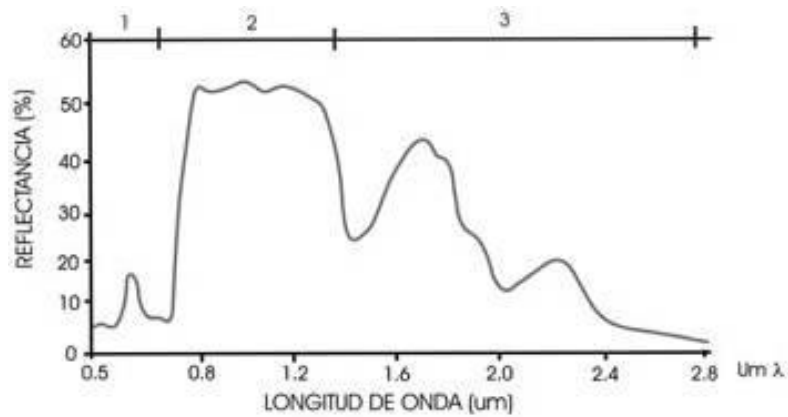


Figura 32. Respuesta de las plantas a la energía electromagnética.

En el espectro visible (500 a 700 nm), existe una baja reflectividad en azul y rojo, más alta en verde, esto es debido a los pigmentos (caroteno, clorofila) que se encuentran en los cloroplastos.

En el infrarrojo cercano NIR (800 a 900 nm) hay una muy alta reflectividad (figura 32) la cual se debe a los distintos índices de refracción del líquido intracelular y de los espacios intercelulares del mesófilo.

Ya en el infrarrojo medio SWIR (1000 a 2000 nm) existen 3 bandas, 1000, 1400 y 2000 de absorción del infrarrojo las cuales se deben al contenido de agua.

Con la madurez o estrés en las plantas por enfermedad, ataques de insectos, o escasez de humedad, las características espectrales de la hoja deben cambiar. En general estos cambios aparentemente ocurren simultáneamente en ambas regiones, visible e infrarrojo, pero los cambios de reflectividad en el infrarrojo frecuentemente son más notables. La reflectividad en la región del infrarrojo es aparentemente controlada por la naturaleza de las complejas cavidades entre la hoja y la reflexión interna de radiación infrarroja de esas cavidades.

La reflectividad depende en parte, del contenido de agua almacenada en las células foliares, especialmente para los espectros del NIR y las del MIR (1300– 2500 nm) (Hunt y Rock, 1989, Hunt et al., 1987, Gao, 1996, Ceccato et al., 2001).

Para frecuencias de ondas sensibles a la absorción de agua (760, 970, 1450, 1940, y 2950 nm), tanto a nivel foliar como de follaje, la reflectividad decrece con aumentos del nivel de agua tisular (Bowman, 1989, Hunt et al., 1987, Gao, 1996, Peñuelas et al., 1997, Ripple, 1986).

Estas “bandas” pueden ser combinadas de innumerables formas para generar índices de vegetación (IV) relacionados con el estado hídrico de la planta (Hunt y Rock, 1989, Carter, 1994, Mogensen et al., 1996, Bahrn et al., 2003) (figura 33).

Otros autores han usado IV para estimar el contenido de agua de las uvas (Peñuelas et al., 1993, Peñuelas et al., 1997, Mogensen et al., 1996, Jones et al., 2004) y otros

muchos han sido propuestos para estudios con sensores remotos (Broge y Leblanc, 2001, Broge y Mortensen, 2002, Zarco-Tejada et al., 2005)

Por lo tanto, los sensores remotos pueden considerarse un método no destructivo, rápido y fiable para evaluar el contenido de agua (Hunt y Rock, 1989, Hunt et al., 1987, Li et al., 2005) y mediante fotos aéreas o de satélites obtener un muestro del 100% del viñedo o el estado general del mismo. Hay tres grandes regiones de absorción del agua, que han sido identificadas y se sabe que generan las mejores y más globales correlaciones con el estado hídrico de la planta: 950–970, 1150–1260, and 1520–1540 nm (Sims y Gamon, 2003).

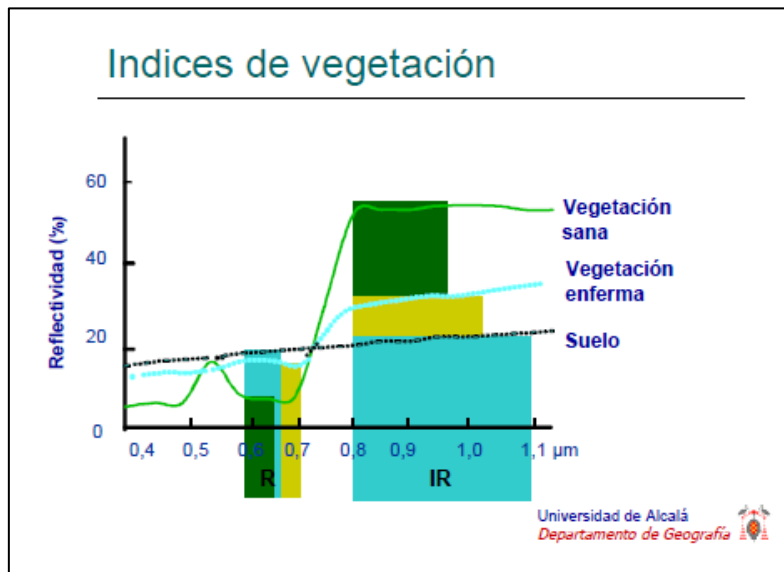


Figura 33. Firma espectral de una cubierta vegetal y del suelo.

La importancia de los algoritmos a la hora de determinar reflectividad y transmitancia y su correspondencia con bioindicadores es clave (Zarco-Tejada et al., 1999). Es decir los datos están ahí (figura 34), hay que obtener unas correlaciones y relaciones reales y para ello el tipo de algoritmo a usar (o índice) es vital a la hora de llevar a buen puerto una investigación de este tipo.

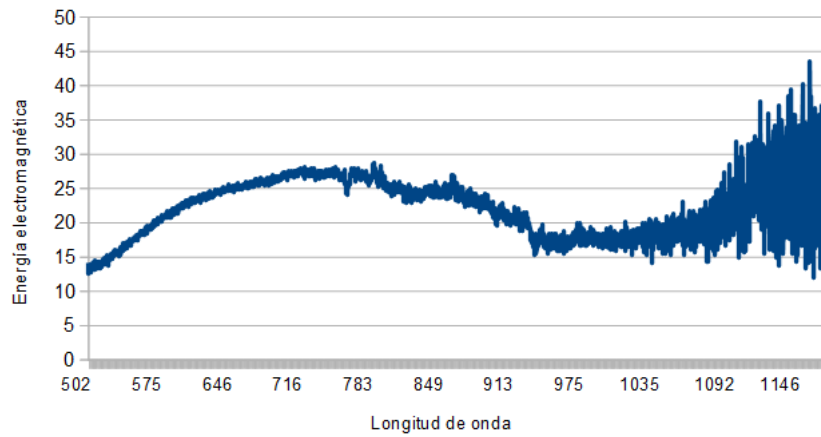


Figura 34. Reflectividad de la cepa 12 A.

Se ha usado un espectrorradiómetro Ocean Optics USB4000, de resolución 0.32 nm con rango espectral entre 500 a 1000 nm (figura 35).



Figura 35. Procedimiento de la medida con el espectrorradiómetro Ocean Optics USB4000.

Para medir con el espectrorradiómetro se necesita sol directo (sin nubes) y sin sombras sobre la zona de medición. Se miden 1) Sobre las dos plantas, 2) Sobre hoja de cada planta, 3) Sobre racimo de cada planta (si lo hubiere). Se mide la reflectividad del dosel

vegetal colocando el sensor con orientación nadiral sobre la planta (aprox. 1.50 m de altura) (figura 35). Usando un ángulo de apertura del sensor: 14°. La reflectividad es calibrada en cada medición mediante un panel blanco estandarizado (Spectralon Labsphere) (figura 36). También se mide la irradiancia solar.



Figura 36. Spectralon Labsphere

Se determinaron los siguientes índices espectrales (tabla 7).

INDEX	INDEX ID	ECUACIÓN	REFERENCIA
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$NDVI = (R_{900} - R_{680}) / (R_{900} + R_{680})$	(Rouse et al., 1973)
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	$SAVI = (1+L) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$	(Huet, 1988)
Water Index	WI	$WI = R_{900} / R_{970}$	(Peñuelas et al., 1993)
Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index	TCARI	$TCARI = 3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (R_{700} / R_{670})]$	(Haboundade et al., 2002b)
Photochemical Reflectance Index	PRI	$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$	(Gamon et al., 1992)
Chlorophyll Normalized Difference Index	CNDI	$CNDI = (R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$	(Peñuelas et al., 1994)
Greenness Index	G	$G = R_{554} / R_{677}$	(Peñuelas et al., 1994)

Carotenoid Chapelle Index	CARChap	$CAR_{Chap} = R_{760}/R_{500}$	(Chapelle et al., 1992)
Carotenoid Blackburn Index	CARBlack	$CAR_{Black} = R_{800}/R_{470}$	(Blackburn, 1998a)

Tabla 9. Recopilación de los índices estudiados en el proyecto.

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

En este estudio, uno de los índices relacionados con el comportamiento de la vegetación ha sido el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)(Rouse et al., 1973). Este índice, clásico en la teledetección, viene determinado por la relación entre la respuesta de reflectividad entre las bandas roja e infrarroja en forma de cociente normalizado:

$$NDVI = \frac{R(900) - R(680)}{R(900) + R(680)}$$

Este índice describe la condición de la planta y es el más usado en teledetección satelital, aerotransportada y con medidas terreno para la caracterización de las coberturas vegetales, su estatus y su interacción con otras variables biofísicas, edafológicas y climáticas. Al estar normalizado, oscila entre -1 y 1. Los valores normales para vegetación, varían entre 0,1 y 1, para plantas en unas buenas condiciones varía entre 0,4 y 0,8.

- Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

$$SAVI = \frac{(1+L) * (R800 - R670)}{(R800 + R670 + L)}$$

$$L=0,1$$

El factor L (línea de suelo) es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación y que está relacionado con la reflectividad del suelo. Para densidades bajas se toma L = 0.1. Este índice se utiliza con el fin de conseguir corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde el aporte de la reflectividad del suelo es elevada (Huet, 1988), ya que el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas pero poco densas, o a cubiertas densas pero con poca vitalidad. Este índice minimiza la influencia del suelo en los datos obtenidos y muestra la cobertura del suelo basándose

únicamente en el follaje (Huete, 1988). Además considera la influencia de la luz y el suelo oscuro en el índice.

- *Water Index (WI)*

Este es un índice que trata de describir el estado hídrico de la cobertura vegetal usando un cociente de bandas en la región del infrarrojo cercano, de la forma:

$$WI = \frac{R_{900}}{R_{970}}$$

En el trabajo de Rodríguez-Pérez et al. (2007) el índice de vegetación WI (Wáter Index), fue uno de los más completos para determinar el estado hídrico. Se centra en la máxima absorción de agua, cercana a los 970 nm de onda, esta relación aumenta con estrés hídrico a nivel foliar, indicando un bajo contenido de agua en la hoja (Peñuelas et al., 1997).

- *Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (TCARI)*

Es un índice cuyo objetivo es describir la actividad clorofílica, siendo el objetivo de su diseño, ser más sensible a bajos niveles de clorofila y más resistente en cuanto valores no fotosintéticos de la vegetación (Haboundade et al., 2002a).

$$TCARI = 3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (\frac{R_{700}}{R_{670}})]$$

- *Photochemical Reflectance Index (PRI)*

Este índice propuesto por Gamon et al. (1992) es un indicador del estado de las xantofilas, muy relacionados con el proceso fotosintético, ha sido usado para calcular la eficiencia lumínica (Serrano y Peñuelas, 2005) y además se ha utilizado para determinar el estrés hídrico en cultivos (Peguero-Pina et al., 2008) en follajes no homogéneos, donde la variación de la estructura vegetal juega un papel importante (Suárez et al., 2009).

$$\text{PRI} = \frac{(\text{R531} - \text{R570})}{(\text{R531} + \text{R570})}$$

Además se usaron otros índices basados en pigmentos, son por ejemplo:

- *Chlorophyll Normalized Difference Index (CNDI)*, $\text{CNDI} = \frac{(\text{R680} - \text{R430})}{(\text{R680} + \text{R430})}$

- *Greenness Index (GREENNESS)*, $G = \frac{\text{R554}}{\text{R677}}$

- *Carotenoid Indices CARChap y Black*, $\text{CAR}_{\text{Chap}} = \frac{\text{R760}}{\text{R500}}$ y $\text{CAR}_{\text{Black}} = \frac{\text{R800}}{\text{R470}}$

En función del estudio de las reflectividades hiperespectrales y de la amplia base de datos generada, se llevó a cabo un análisis estadístico de las variables.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para establecer las relaciones entre las diferentes variables el análisis estadístico utilizado ha sido el coeficiente de correlación de Pearson, que mide la relación lineal entre dos variables x , x' mediante el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones estándar de ambas variables:

$$R = \frac{\sigma_{xx'}}{\sigma_x \sigma_{x'}}$$

donde $\sigma_{xx'}$ es la covarianza de ambas variables:

$$\sigma_{xx'} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)(x'_i - x'_m)$$

Se llevó a cabo un análisis de las correlaciones lineales, entre todos los parámetros, determinado aquellas que fuesen mayores de 0,6.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MONITORIZADOS EN LA CAMPAÑA

5.1.1 MEDIDAS A ESCALA DE HOJA

5.1.1.1 Superficie foliar

La superficie foliar (cm^2), muestra un desarrollo similar en todos los perfiles, aunque haya diferencias entre viñas (figura 37). Este hecho es completamente normal ya que siempre hay vides más vigorosas que la media o menos. Este hecho puede depender de múltiples factores, como son las condiciones climatológicas, la poda, fertilidad del suelo o disponibilidad de agua, entre otras muchas.

La superficie foliar comienza a desarrollarse normalmente en mayo, con el inicio del desborre y la aparición de las primeras pequeñas hojas, prosigue un desarrollo hasta el envero que en el viñedo “Dehesa la Granja”, en el año 2013 se produjo en la mayoría de las parcelas a mediados de agosto. A partir de ese momento se produjo un descenso de la superficie foliar, fruto del agostamiento del cultivo. El vigor de las diferentes cepas es diferente en cada perfil, pudiéndose observar unos valores más moderados en los perfiles 5 y 6 (entre 100 y 200 cm^2 en la fase de meseta) y más vigorosa en el perfil 4 (valores superiores a 200 cm^2 en pleno desarrollo) (figura 37).

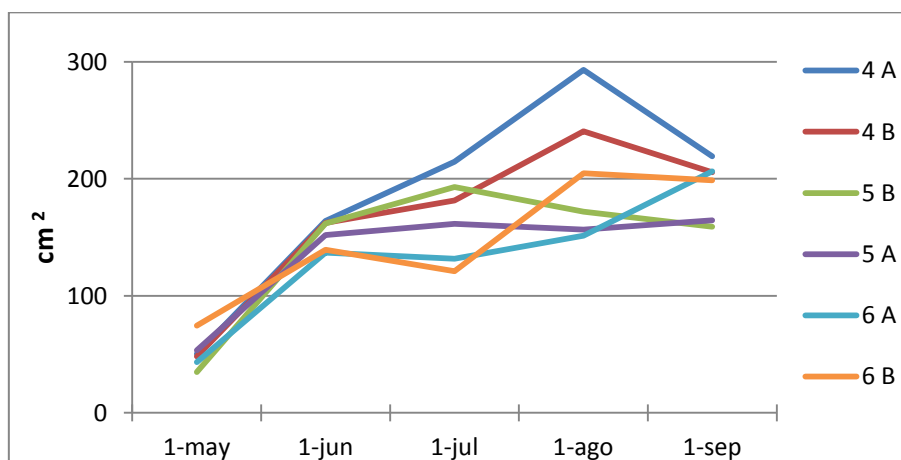


Figura 37. Evolución temporal de la superficie foliar en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.1.2 Porcentaje de agua en las hojas

Los valores arrojados del estudio de estos parámetros en las vides, muestran una clara variabilidad a escala temporal y espacial. Las hojas tienen un porcentaje de agua alto en primavera, y debido a la alta evapotranspiración y al menor contenido de agua durante el verano, disminuye. En términos generales, las hojas no llegan a un bajo nivel de agua durante el verano. El porcentaje de agua en las hojas en mayo es de un 80% en la mayoría de los perfiles, y va disminuyendo hasta un 60% en septiembre, como término general (figura 38).

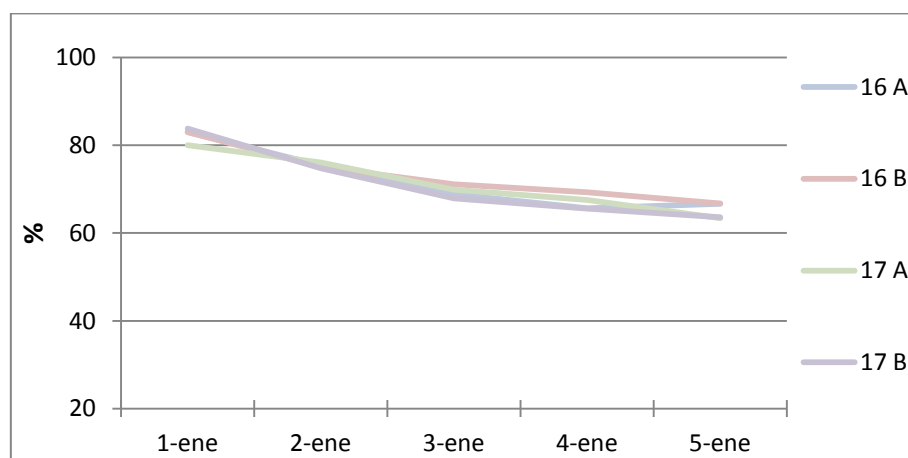


Figura 38. Evolución temporal del porcentaje de agua a escala de hoja en los perfiles N° 16 y 17.

5.1.1.3 Clorofila

Los niveles de clorofila medidos en los 17 perfiles, muestran en términos generales un ascenso a mediados de mayo, cuando comienzan a desarrollarse las vides, prolongándose esa tendencia durante junio y julio hasta que tras el envero, en la mayoría de los perfiles se produce un descenso de la cantidad de clorofila (figura 39). Este comportamiento es el esperado, pero en algunas plantas, tras el envero se produce un repunte de la actividad, el cual puede ser producido por el crecimiento de hojas en los hijos de los pápanos, producido a principios de septiembre (Hidalgo Fernández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011). Este es el caso por ejemplo de las cepas 7B, 8B o 9B por ejemplo.

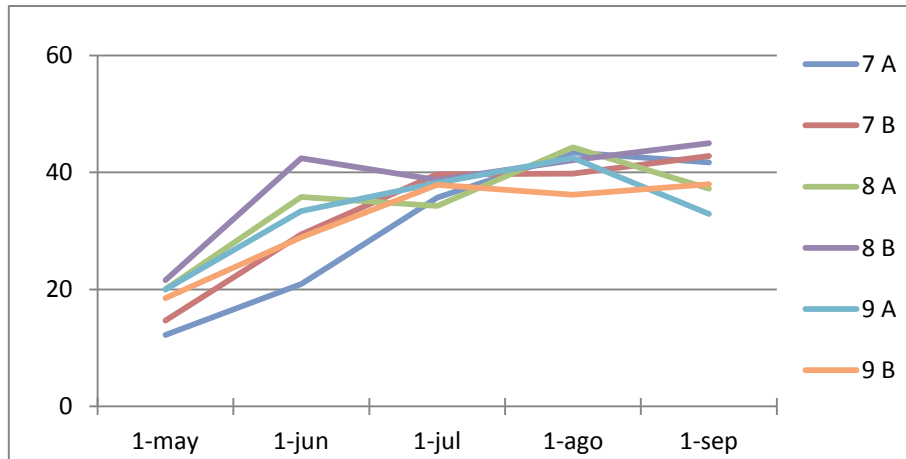


Figura 39. Evolución temporal del contenido de clorofila en los perfiles N° 7, 8 y 9.

5.1.2 MEDIDAS A ESCALA DE PLANTA

5.1.2.1 LAI

La evolución del LAI es similar a la de la superficie foliar, ya que el cálculo de los dos parámetros se fundamenta en los mismos datos. El LAI se caracteriza también por diferencias entre las cepas. Encontrando cepas muy vigorosas, como es el caso de las cepas del perfil N° 4, estos valores se pueden comparar con los semejantes valores para la superficie foliar (figura 37).

La vegetación en las viñas comenzó su crecimiento en mayo, con el inicio del desborre y la aparición de las primeras hojas, (figura 40) prosiguió su desarrollo hasta el envero a mediados de agosto. A partir de ese momento se produjo un descenso de la superficie foliar, debido al agostamiento del dosel vegetal.

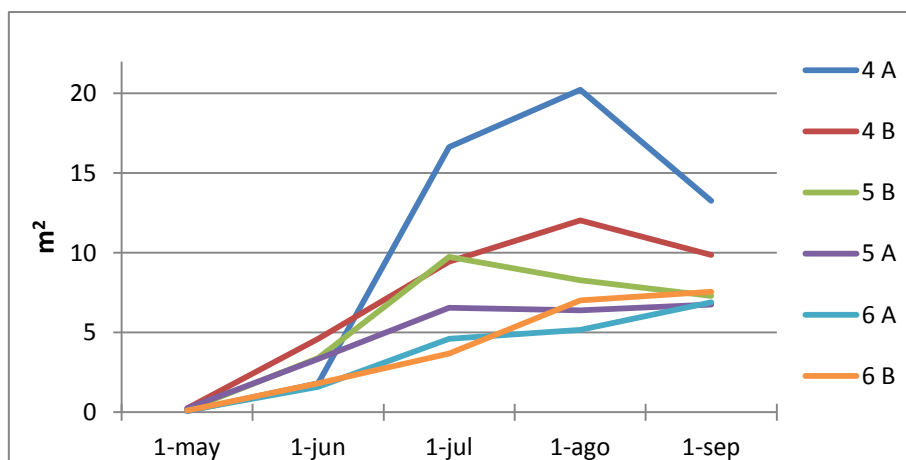


Figura 40. Evolución temporal del LAI en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.2.2 Contenido de agua

El contenido de agua de las cepas en las fases iniciales de desarrollo vegetal es bajo, hasta que comienza un aumento de este contenido fruto de un mayor follaje que demanda más cantidad de agua para poder llevar a cabo su actividad fotosintética y por lo tanto su desarrollo. Los niveles de agua en pleno ciclo (julio, agosto y septiembre), se sitúan en la mayoría de las vides entre los 700 y los 1000 gramos de agua por cepa (figura 41). Las cepas con mayor vigor, al tener un follaje más frondoso, por ende tienen un mayor nivel de agua, como es el caso por ejemplo de las cepas del perfil 4, que ya fueron mostradas en los valores de LAI (figura 42). El contenido de agua en las plantas aumenta durante el ciclo, debido a la disponibilidad de agua en el perfil del suelo. Dichos perfiles muestran una disminución en el contenido de humedad a finales del ciclo de la vid.

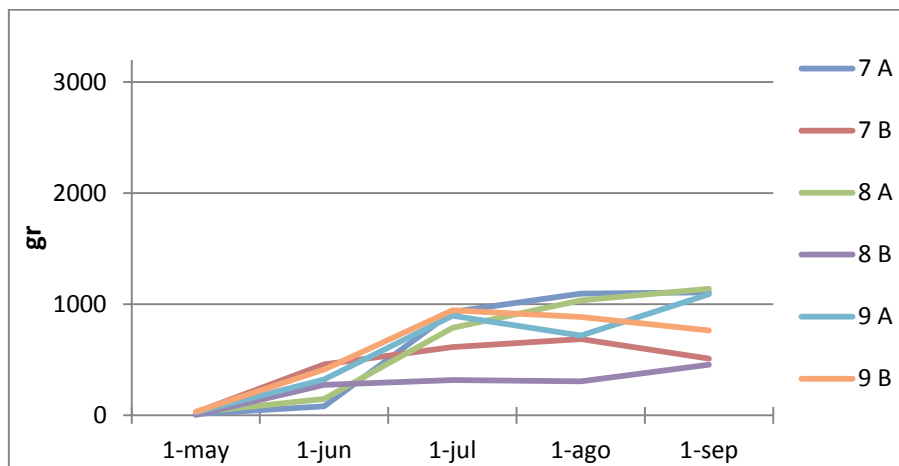


Figura 41. Evolución temporal del contenido de agua de las cepas en los perfiles N° 7, 8 y 9.

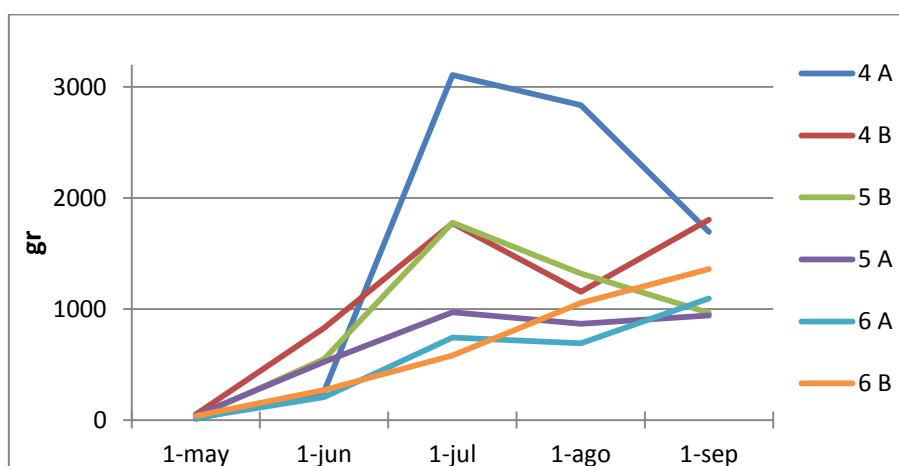


Figura 42. Evolución temporal del contenido de agua de las cepas en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.2.3 Humedad del suelo

La campaña 2013, se caracterizó por ser extraordinariamente húmeda (figura 43) con un total de 330 mm/cm² de precipitación anual. Si comparamos un año catalogado como “seco” por los viticultores como el de la campaña del 2011, la diferencia es de 95 mm/cm².

Por lo tanto el año 2013, en el que se desarrolla la campaña de toma de datos fue pluviométricamente abundante, ya que las copiosas lluvias de invierno y primavera (figura 44) supusieron un gran reservorio de humedad en el suelo.

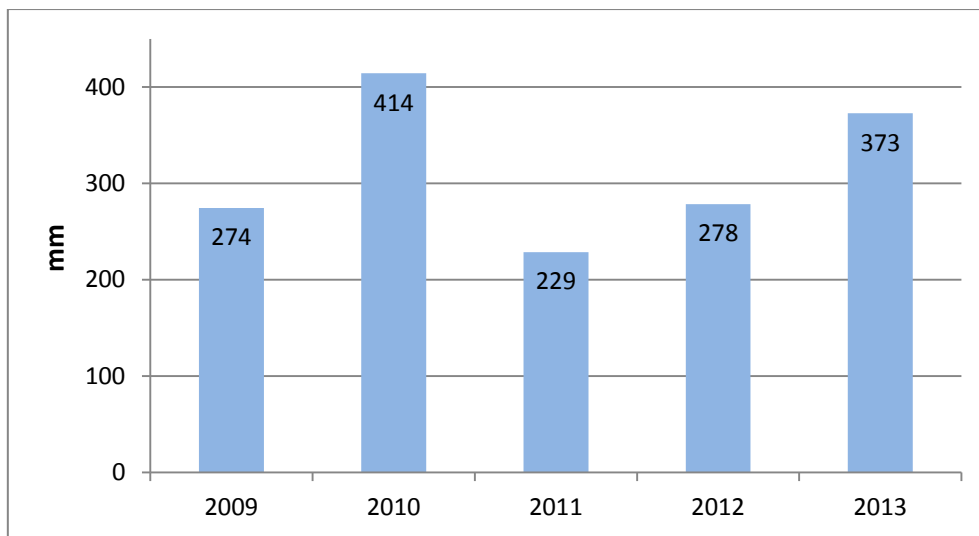


Figura 43. Precipitaciones de los últimos 5 años medidas en la estación meteorológica de “Dehesa la Granja”.

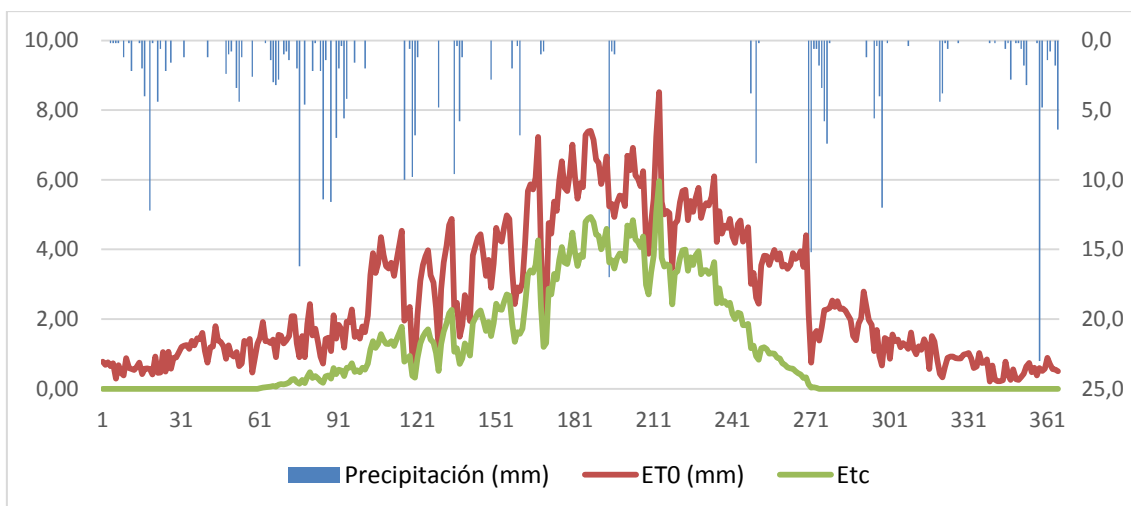


Figura 44. Representación gráfica de la precipitación, ET0 y ETC.

Las plantas en todo el ciclo tuvieron un nivel de humedad adecuado, cercano a la capacidad de campo en primavera y sin sobrepasar el punto de marchitez de las plantas. Estos niveles fueron calculados con los valores de FAO (Allen et al., 2006a) basados en el tipo de clase textural de cada perfil (figura 45).

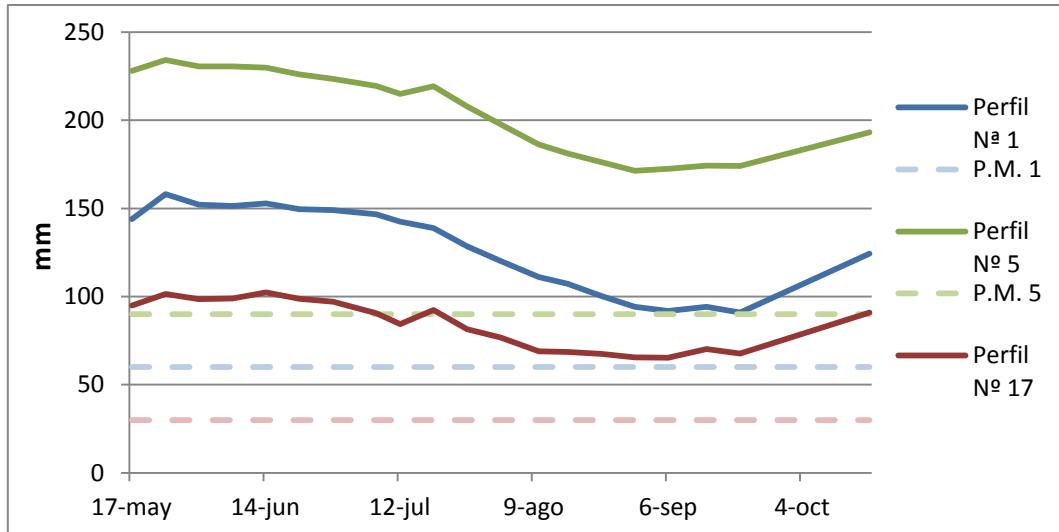


Figura 45. Evolución temporal y Punto de Marchitez de los perfiles N° 1, 5 y 17.

Solo se dio el caso de un perfil de los 17 que sufrió un ligero estrés hídrico en los meses agosto y septiembre. Este estrés no fue acusado, pues la duración no excedió los 40 días y los niveles fueron inferiores a 10 mm/cm^2 (figura 46). Esto pudo ser debido a la profundidad del perfil (70cm), y que el suelo es Arenoso Franco por poseer altos valores de arena.

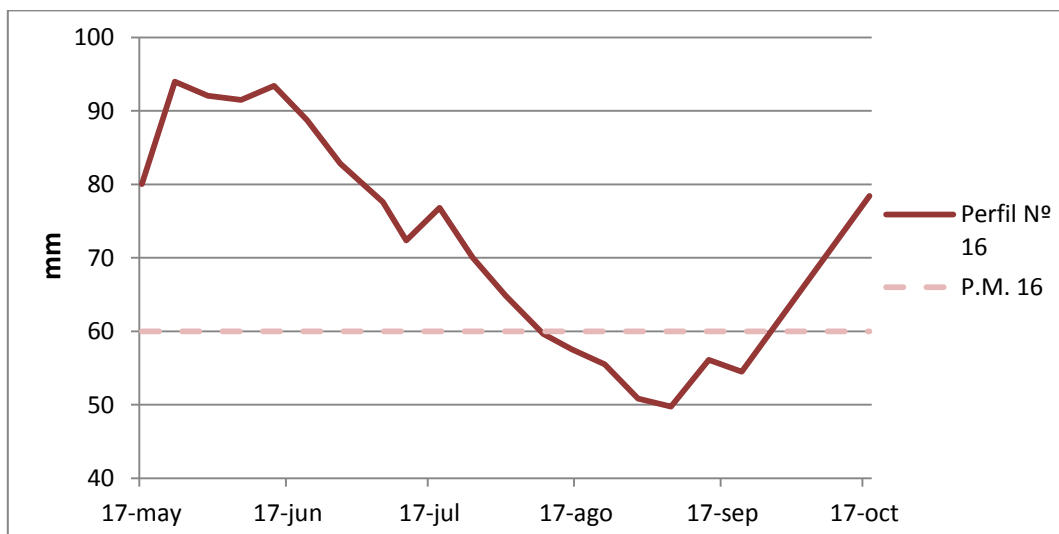


Figura 46. Evolución temporal y Punto de Marchitez del perfil N° 16.

5.1.3 MEDIDAS DE CALIDAD DE UVA

Los datos mostrados son el promedio de los racimos de las cepas A y B en cada perfil. Los datos arrojados mediante los análisis cualitativos de las uvas se caracterizan por ser unos parámetros propios de una vendimia de calidad buena (tabla 10), con valores de pH en torno a 3, poco variable en todas las muestras, un Brix entre 20 y 23°. Una buena acidez de unos 6 g/L de tartárico y un peso total muy variable de las cepas, situándose en una horquilla de entre medio kilo y 5 kg por cepa, siendo la mediana 1,7 kg por vid.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
pH	3,4	3,3	3,1	3,1	3,1	3,0	3,1	3,2	3,1	2,9	3,1	3,1	2,9	2,9	3,0	2,9	3,1
Brix_corregido (20°C)	22,3	21,9	20,9	22,1	22,3	22,8	22,7	22,9	21,0	22,3	21,3	22,4	20,6	20,5	20,9	21,5	21,9
g/L tartarico	5,8	5,3	6,3	6,3	6,0	7,0	6,1	5,6	5,7	6,6	6,0	6,9	6,3	7,2	6,8	6,6	4,7
Peso total racimos (kg)	0,5	0,9	3,3	1,2	0,9	2,1	1,6	1,4	2,2	3,2	4,3	0,4	2,1	4,9	1,7	2,8	1,3

Tabla 10. Resumen de las variables enológicas analizadas.

5.1.4 MEDIDAS ESPECTRALES

5.1.4.1 NDVI y SAVI

La variación de NDVI y SAVI de unos perfiles a otros se debe a las fluctuaciones en vigor observadas en las vides. La tendencia de este índice muestra una acentuada ascensión cuando se están desarrollando las cepas (figura 47) y una posterior estabilización durante el crecimiento, hasta un posterior descenso tras el envero. Las mínimas diferencias entre NDVI y SAVI se deben a que este último corrige los efectos de la reflectividad del suelo (figura 48).

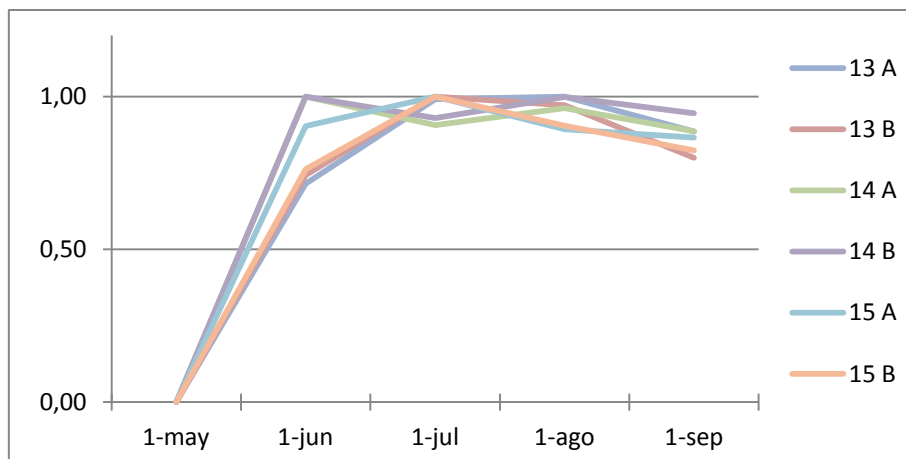


Figura 47. Evolución temporal de NDVI en los perfiles N° 13, 14 y 15.

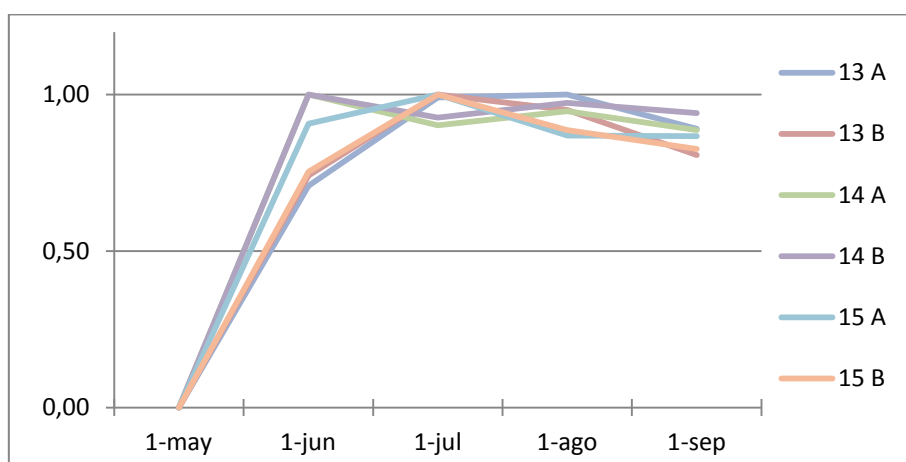


Figura 48. Evolución temporal de SAVI en los perfiles N° 13, 14 y 15.

5.1.4.2 WI

En términos generales, en la mayoría de los perfiles la evolución temporal sigue el mismo patrón, con un contenido máximo a principios de junio y un fuerte descenso hasta principios de septiembre, tras el cual sufre un ligero repunte (figura 49).

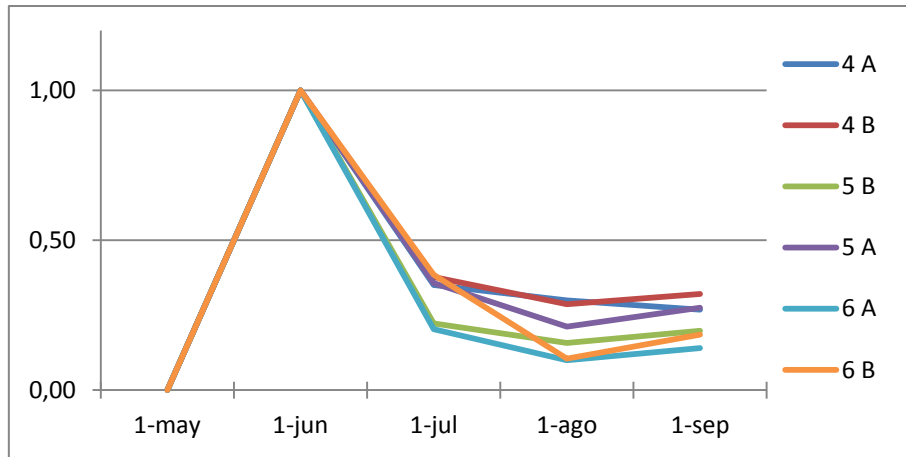


Figura 49. Evolución temporal de WI en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.4.3 CAR Chap y Black

Sufren una variación tanto temporal, como espacial muy similar al índice WI, con un pico en junio y un acusado descenso de los niveles a mediados de junio, que prosigue con una clara estabilización hasta septiembre (figuras 50 y 51). Los valores de CAR Chap y CAR Black son tremendamente similares en la totalidad de los perfiles y a lo largo del ciclo.

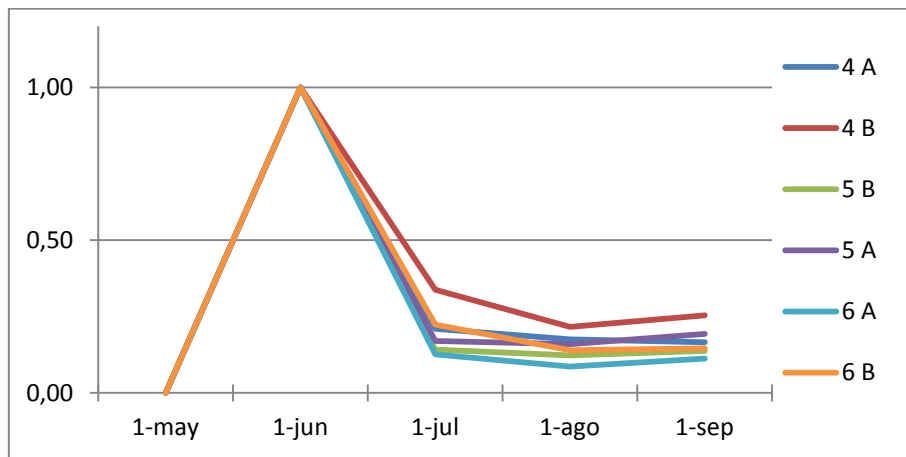


Figura 50. Evolución temporal de CAR Chap en los perfiles N° 4, 5 y 6.

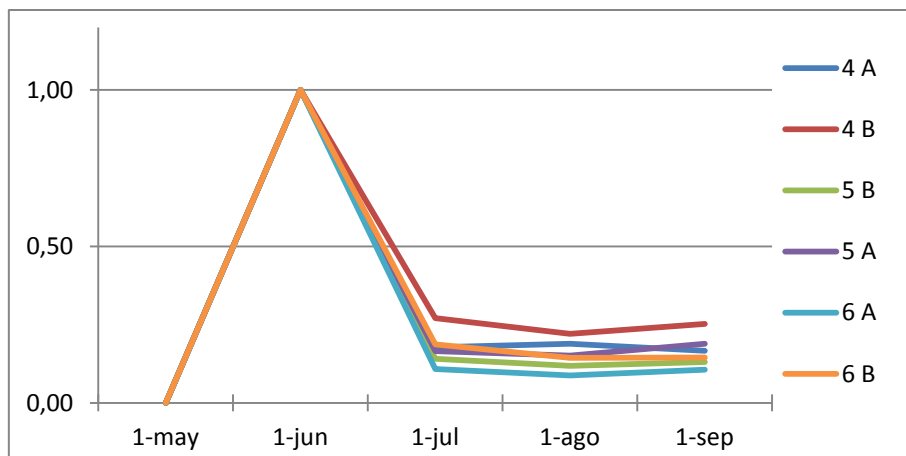


Figura 51. Evolución temporal de CAR Black en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.4.4 TCARI

Este índice clorofílico mostró un comportamiento variable de unos perfiles a otros. Los valores se caracterizaron por un aumento progresivo desde las primeras medidas en mayo y junio, tras alcanzar un máximo a mediados de julio. A partir de ese momento los valores descienden hasta agosto, momento en el cual, repunta (figura 52). En otros casos, el comportamiento de las cepas en la fase central del ciclo de crecimiento se estabiliza (figura 53).

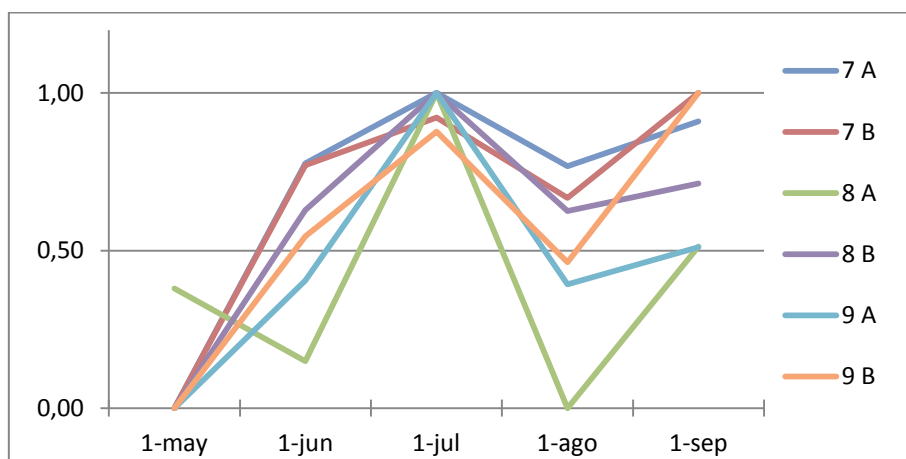


Figura 52. Evolución temporal de TCARI en los perfiles N° 7, 8 y 9.

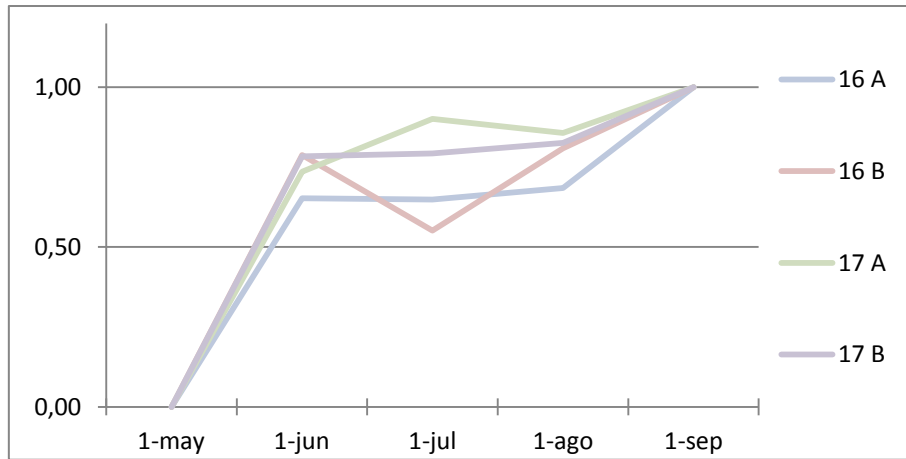


Figura 53. Evolución temporal de TCARI en los perfiles N° 16 y 17.

5.1.4.5 CNDI

Los valores medios obtenidos muestran en la mayoría de los perfiles valores altos que coinciden con la fase de plena actividad fotosintética de la vid. El comportamiento de este índice arrojó una fase inicial de mayo a junio, una posterior estabilización tras la cual se produce una caída de los valores a mediados de agosto (figura 54).

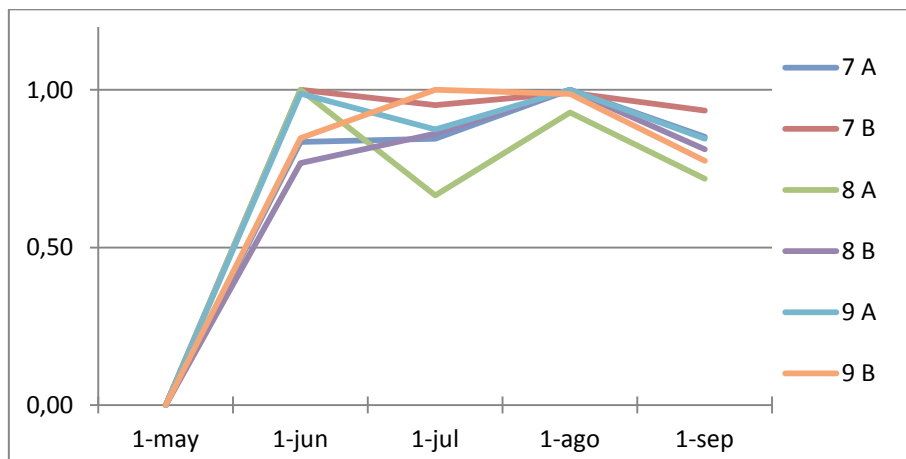


Figura 54. Evolución temporal de CNDI en los perfiles N° 7, 8 y 9.

5.1.4.6 PRI

Se obtuvieron valores muy homogéneos de este índice en la mayoría de las cepas, con un comportamiento a lo largo del ciclo caracterizándose por un intenso ascenso de los niveles desde junio hasta mediados de agosto, pasando posteriormente a una fase de descenso (figura 55).

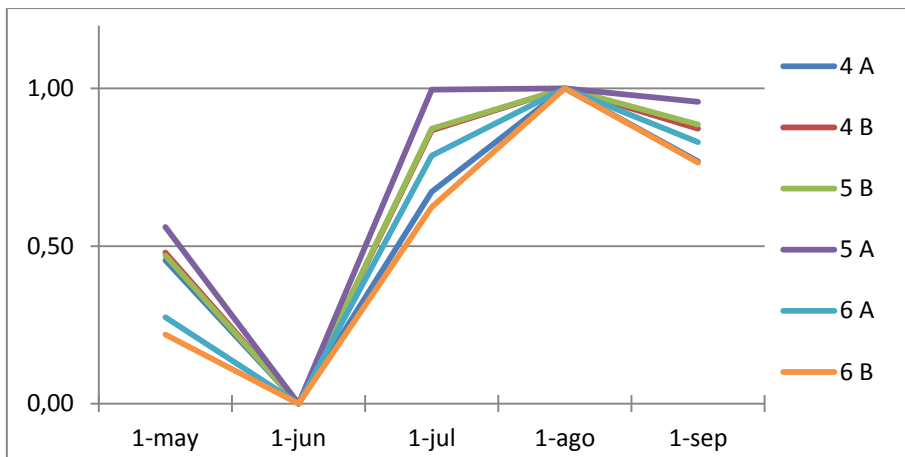


Figura 55. Evolución temporal de PRI en los perfiles N° 4, 5 y 6.

5.1.4.7 GREENNESS

Este índice mostró un comportamiento errático, tanto espacialmente como temporalmente, podemos apreciar tendencias ascendentes y descendentes, según los perfiles durante el ciclo de crecimiento de la vid (figura 56).

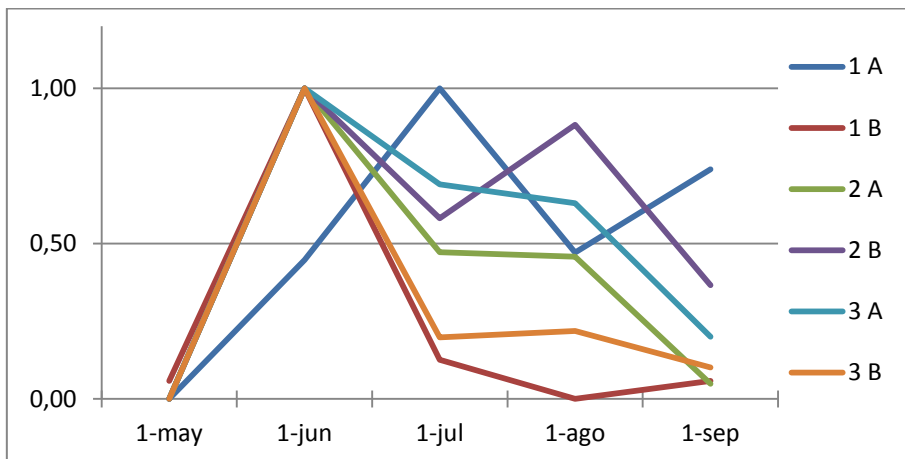


Figura 56. Evolución temporal de GREENNESS en los perfiles N° 1, 2 y 3.

5.2 Correlaciones entre parámetros y medidas espectrales

Debido a la ingente cantidad de datos que generó el estudio se muestran los resultados de las variables que han mostrado mejor correlación con las medidas espectrales, a nivel de planta, hoja, suelo y uva. Por lo tanto se obvian datos que no han sido capaces de arrojar luz a la relación de los IV con las medidas fisiológicas de las cepas.

Inicialmente se llevo a cabo un análisis estadístico de la relación de los parámetros y variables medidas y estimadas tanto a nivel de planta y hoja, que se contabilizaron para cada cepa, A y B, en 17 perfiles distintos, obteniéndose un total de 34 puntos. De este modo, mediante un análisis de correlación, se seleccionaron los valores con un coeficiente de correlación (R de Pearson) superiores a 0,6 (-0,6 para las correlaciones negativas). En las tablas se presenta el número de casos (entre los 34 posibles) con un R dentro de ese rango. Todos los resultados que se muestran resultaron estadísticamente significativos a un nivel de significación (p-valor) del 0.05.

Para una mejor visualización de los datos, en las figuras posteriores, los valores de los resultados han sido previamente normalizados (Barba-Romero y Pomerol, 1997), mediante la fórmula:

$$v_i = \frac{a_i - \min a_i}{\max a_i - \min a_i}$$

Se muestran dos figuras que resumen el comportamiento en cada caso de los 17 perfiles. Cada figura muestra el comportamiento de dos vides a los índices hiperespectrales de cada caso.

5.2.1 RESULTADOS DE LAS MEDIDAS A ESCALA DE HOJA

Los parámetros medidos de cada planta (A y B) a nivel foliar fueron la superficie foliar (cm²), contenido en agua de las hojas (gr) y % de agua de las hojas y clorofila. Estos parámetros se comparan con los índices de vegetación, con el objetivo de estudiar si sería posible estimar, de manera indirecta mediante radiometría, el estado hídrico y vegetativo de la planta. A escala de hoja se encontraron relaciones significativas entre la superficie foliar, el contenido de agua, la clorofila y algunos índices espectrales, sugiriendo una posible relación también a escala de planta entre el LAI y los mismos.

Se encontró una persistente correlación entre la superficie foliar y el NDVI, concretamente se producen correlaciones positivas mayores de 0.6 en 25 plantas (tabla 11). Esta relación ha sido ampliamente demostrada en la literatura (Sánchez et al., 2012,

Jackson et al., 2004), aunque resulta novedosa a escala de hoja de plantas de viña. Además, el NDVI también se relaciona en gran medida con el estado hídrico (en forma de contenido de agua y de porcentaje de agua), y con el contenido de clorofila, en 23 plantas.

Similarmente al NDVI, el SAVI también presenta altas correlaciones, aunque cabe destacar que es de menor utilidad debido a que es un índice planteado para eliminar los efectos del suelo (Huete, 1988), que a escala de hoja carece de sentido. Aunque en menor medida, otros índices como el CNDI también presentan un buen comportamiento para detectar agua y clorofila, siendo un índice mucho menos usado en la radiometría.

Estos resultados son de gran interés, ya que indican que mediante medidas espectrales sencillas, como medidores de NDVI o reflectividad se puede obtener de manera directa el área foliar, parámetro que es arduo de obtener especialmente en campo. Y más interesante aún de cara a aplicaciones agrológicas, es la posibilidad de comprobar de manera directa el estado hídrico (necesidad de riego, estado de madurez de la uva, etc.) y el contenido de clorofila de las plantas. Un siguiente paso sería relacionar estas variables con parámetros indicadores de las uvas, para facilitar el seguimiento de la producción y calidad de las uvas.

Por el lado de las bajas correlaciones, cabe destacar que los índices más relacionados con los pigmentos (CAR, PRI, Greenes) no arrojan resultados interesantes para detectar clorofila, con un número de correlaciones relativamente bajo.

		NDVI	SAVI	WI	CAR Chap	CAR Black	TCARI	PRI	CNDI
HOJA	SUPERFICIE FOLIAR	25	22	4	3	2	12	9	18
	CONT. AGUA	22	16	4	6	3	10	7	16
	% AGUA	17	15	6	14	8	12	12	16
	CLOROFILA	23	18	3	6	2	11	14	20

Tabla 11. Resultados de las correlaciones observadas a escala de hoja.

5.2.1.1 Superficie foliar y NDVI

La tendencia durante todo el ciclo es ascendente desde el estado de salida de las hojas, sobre el mes de mayo, hasta el agostamiento de las mismas, iniciándose a partir del enero, que se produjo a mediados de agosto (figuras 57 y 58). Esta tendencia coincide con la forma de meseta del NDVI y el LAI que se ha observado típicamente en multitud de estudios (Calera et al., 2004).

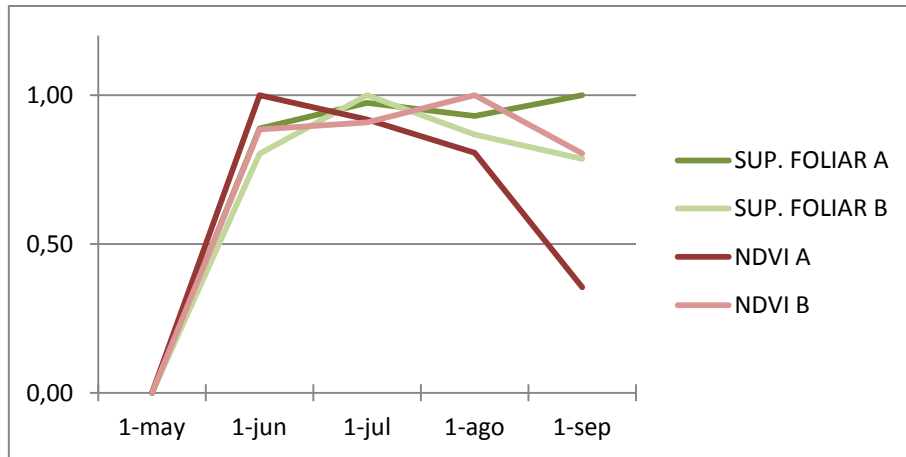


Figura 57. Serie temporal de la superficie foliar y NDVI en el perfil N°5.

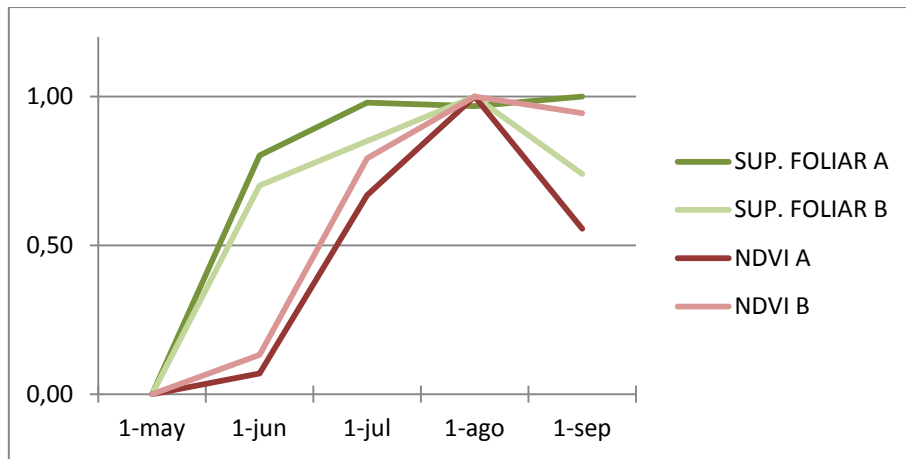


Figura 58. Serie temporal de la superficie foliar y el NDVI en el perfil N° 13.

Los valores a nivel de hoja de superficie foliar y NDVI, resultan ser más sensibles a los cambios, sobre todo por el acusado descenso tras el envero. Esta sensibilidad podría estar causada por la medida más precisa a nivel foliar que en el conjunto de la planta.

5.2.2 RESULTADOS DE LAS MEDIDAS A ESCALA DE CEPA

Los parámetros fisiológicos de la cepa medidos fueron LAI (m^2), contenido de agua en cada vid (gr) y humedad del perfil del suelo medida durante el ciclo vegetativo (mm/cm^2). Se apreciaron múltiples correlaciones para cada uno de los valores. (tabla 12). Los valores en rojo presentan una correlación negativa. De manera general, se repiten a escala de planta los resultados a escala foliar. NDVI, SAVI y CNDI presentan correlación con el LAI y el contenido de agua. En este caso, además, se incorpora el TCARI como indicador de estos parámetros a escala de planta. Y se repiten las bajas correlaciones de los índices de pigmentos. Los índices WI, CAR_Chap y CAR_black, junto con el Greenness, tienen poca capacidad como estimadores de parámetros, ya que hay pocos casos en los que la correlación tenga un valor alto. No resulta sorprendente que esta baja capacidad sea similar en los cuatro, ya que están muy correlacionados entre sí.

La medida de la clorofila no ha mostrado una clara correlación con índices que determinan la actividad fotosintética como es el caso de TCARI o CNDI, además los valores de este parámetro mostraron una distribución sin un patrón claramente definido.

Cabe resaltar la correlación negativa entre índices y humedad de suelo. Se explica por la evolución contraria entre el desarrollo de la planta, creciente hasta más allá del envero, y la disminución paulatina de agua en el suelo debido al avance del verano y al consumo de agua por la planta. Hay que indicar que la variable ‘humedad de suelo’ representa en realidad todo el contenido agua en el perfil de suelo explorable por la planta.

		NDVI	SAVI	WI	CAR Chap	CAR Black	TCARI	PRI	CNDI	GREENNES S
CEPA	LAI	29	30	3	3	3	25	22	28	7
	CONTENIDO DE AGUA	30	26	4	3	3	25	19	25	6
	H. SUELO	11	10	2	2	3	13	28	16	3

Tabla 12. Resultados de las correlaciones observadas a escala de cepa.

Es extraño que no haya habido una alta correlación entre el estado hídrico del viñedo y el comportamiento de WI, como estudios anteriores habían mostrado (Serrano et al., 2010). Por el contrario, PRI presentó una alta correlación negativa para el contenido de agua de las cepas, lo que hace pensar que puede ser un buen indicador del estado hídrico del viñedo, como ya habían atestiguado Gamon et al. (1992). No obstante, como para el resto de resultados, sería necesaria una segunda campaña para corroborar estos resultados.

A nivel de cepa, los índices de vegetación NDVI y SAVI tienen potencial para describir fielmente el ciclo vegetativo, teniendo unos valores muy similares, aunque SAVI tenga un factor de corrección por el cual se corrige la reflectividad del suelo. Estos datos ya habían sido constatados (Myneni et al., 2002, Fensholt et al., 2004), por lo que eran esperables.

Resulta interesante la información mostrada por los índices clorofílicos como TCARI y CNDI, siendo muy fieles al desarrollo de la actividad fotosintética.

Existe una alta correlación entre el contenido en agua de la cepa, los valores de vigor y actividad fotosintética como son NDVI, SAVI, TCARI y CNDI. Esto es debido a que cuando no existe estrés hídrico como ha sido el caso de esta campaña, una amplia disponibilidad de agua tiene consecuencias positivas para el desarrollo del follaje (Hidalgo Frenández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011). Este hecho ya había sido contrastado por varios investigadores en diversos estudios (Acevedo-Opazo et al., 2008, Zarco-Tejada et al., 2005), muchos de los cuales habían llegado a esa conclusión con otros cultivos (Sánchez et al., 2012) pero no había sido tan estudiada para el caso de la vid.

A continuación se indican de manera detallada algunas de las relaciones más consistentes a escala de planta (tomando como umbral un número de correlaciones mínimo de 25 cepas de las 34 monitorizadas).

5.2.2.1 LAI y NDVI

Lo esperado en este tipo de medidas de vigor es un aumento desde que aparecen las primeras hojas hasta el envero (mediados de agosto), cuando se detiene el crecimiento y disminuye la actividad fotosintética hasta el angostamiento. Consecuentemente, un índice como NDVI, medidor de vigor, se espera que siga una tendencia similar (figura 59). Esto es debido a que una vez transcurrido el cese de crecimiento, la estructura anatómica del pámpano se modifica, generalmente desde la base hasta la extremidad del brote (Hidalgo Frenández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011), siendo perceptible por la aparición de un color amarillo caramelo en los pámpanos.

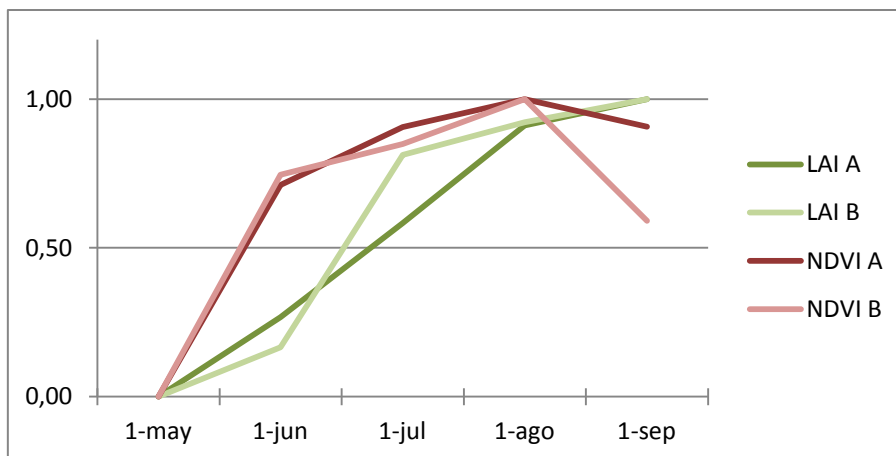


Figura 59. Serie temporal de LAI y NDVI en el perfil N° 10.

En la mayoría de las cepas, el patrón de NDVI es el mismo, produciéndose un ascenso cuando la vid está llevando a cabo un rápido crecimiento en primavera, y una ligera estabilización entre julio y agosto, tras la cual se produce un descenso de los valores de este índice, fruto de una menor actividad fotosintética del follaje (figura 59 y 60).

Este hecho se debe a que una vez que finaliza el periodo herbáceo (con el inicio del envero) se produce una casi total cesación temporal del crecimiento y una pérdida progresiva de la clorofila hasta la caída de las hojas (González-Hidalgo et al., 2010). Es por ello que el comportamiento de este índice se explica por el comportamiento fisiológico de la vid.

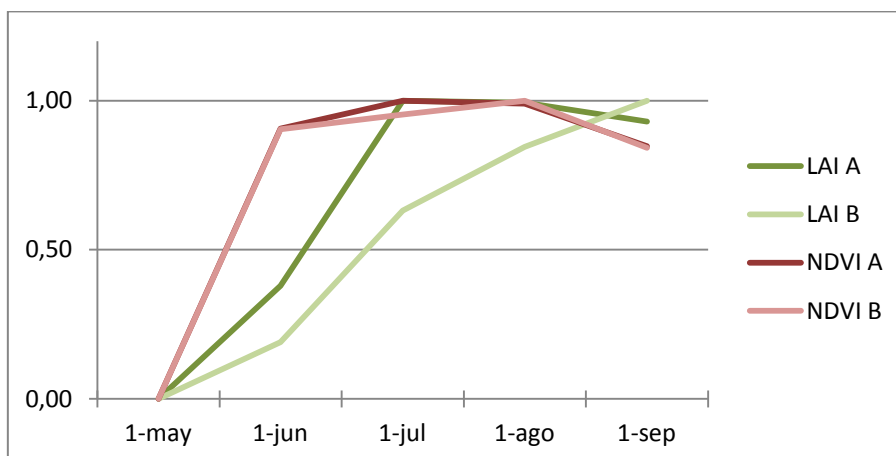


Figura 60. Serie temporal de LAI y NDVI en el perfil N° 17.

5.2.2.2 LAI y SAVI

Lo esperado en estas medidas es muy similar al caso del LAI con NDVI (figuras 61 y 62), ya que el crecimiento vegetativo de la vid sufre una parada en el momento del envero (Hidalgo Fernández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011). La diferencia es que en este caso el índice de vegetación SAVI corrige los efectos de la reflectividad del suelo, lo cual es relevante en una medida sobre el dosel vegetal, ya que el espectrorradiómetro capta la superficie de hojas que interceptan la luz natural, pero también zonas del suelo por debajo del dosel.

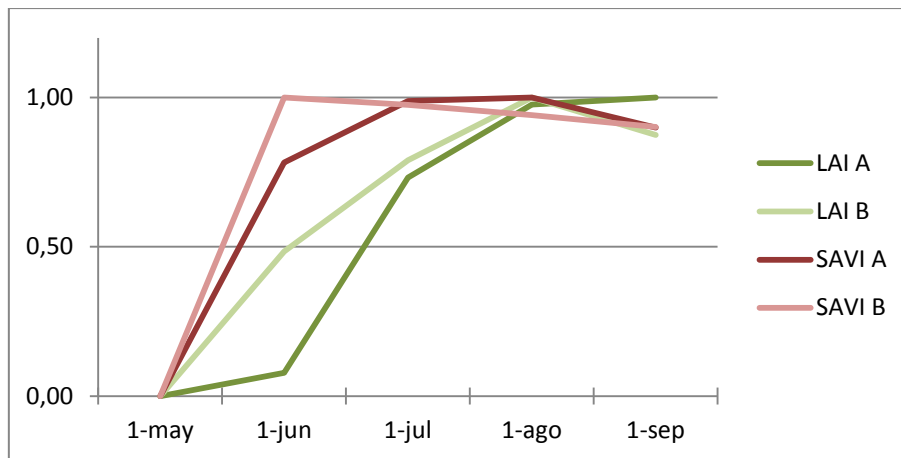


Figura 61. Serie temporal de LAI y SAVI en el perfil N° 4.

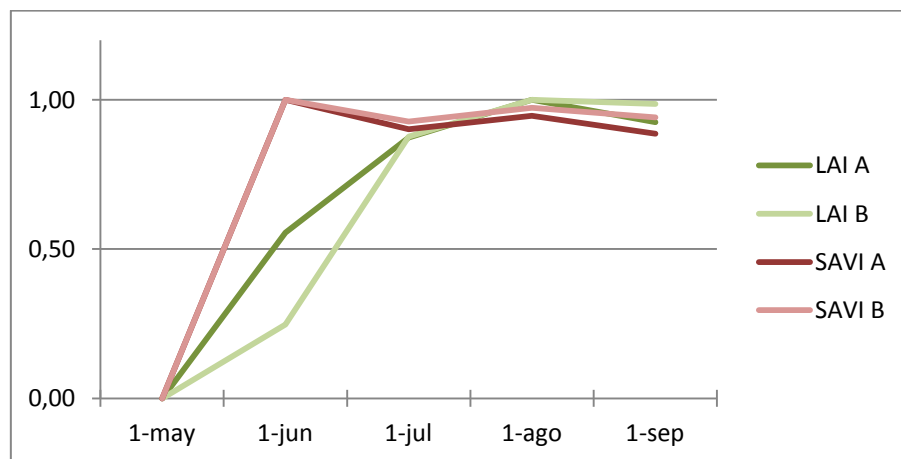


Figura 62. Serie temporal de LAI y SAVI en el perfil N° 14.

5.2.2.3 LAI y TCARI

Este índice describe la actividad clorofílica, siendo sensible a bajos niveles de clorofila y a valores no fotosintéticos, por lo que se espera que describa la actividad fotosintética. Por ello no es de extrañar que describa correctamente el desarrollo foliar, donde se realiza la fotosíntesis. El comportamiento de este índice describe un aumento de la actividad desde el inicio del ciclo herbáceo hasta mediados de julio que se produce un descenso hasta el envero, momento en el cual se aprecia un repunte de la actividad. Este repunte se podría deber a que al final del verano aparecen pequeñas hojitas en las puntas de los nietos, es un crecimiento originado por una pequeña actividad en la multiplicación celular de la planta (Hidalgo Frenández-Cano y Hidalgo Tobores, 2011).

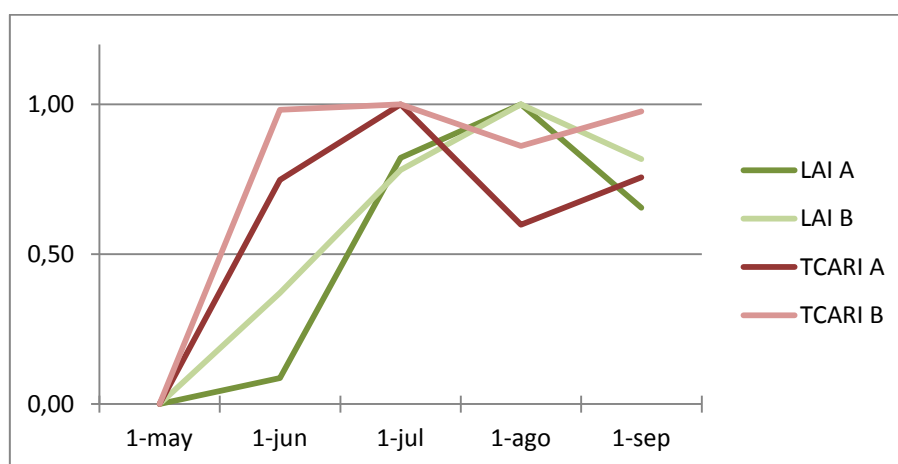


Figura 63. Serie temporal de LAI y TCARI en el perfil N° 4.

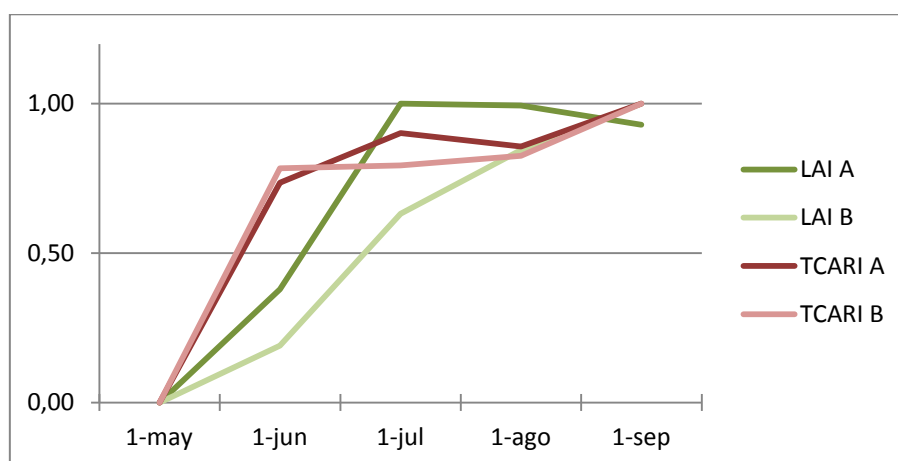


Figura 64. Serie temporal de LAI y TCARI en el perfil N° 17.

5.2.2.4 LAI y CNDI

Este tipo de índice nos da información sobre la actividad de los pigmentos fotosintéticos, en los que el comportamiento a esperar es una intensa actividad en la fase de crecimiento vegetal hasta el envero y una posterior disminución de la actividad (figuras 65 y 66). Al igual que los índices anteriores, es indicador del LAI.

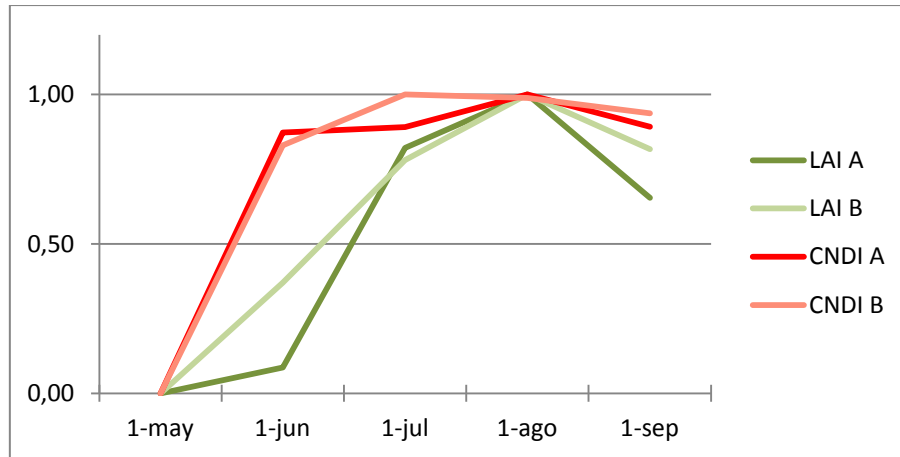


Figura 65. Serie temporal de LAI y CNDI en el perfil N° 4.

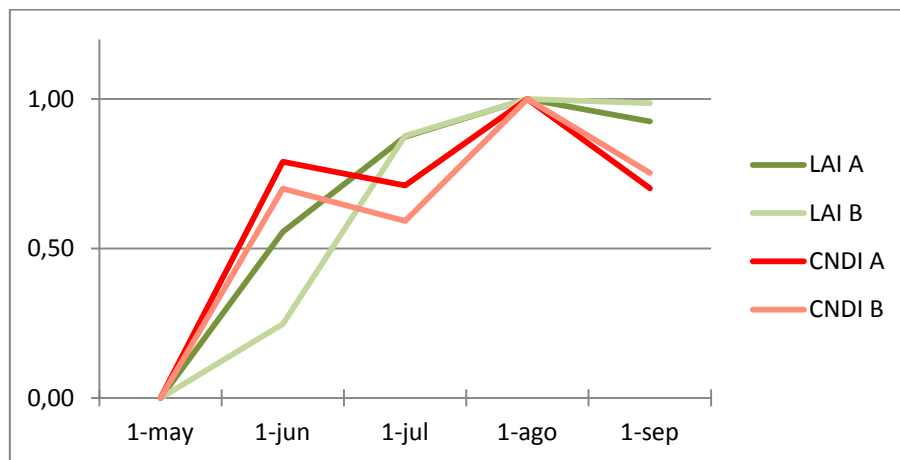


Figura 66. Serie temporal de LAI y CNDI en el perfil N° 14.

5.2.2.5 Contenido de agua en la planta, NDVI y SAVI

Los datos analizados muestran un comportamiento muy variable de unas cepas a otras en el contenido de agua. Pudiéndose encontrar curvas a final del ciclo tanto ascendentes como descendentes y valores diferentes en los perfiles (figuras 67, 68 y 69). Los valores de NDVI son los esperables y anteriormente observados, con un máximo en torno al envero y un posterior descenso.

El índice SAVI muestra un comportamiento vegetativo de las cepas muy similar a NDVI (figuras 68 y 69). Es por ello que las figuras corresponden a los mismos perfiles en ambos casos, para poder apreciar las semejanzas.

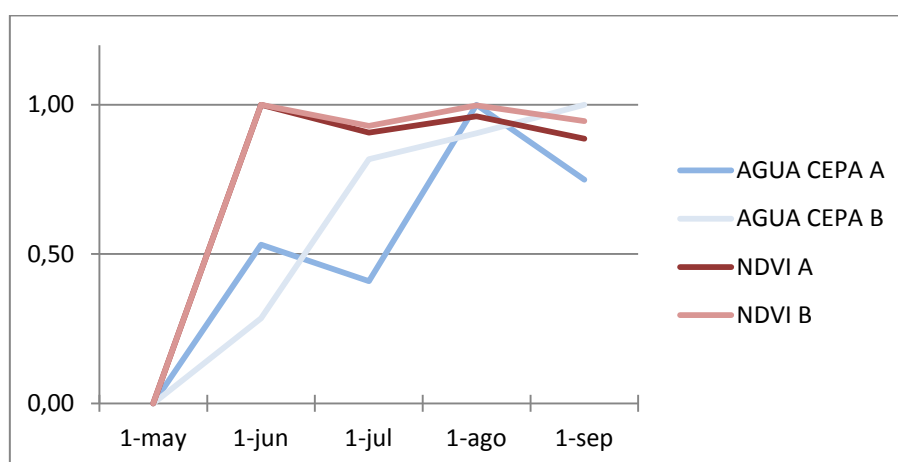


Figura 67. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y NDVI en el perfil N° 14.

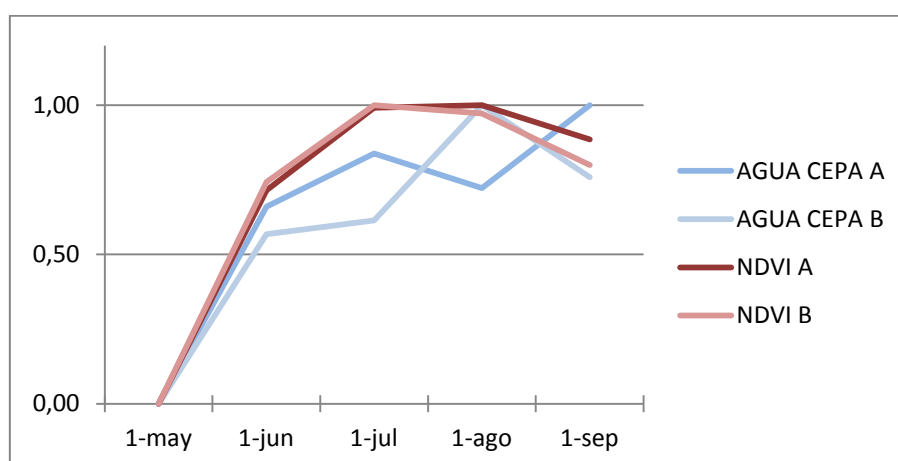


Figura 68. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y NDVI en el perfil N° 13.

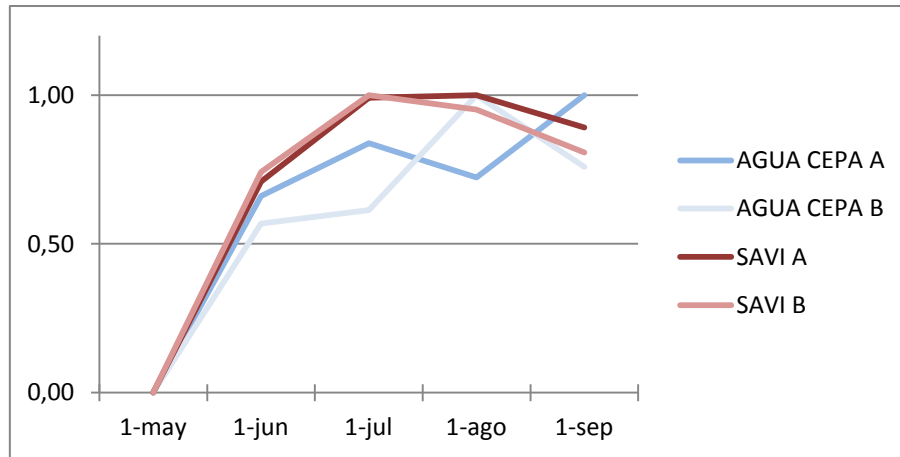


Figura 69. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y SAVI en el perfil N° 13.

5.2.2.6 Contenido de agua en la vid y TCARI

TCARI describe correctamente el desarrollo foliar, ya que es sensible a bajos niveles de clorofila y a valores no fotosintéticos. Por lo cual es tremendamente dependiente del estado hídrico de la planta ya que con altos valores de contenido de agua en la cepa se esperan altas tasas fotosintéticas, como se puede apreciar (figuras 70 y 71).

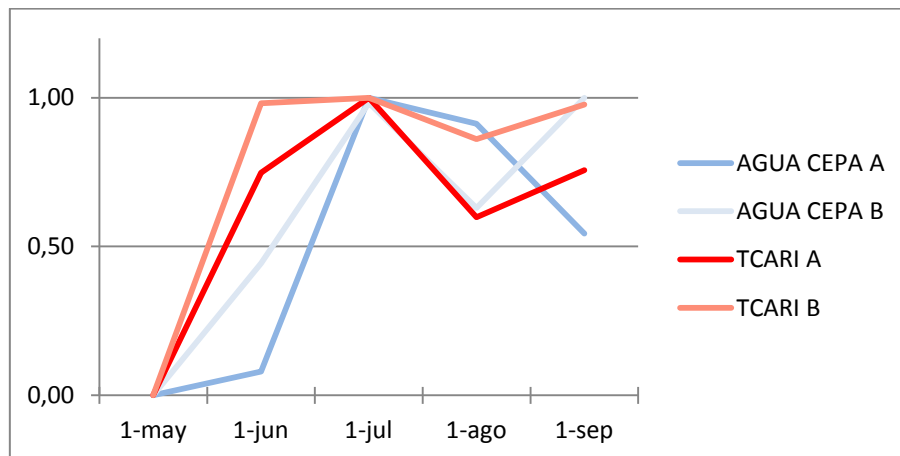


Figura 70. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y TCARI en el perfil N° 4.

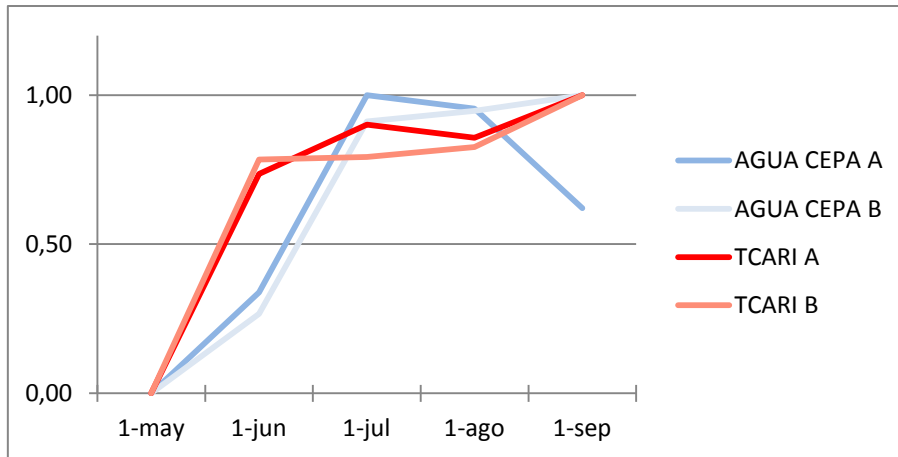


Figura 71. Serie temporal del contenido de agua en la cepa y TCARI en el perfil N° 17.

5.2.2.7 Humedad del suelo y PRI

En este caso la correlación obtenida es negativa, con altos contenidos de humedad en el suelo se aprecian bajos niveles de PRI y en el caso contrario, con baja humedad, podemos observar valores altos de este índice (figuras 72). Este efecto, como se indicó, es coherente con el desarrollo de la planta y el agotamiento progresivo del suelo.

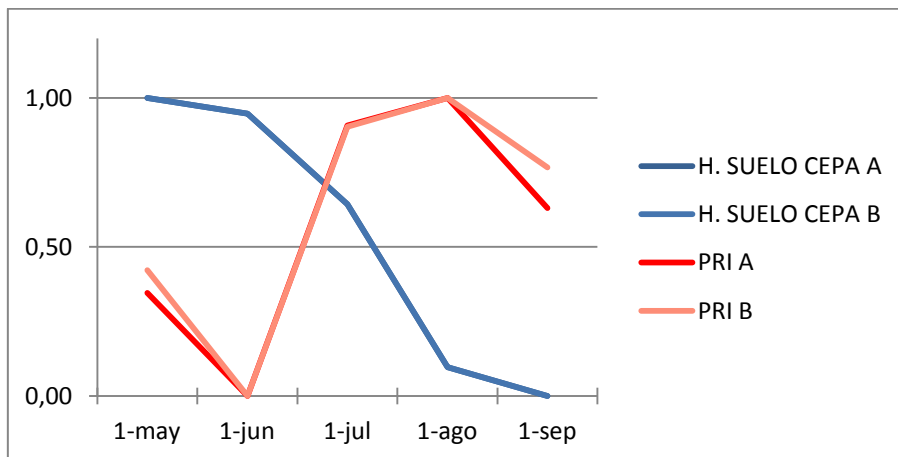


Figura 72. Serie temporal de la humedad el suelo y PRI en el perfil N° 2.

5.2.3 RESULTADOS DE LA MEDIDA DE HUMEDAD DEL SUELO

La evolución de la humedad de suelo en los 17 perfiles (figura 73) indica una similitud total del comportamiento del suelo y consumo de las plantas en toda la viña. Sin embargo, los contenidos de agua se relacionan con los límites de capacidad de campo y punto de marchitez de cada uno (tabla 13), que son indicadores de la capacidad de almacenamiento de agua.

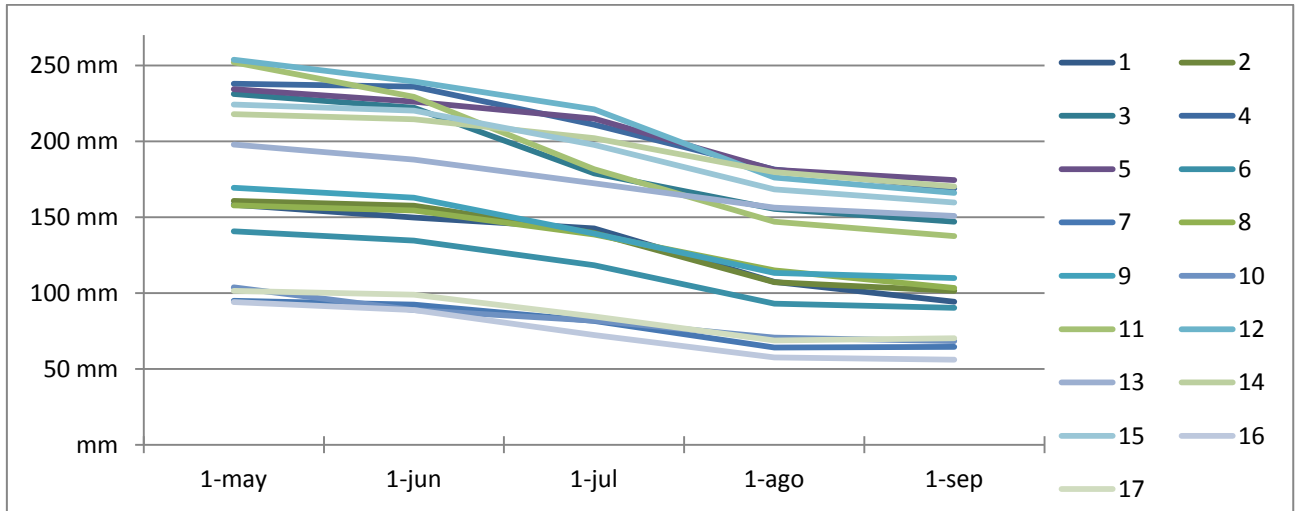


Figura 73. Humedad del suelo en los perfiles.

Perfil	Clasificación textural	FAO P. de Marchitez (m ³ /m ³)
1	Franco arenoso	0,06
2	Arenoso franco	0,03
3	Arenoso franco	0,03
4	Arenoso franco	0,03
5	Limo arcilloso franco	0,09
6	Franco	0,07
7	Arena	0,02
8	Franco arenoso	0,06
9	Franco arenoso	0,06
10	Franco arenoso	0,06
11	Franco arenoso	0,06
12	Arenoso franco	0,03
13	Limo franco	0,12
14	Arenoso arcilloso franco	0,09
15	Franco arenoso	0,06
16	Franco arenoso	0,06
17	Arenoso franco	0,03

Tabla 13. Clasificación textural de los perfiles y Punto de Marchitez.

5.2.4 RESULTADOS DE CALIDAD DE LA UVA

Al ser medidas que se realizan un único día, durante la cosecha, no se pueden correlacionar con la evolución del resto de parámetros, por lo que no se incluyen en el análisis de este apartado.

Como una alternativa de tratamiento, se sugiere estudiar la correlación espacial entre los datos de calidad de la uva y los parámetros espectrales y de planta medidos el día de la cosecha; lo que se considera como una investigación futura que puede ser abordada en un futuro trabajo. En concreto, la línea de investigación busca corroborar la relación entre un ligero déficit hídrico con un mayor calidad de la uva (Kennedy et al., 2002, Cavaliere et al., 2010), que es una línea abierta de discusión debido a la dificultad de una monitorización precisa del estatus hídrico del viñedo (Bindon et al., 2011).

5.3 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

5.3.1 CONCLUSIONES

Son muchos los datos y resultados manejados, pero bajo el enfoque de los objetivos propuestos, cabría destacar algunas conclusiones relevantes del estudio. El cumplimiento de los objetivos planteados en este TFM ha sido completo, puesto que se han podido evaluar diferentes IV para la caracterización del viñedo. De manera general, se concluye que los índices hiperespectrales constituyen una metodología prometedora para el seguimiento del estado hídrico del viñedo y pueden ser utilizados, de manera indirecta, para detectar las condiciones fisiológicas de las plantas. Por tanto, este estudio sugiere que a través de mediciones espectrales periódicas, sin necesidad de costosas y exhaustivas medidas destructivas, se podrían llegar a caracterizar algunos de los parámetros clave del desarrollo del viñedo. Así mismo, permiten realizar el seguimiento del uso de agua que hace el cultivo, abriendo perspectivas operacionales de carácter agronómico como el control del riego o la predicción de la producción. En efecto, y aunque el objetivo y ámbito de este proyecto no lo contempla, se sugiere que dicha estrategia puede ser de utilidad en un paso más allá del control de la calidad y producción de vino, ya que el desarrollo vegetativo o vigor de la viña también ha sido reconocido como un factor relacionado con la calidad de la uva. No obstante se insiste en que el trabajo es de carácter experimental y que serían necesarias más campañas, bajo otras condiciones agroclimáticas y con diferentes especies para llegar a conclusiones definitivas. También hay que insistir que se trata de un experimento muy novedoso, que aunque incluye perspectivas muy diferentes (sensores planta y suelo, mediciones directas, variables climáticas, etc.), cabe refinar y mejorar metodológicamente.

De manera particular se extraen las siguientes conclusiones:

- 1) NDVI mostró ser un índice muy válido para determinar la superficie foliar, siendo novedosa su utilización a escala de hoja de plantas de vid.
- 2) NDVI y SAVI son índices útiles para la monitorización del vigor de las plantas, estando altamente correlacionados con LAI, por lo que se postulan como futuras herramientas para la determinación de este parámetro en la viticultura moderna.
- 3) En general NDVI, SAVI, TCARI y CNDI son válidos para la caracterización del vigor de las plantas ya que han tenido una alta correlación con el LAI y el contenido de agua.

- 4) Así mismo PRI se mostró como un índice útil para poder determinar el comportamiento hídrico de la vid.
- 5) Los índices WI, CAR Chap y CAR Black no demostraron su validez para la monitorización del viñedo, pero cabe profundizar en su relación con otros pigmentos de la hoja y el fruto.

En los últimos años, la aplicación de las tecnologías de la información geográfica en la agricultura está teniendo un crecimiento exponencial. En concreto, la viticultura es uno de los campos que más beneficios puede obtener de la aplicación de esta tecnología, ya que el conocimiento y manejo de la variabilidad intraparcularia puede dar lugar a la diferenciación de vinos dentro de una misma parcela a través de la vendimia selectiva. Por todo ello, la teledetección, el uso de índices de vegetación y la agricultura de precisión suponen un revulsivo para un desarrollo del sector vitivinícola, basado en la tecnificación del mismo y un mejor manejo de los inputs agrícolas. Además suponen una muy útil y eficiente herramienta para una mejor gestión del viñedo, pudiendo mejorar cualitativamente las calidades tecnológicas de las uvas.

5.3.2 PROPUESTAS DE MEJORA Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En el camino de esta investigación se han ido planteando diferentes cambios y retoques tanto a nivel técnico como de planteamiento, que pueden mejorar futuros proyectos relacionados con este campo de investigación.

- Como se ha ido comentando a lo largo del estudio, sería necesario un mayor número de campañas para poder determinar la respuesta de las vides en distintas condiciones, sobre todo en cuanto a estrés hídrico o enfermedades, por ejemplo. Por lo que sería interesante poder repetir el estudio en años sucesivos con el fin de poder determinar más estrechamente las relaciones que pueden surgir entre las vides y su respuesta espectral.
- Por otro lado se podría plantear más medidas espectrales durante el ciclo, pudiendo aumentar desde las actuales 5 a 10. De este modo se podría obtener un comportamiento más detallado de las viñas durante el ciclo anual.
- Un pilar del estudio es el tipo de viñedo en el que se desarrolla y las prácticas culturales practicadas. Otras opciones con menor superficie cultivada (<20 ha), podrían ofrecer la oportunidad de menor diferencias intraparcclarias por poder realizar técnicas de cultivo más “personalizadas” a cada zona. De este modo podrían existir menores diferencias en cuanto a las dos vides del mismo perfil, entre otros factores.
- Una línea de investigación interesante sería poder cuantificar a qué profundidad se lleva a cabo la mayor absorción de agua por parte de las viñas, para poder conocer su verdadera disponibilidad en el perfil edafológico y mejorar la monitorización precisa del estatus hídrico.
- Se sugiere estudiar la correlación espacial entre los datos de calidad de la uva y los parámetros espectrales y de planta medidos el día de la cosecha, como una futura línea de investigación intentado determinar la relación entre un ligero déficit hídrico y una mayor calidad de los frutos.

6 REFERENCIAS

- ABAURREA, J., ASÍN, J., A.C., C. y CENTELLES, A. 2007. Modeling and forecasting extreme hot events in the central Ebro valley, a continental-Mediterranean area. *Global and Planetary Change* 57, 43-58.
- ACEVEDO-OPAZO, C., TISSEYRE, B., GUILLAUME, S. y 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.
- ADEGOKE, J. O. y CARLETON, A. M. 2002. Relations between soil moisture and satellite vegetation indices in the U.S. Corn Belt. *American Meteorological Society* 3, 395–405.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. y SMITH, M. 2006b. Evapotranspiración del cultivo. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- ANTOLÍN, M. C., AYARI, M. y SÁNCHEZ-DÍAZ, M. 2006. Effects of partial rootzone drying on yield, ripening and berry ABA in potted Tempranillo grapevines with split roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12, 13-20.
- ARNOLD, R. M. y NOBLE, A. C. 1978. Bitterness and astringency of grape seed phenolics in a model wine solution *Am. J. Enol. Vitic.*, 29, 150-152.
- BAHRUN, A., MOGENSEN, V. O. y JENSEN, C. R. 2003. Water stress detection in field-grown maize by using spectral vegetation index. *Comm. Soil Sci. Plant Anal* 34, 65-79.
- BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J. C. 1997. Decisiones Multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá I.S.B.N.* , 270.
- BARMALEY, R. y WILLIAMS, S. K. 2001. A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors *Cooperative Research Centre for Viticulture*.
- BINDON, K., MYBURGH, P., OBERHOLSTER, A., ROUX, K. y DU TOIT, C. 2011. Response of Grape and Wine Phenolic Composition in *Vitis vinifera* L. cv. Merlot to Variation in Grapevine Water Status. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32, 234-244.
- BLACKBURN, G. A. 1998a. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyperspectral approaches. *Remote Sensing of Environment*.
- BLACKBURN, G. A. 1998b. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent. *International Journal of Remote Sensing* 19, 657-675.
- BOWMAN, W. D. 1989. The relationship between leaf water status, gas exchange, and spectral reflectance in cotton leaves *Remote Sens. Environ*, 30, 249-255.
- BROGE, N. H. y LEBLANC, E. 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density *Remote Sensing of Environment* 76, 156-172.
- BROGE, N. H. y LEBLANC, E. 2001. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area

- index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156-172.
- BROGE, N. H. y MORTENSEN, V. 2002. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 81, 45-57.
- CALERA, A., GONZÁLEZ-PIQUERAS, J. y MELIÁ, J. 2004. Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 97-109.
- CAMPOS, I., NEALE, C. M. U., CALERA, A., BALBONTÍN, C. y GONZÁLEZ-PIQUERAS, J. 2010. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). *Ag. Water Management* 98 45–54.
- CARTER, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing* 15, 697-704.
- CASTILLO-MUÑOZ, N., GÓMEZ-ALONSO, S., GARCÍA-ROMERO, E. y HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. 2007. Flavonol profiles of *Vitis vinifera* red grapes and their single-cultivar wines *J Agric Food Chem*, 55 992-1002.
- CAVALIERE, C., FOGLIA, P., MARINI, F., SAMPERI, R., ANTONACCI, D. y LAGANÀ, A. 2010. The interactive effects of irrigation, nitrogen fertilisation rate, delayed harvest and storage on the polyphenol content in red grape (*Vitis vinifera*) berries: A factorial experimental design. *Food Chemistry* 122, 1176-1184.
- CECCATO, P., FLASSE, S. y GREGOIRE, J. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications *Environment Remote Sensing of Environment*, 82, 198– 207.
- CECCATO, P., FLASSE, S., TARANTOLA, S., JACQUEMOUD, S. y GREGOIRE, J. M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77, 22-33.
- CONSTANTINI, E. A. C., PELLEGRINI, S., BUCELLI, P., STORCHI, P., VIGNOZZI, N., BARBETTI, R. y CAMPAGNOLO, S. 2009. Relevance of the Lin's and Host hydro pedological models to predict grape yield and wine quality. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1635-1648.
- CORTELLI, J. M., HALBLEIB, M., GALLAGHER, A. V., RIGHETTI, T. L. y KENNEDY, J. 2005a. Influence of Vine Vigor on Grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and Wine Proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 5798-5808.
- CHAPELLE, E. W., KIM, M. S. y MCMURTREY, J. E. 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS)- An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll-a, chlorophyll-b, and carotenoids in soybean leaves *Remote Sensing Environment*.
- CHAVES, M. M., ZARROUK, O., FRANCISCO, R., COSTA, J. M., SANTOS, T., REGALADO, A. P., RODRIGUES, M. L. y LOPES, C. M. 2010. Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data *Annals of Botany* 105, 661-676.
- CHEYNIER, V. y RIGAUD, J. 1986. HPLC separation and characterization of flavonols in the skins of *Vitis vinifera* var. Cinsault. *Am. J. Enol. Vitic.*, 37, 248-252.
- CHONÉ, X., VAN LEEUWEN, C., CHERY, P. y RIBEREAU-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.

- DEL RÍO, S., HERRERO, L., PINTO-GOMES, C. y PENAS, A. 2011. Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change* 78, 65-75.
- DELOIRE, A., CARBONNEAU, A., WANG, P. y OJEDA, H. 2004. Vine and water: A short review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38, 1-13.
- DOBROWSKI, S., USTIN, S. y WOLPERT, J. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: Determining optimal vegetation indexes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8, 117–125.
- DORAISWAMY, P. C., HATFIELD, J. L., JACKSON, T. J., AKHMEDOV, B., PRUEGER, J. y STERN, A. 2004. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS *Remote Sensing of Environment* 92.
- DOWNEY, M., HARVEY, J. S. y ROBINSON, S. P. 2004. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 10, 55-73.
- FENSHOLT, R. y SANDHOLT, I. 2003. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*, 87, 111–121.
- FENSHOLT, R., SANDHOLT, I. y RASMUSSEN, M. S. 2004. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote Sensing of Environment* 91, 490-507.
- FERNÁNDEZ, A. 2008. Estudio Fin de Carrera. Aplicación de la teldetección para la obtención del coeficiente de cultivo en el cálculo de la evapotranspiración. *Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Ingeniería Técnica Agrícola.*
- FLEXAS, J., BOTA, J., ESCALONA, J. M., SAMPOL, B. y MEDRANO, H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: An evaluation of stomatal and mesophyll limitations *Functional Plant Biology* 29, 461-471.
- GALLART, F., DELGADO, J., BEATSON, S. J. V., POSNER, H., P., L. y MARCÉ, R. 2011. Analysing the effect of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain). *Physics and Chemistry of the Earth* 36, 655-661.
- GAMON, J. A., PEÑUELAS, J. y FIELD, C. B. 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41, 35-44.
- GAMON, J. A. y SURFUS, J. S. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143, 105-117.
- GAO, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266.
- GIORIO, P., BASILE, A., SORRENTINO, G. y ALBRIZIO, R. 2007. Physiological responses of Falanghina grapevines in soils with different water availability in Southern Italy. *Acta Horticulturae*, 754, 235–240.
- GITELSON, A. A., GRITZ, Y. y MERZLYAK, M. N. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for nondestructive chlorophyll assessment in higher plants *Journal of Plant Physiology & Behavior* 160, 271- 282.

- GITELSON, A. A. y MERZLYAK, M. N. 1994. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology & Behavior*, 143, 286-292.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. y DE LUIS, M. 2010. Precipitation trends in Spanish hydrological divisions, 1946-2005. *Climate Research*, 43, 215-228.
- HABOUDANE, D., MILLER, J. R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P. J. y STRACHAN, I. B. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 90, 337-352.
- HABOUDANE, D., MILLER, J. R., TREMBLAY, N., ZARCO-TEJADA, P. J. y DEXTRAZE, I. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81, 416-426.
- HABOUDANE, D., TREMBLAY, N., MILLER, J. y VIGNEAULT, P. 2008. Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content Using Spectral Indices Derived From Hyperspectral Data *Transactions of Geoscience & Remote Sensing.*, 46, 423-437.
- HALL, A., LAMB, D., HOLZAPFEL, B. y LOUIS, J. 2011. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield *Precision Agriculture* 12, 103-117.
- HALL, A., LAMB, D. W., HOLZAPFEL, B. y LOUIS, J. 2002. Optical remote sensing application in viticulture. A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8, 36-47.
- HALL, A., LOUIS, J. y LAMB, D. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers and Geosciences*.
- HIDALGO FRENÁNDEZ-CANO, L. y HIDALGO TOBORES, J. 2011. Tratado de viticultura. Madrid: MP.
- HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X. y FERREIRA, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indice. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213.
- HUETE, A. R. 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- HUNSAKER, D. J., JR.P.J., P., BARNES, E. M. y KIMBALL, B. A. 2003. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. *Irrigation Science*, 22, 95-104.
- HUNT, E. R. y ROCK, B. N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30, 43-54.
- HUNT, E. R., ROCK, B. N. y NOBEL, P. S. 1987. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22, 429-435.
- JACKSON, R. D., REGINATO, R. J. y IDSO, S. B. 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*, 13, 651-656.
- JACKSON, T. J., CHEN, D., COSH, M., LI, F., ANDERSON, M., WALTHALL, C., DORIASWAMY, P. y HUNT, E. R. 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*, 92, 475-482.

- JOHNSON, L. E., BOSCH, D., WILLIAMS, D. y LOBITZ, B. 2001. Remote sensing of vineyard management zones: Implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture* 17, 557-560.
- JOHNSON, L. F., NEMANI, R. R., HORNBUCKLE, J., BASTIAANSEN, W. G. M., THORESON, B. P., TISSEYRE, B. y PIERCE, L. 2012. Remote Sensing for Viticultural Research and Production *The Geography of Wine. P. H. Dougherty, L. E. Johnson, R. R. Nemani et al, Springer Netherlands*, 12, 209-226.
- JOHNSON, L. F. y TROUT, T. J. 2012. Satellite NDVI Assisted Monitoring of Vegetable Crop Evapotranspiration in California's San Joaquin Valley *Remote Sensing* 4, 439-455.
- JONES, C. L., WECKLER, P. R., MANESS, N. O., STONE, M. L. y JAYASEKARA, R. 2004. Estimating water stress in plants using hyperspectral sensing. *In Proceedings for the ASAE/CSAE Annual International Meetin. Montreal*, 1, 2-11.
- JONES, G. V., WHITE, M. A., COOPER, O. R. y STORCHMANN, K. 2005. Climate change and global wine quality *Climatic Change*, 73, 319-343.
- KENNEDY, J., MATTHEWS, M. y WATERHOUSE, A. 2002. Effect of Maturity and Vine Water Status on Grape Skin and Wine Flavonoids *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 268-274.
- KOUNDOURAS, S., MARINOS, V., GKOUOLIOTI, A., KOTSERIDIS, Y. 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 *J. ournal of Agricultural and Food Chemistry* 24, 5077-5086.
- LI, L., USTIN, S. L. y LAY, M. 2005. Application of AVIRIS data in detection of oil-induced vegetation stress and cover change at Jornada, New Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 94, 1-16.
- LOPES, C. y PINTO, P. A. 2005. *Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models.*
- LOPES, C. M., SANTOS, T. P., MONTEIRO, A., RODRIGUES, M. A., COSTA, J. M. y CHAVES, M. M. 2011. Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*, 129, 603-612.
- LÓPEZ-MORENO, J. I. y VICENTE-SERRANO, S. M. 2008. Positive and negative phases of the wintertime North Atlantic Oscillation and drought occurrence over Europe. A multitemporal-scale approach. *Journal of Climate* 21, 1220-1243
- LÓPEZ-MORENO, J. I., VICENTE-SERRANO, S. M., MORÁN-TEJEDA, E., ZABALZA, J., LORENZO-LACRUZ, J. y GARCÍA-RUIZ, J. M. 2011. Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 311-322.
- MAGRAMA 2005. Orden APA/2483/2005, de 7 de julio, por la que se dispone la publicación de la Orden AYG/323/2005, de 7 de marzo, que aprueba el Reglamento por el que se establecen las normas de utilización de la mención Vino de la Tierra de Castilla y León.
- MAGRAMA 2012. *Encuesta sobre rendimientos y superficies*
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A., AGELET-FERNÁNDEZ, J., ARNO, J. y 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.
- MATTHEWS, M. A. y ANDERSON, M. M. 1988. Fruit Ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to Seasonal Water Deficits. *Am. J. Enol. Vitic.*, 39, 313-320.

- MEDRANO, H., ESCALONA, J., CIFRÉ, J., BOTA, J. y FLEXAS, J. 2003. A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: Effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*, 30, 607-619.
- MIRA DE ORDUÑA, R. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43, 1844-1855.
- MOGENSEN, V. O., JENSEN, C. R., MORTENSEN, G., THAGE, J., KORIBIDIS, J. y AHMED, A. 1996. Spectral reflectance index as an indicator of drought and crop growth in field grown oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Eur. J. Agron*, 5, 125-135.
- MYNENI, R. B., KNYAZIKHIN, Y., PRIVETTE, J. L., GLASSY, J., TIAN, Y., WANG, Y., HOFFMAN, S., SONG, X. y ZHANG, Y. 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 83, 214- 231.
- OJEDA, H., ANDARA, C., KRAEVA, E., CARBONNEAU, A. y DELOIRE, A. 2002. *Influence of pre and postverasion water deficit on syntheisis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of Vitis vinifera L. cv Syrah*, American Journal of Enology and Viticulture.
- OJEDA, H., DELOIRE, A. y CARBONNEAU, A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth *Vitis*, 40, 141-145.
- OKE, A. M. C., TAPPER, N. J. y BARLOW, E. W. R. 2007. Within-vineyard variability in grape quality and yield and its relationship to the vineyard environment. *Acta Horticulturae*, 754, 507-514.
- PEGUERO-PINA, J. J., MORALES, F., FLEXAS, J., GIL-PELEGRÍN, E. y MOYA, I. 2008. Photochemistry, remotely sensed physiological reflectance index and de-epoxidation state of xanthophyll cycle in *Quercus coccifera* under intense drought , . *Oecologia*, 156
- PELLEGRINO, P., LEBON, E., SIMONNEAU, T. y WERY, J. 2005. Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11, 306–315.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I., BIEL, C., SERRANO, L. y SAVÉ, R. 1993. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing* 14, 1887-1905.
- PEÑUELAS, J., GAMON, J. A., FREDEEN, A. L., MERINO, J. y CHRISTOPHER, B. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 48, 135–146.
- PEÑUELAS, J., LLUISA, J., PIÑOL, J. y FILELLA, I. 1997. Photochemicalreflectance index and leaf photosynthetic radiation-use-efficiencyassessment in Mediterranean trees. *International Journal of Remote Sensing* 18, 2863-2868.
- PEREIRA, G. E., GAUDILLERE, J.-P., PIERI, P., HILBERT, G., MAUCOURT, M., DEBORDE, C., MOING, A. y ROLIN, D. 2006. Microclimate influence on mineral and metabolic profiles of grape berries. *J. Agric. Food Chem*, 54, 6765-6775.
- PÉREZ QUEZADA, J. 2006. Viticultura de precisión aplicada al viñedo. *Revista de Enología*.
- PONI, S., BERNIZZONI, F. y CIVARDI, S. 2007. Response of ‘Sangiovese’ grapevines to partial rootzone drying: gas-exchange, growth and grape composition. *Scientia Horticulturae* 114, 96–103.

- RAMOS, M. C. y MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. 2010. Effects of precipitation patterns and temperature trends on soil water available for vineyards in a Mediterranean climate area. *Agr. Water Management*, 97, 1495-1505.
- RIBÉREAU-GAYON, P., PONTALLIER, P. y GLORIES, Y. 1983. Some interpretations of colour changes in young wines during their conservation. *J. Sci. Food Agric*, 34, 505-516.
- RIPPLE, W. J. 1986. Spectral reflectance relationships to leaf water stress. *Photogram. Eng. Remote Sens*, 52, 1669-1675.
- ROBICHAUD, J. L. y NOBLE, A. C. 1990. Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. *J. Sci. Food Agric*, 53, 343-353.
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R., RIAÑO, D., CARLISLE, E., USTIN, S. L. y SMART, D. R. 2007. Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58, 302-317.
- ROGIERS, S. Y., CREER, D. H., HUTTON, R. J. y LANDSBERG, J. J. 2009. Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar. *Journal Experimental Botany*, 60, 3751-3763.
- ROGIERS, S. Y., GREER, D. H., HATFIELD, J. M., HUTTON, R. J., CLARKE, S. J., HUTCHINSON, P. A. y SOMERS, A. 2012. Stomatal response of an anisohydric grapevine cultivar to evaporative demand, available soil moisture and abscisic acid. *Tree Physiology*, 32, 249-261.
- ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SHELL, J. A., DEERING, D. W. y HARLAN, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. *Greenbelt, MD, NASA/GSFC*, 35.
- ROUSE, J. W., HASS, R. H., SCHELL, J. A. y DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third ERTS Symposium.
- SÁNCHEZ, N. 2009. Teledetección óptica aplicada a un modelo distribuido de balance hídrico (HIDROMORE) para el cálculo de evapotranspiración y humedad de suelo. *Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno. Ávila, Universidad de Salamanca*, 408.
- SÁNCHEZ, N., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ-PIQUERAS, J., GONZÁLEZ-DUGO, M. P., BARONCINI-TURRICCHIA, G., TORRES, E., CALERA, A. y PÉREZ-GUTIÉRREZ, C. 2012. Water balance at plot scale for soil moisture estimation using vegetation parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166-167, 1-9.
- SANTESTEBAN, L. G., MIRANDA, C., FUENTE-CILLA, M., TISSEYRE, B., GUILLAUME, S. y ROYO, J. B. 2009. Evaluación del interés del NDVI para la delimitación de unidades de manejo diferenciado dentro de una explotación vitícola. *Teledetección. Agua y desarrollo sostenible*, 33, 93-96.
- SCHLITZ, D. 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 52, 179-200.
- SCHULTZ, H. R. 1996. Water relations and photosynthetic responses of two grapevine cultivars of different geographical origin during water stress. *Acta Horticulturae*, 427, 251-256.
- SEGUIN, G. 1983. The influence of vineyard soils on the composition and quality of harvested grapes. *Bulletin de l'OIIV*, 56, 3-18.
- SEGUIN, G. 1996. *Alimentation en eau de la vigne des sols du Haut-Médoc*, Connaissance de la Vigne et du Vin.

- SEPÚLVEDA, G. y KLIEWER, W. 1983. Estimation of leaf area of two grapevine cultivars (*Vitis Vinifera* L.) using laminae linear measurements and fresh weight. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35, 221-226.
- SERRANO, L., GONZÁLEZ-FLOR, C. y GORCHS, G. 2010. Assessing vineyard water status using the reflectance based Water Index. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 490-499.
- SERRANO, L., GONZÁLEZ-FLOR, C. y GORCHS, G. 2012. Assessment of grape yield and composition using the reflectance based Water Index in Mediterranean rainfed vineyards. *Remote Sensing of Environment* 118, 249-258.
- SERRANO, L. y PEÑUELAS, J. 2005. Assessing forest structure and function from spectral transmittance measurements: a case study in a Mediterranean holm oak forest. *Tree Physiology*, 25, 67-74.
- SERRANO, L., USTIN, S. L., ROBERTS, D. A., GAMON, J. A. y PEÑUELAS, J. 2000. Deriving water content of chaparral vegetation from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 74, 570-581.
- SIMS, D. A. y GAMON, J. A. 2003. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: A comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84, 526-537.
- SPAYD, S., TARARA, J., MEE, D. y FERGUSON, J. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 171-182.
- SUÁREZ, L., ZARCO-TEJADA, P. J., BERNI, J. A. J., GONZÁLEZ-DUGO, V. y FERERES, E. 2009. Modelling PRI for Water Stress Detection using Radiative Transfer Models. *Remote Sensing of Environment*, 113, 730-744.
- TARPLEY, R., K.R. y SASSENATH-COL, G. F. 2000. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Science*, 40, 1814-1819.
- TONIETTO, J. y CARBONNEAU, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 81-97.
- VAN LEEUWEN, C., GAUDILLÈRE, J. P. y O., T. 2001. L'évaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 35, 195-205.
- VAN LEEUWEN, C. y SEGUIN, G. 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17, 1-10.
- VAN LEEUWEN, C., TRÉGOAT, O., CHONÉ, X., BOIS, B., PERNET, D. y GAUDILLÈRE, J. P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43, 121-134.
- VAN LEEUWEN, C. y VIVIN, P. 2008. Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins. *Innovations Agronomiques*, 2, 159-167.
- VANDELEUR, R. K., MAYO, G., SHELDEN, M. C., GILLIHAMN, M., KAISER, B. N. y TYERMAN, S. D. 2009. The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology*, 149, 445-460.

- WANG, X., XIE, H., GUAN, H. y HOU, X. 2007. Different responses of MODIS-derived NDVI to root-zone soil moisture in semi-arid and humid regions. *Journal of Hydrology* 340, 12-14.
- WILLIAMS, L. E. y BAEZA, P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58, 173–181.
- ZARCO-TEJADA, P. J., BERJÓN, A., LÓPEZ-LOZANO, R., MILLER, J. R., MARTÍN, P., CACHORRO, V., GONZÁLEZ, M. R. y DE FRUTOS, A. 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment* 99, 271-287.
- ZARCO-TEJADA, P. J., MILLER, J. R., MOHAMMED, G. H., NOLAND, T. L. y SAMPSON, P. H. 1999. Canopy Optical Indices from Infinite Reflectance and Canopy Reflectance Models for Forest Condition Monitoring: Application to Hyperspectral CASI Data. Canada: s.n. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'99*. Hamburg (Germany).
- ZARCO-TEJADA, P. J., MILLER, J. R., NOLAND, T. L., MOHAMMED, G. H. y SAMPSON, P. H. 2001. Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 1491–1507.
- ZARCO-TEJADA, P. J., USTIN, S. L. y WHITING, M. L. 2005b. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imager. *Agron. J*, 97, 641-653.
- ZHANG, Y., KANG, S., WARD, E. J., DING, R., ZHANG, X. y ZHENG, R. 2011. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. . *Agr. Water Management*, 98, 1207-1214.
- ZHOU, Q., KANG, S., LI, F. y ZHANG, L. 2008. Comparison of dynamic and static APRI-models to simulate soil water dynamics in a vineyard over the growing season under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agr. Water Management*, 95, 767-775.
- ZSÓFI, Z., TÓTH, E., VÁRADI, G., RUSJAN, D. y BÁLO, B. 2008. The effect of progressive drought on water relations and photosynthetic performance of two grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Acta Biologica Szegediensis* 52, 321–322.