



# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TESIS DOCTORAL

Título
<b>Influencia del tipo de suelo en el estado nutricional de la vid, el desarrollo vegetativo, la producción, la composición de la uva y de los vinos de la variedad Tempranillo tinto (<i>Vitis vinifera L.</i>) en el ámbito de la D.O. Ca Rioja</b>
Autor/es
<b>José María Martínez Vidaurre</b>
Director/es
Enrique García-Escudero Domínguez y Fernando Peregrina Alonso
Facultad
Facultad de Ciencia y Tecnología
Titulación
Departamento
Agricultura y Alimentación
Curso Académico

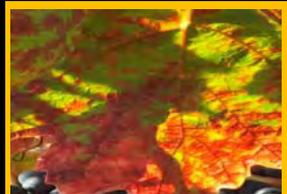


**Influencia del tipo de suelo en el estado nutricional de la vid, el desarrollo vegetativo, la producción, la composición de la uva y de los vinos de la variedad Tempranillo tinto (*Vitis vinifera L.*) en el ámbito de la D.O.Ca Rioja,** tesis doctoral de José María Martínez Vidaurre, dirigida por Enrique García-Escudero Domínguez y Fernando Peregrina Alonso (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

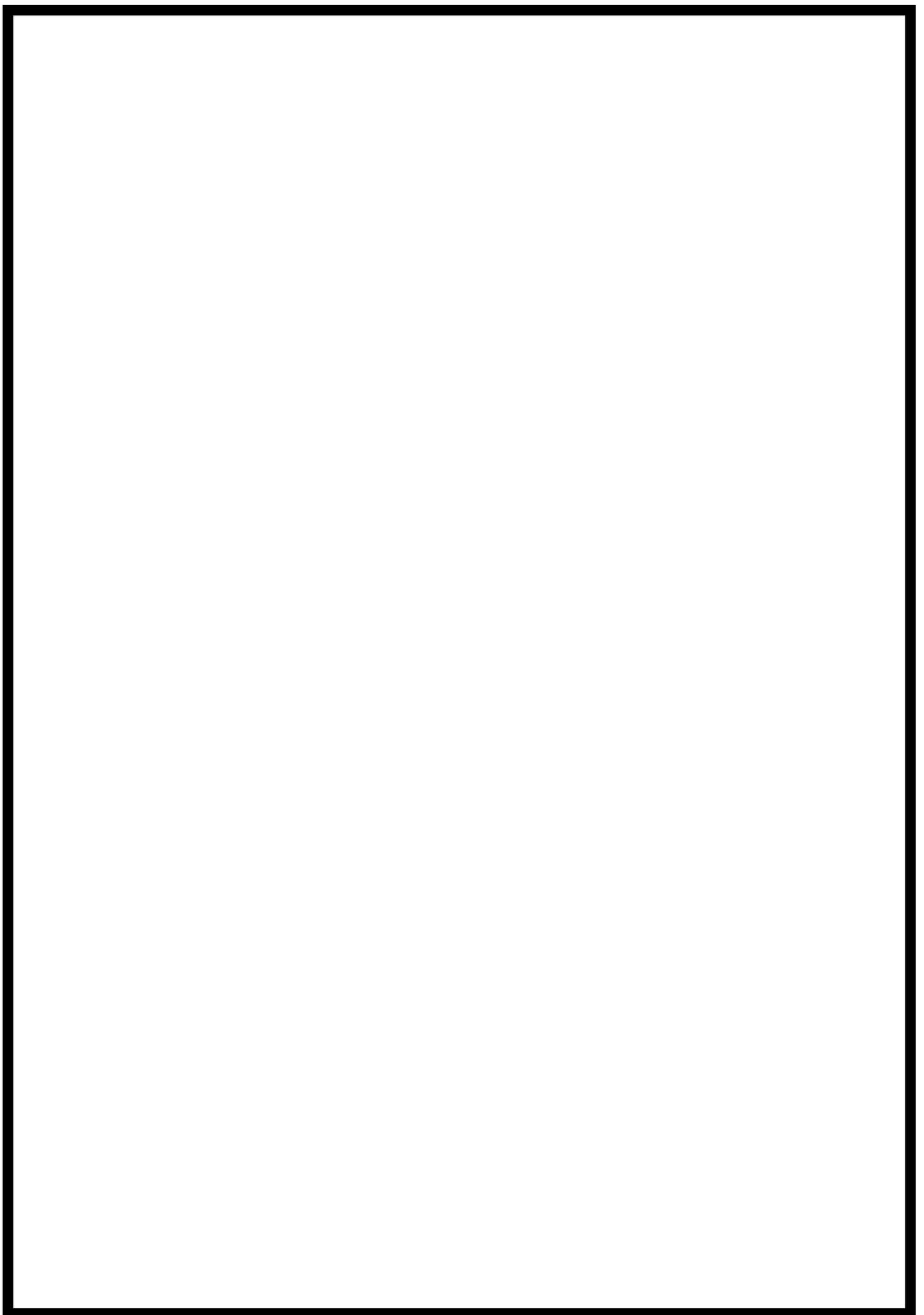
- © El autor
- © Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2017  
publicaciones.unirioja.es  
E-mail: publicaciones@unirioja.es

**INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO EN EL ESTADO NUTRICIONAL  
DE LA VID, EL DESARROLLO VEGETATIVO, LA PRODUCCIÓN, LA  
COMPOSICIÓN DE LA UVA Y DE LOS VINOS DE LA VARIEDAD  
TEMPRANILLO TINTO (*Vitis vinifera* L.) EN EL ÁMBITO DE LA  
D.O.Ca. RIOJA.**



**Tesis Doctoral**

**José M<sup>a</sup> Martínez-Vidaurre**



**INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO EN EL ESTADO  
NUTRICIONAL DE LA VID, EL DESARROLLO VEGETATIVO, LA  
PRODUCCIÓN, LA COMPOSICIÓN DE LA UVA Y DE LOS VINOS  
DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO TINTO (*Vitis vinifera* L.) EN EL  
ÁMBITO DE LA D.O.Ca. RIOJA**



Tesis Doctoral presentada por  
**José M<sup>a</sup> MARTÍNEZ-VIDAURRE**

Para obtener el grado de Doctor en Ciencias por la Universidad de La Rioja

**DIRECTOR:**

Dr. Enrique GARCÍA-ESCUADERO DOMÍNGUEZ

**CODIRECTOR:**

Dr. Fernando PEREGRINA ALONSO

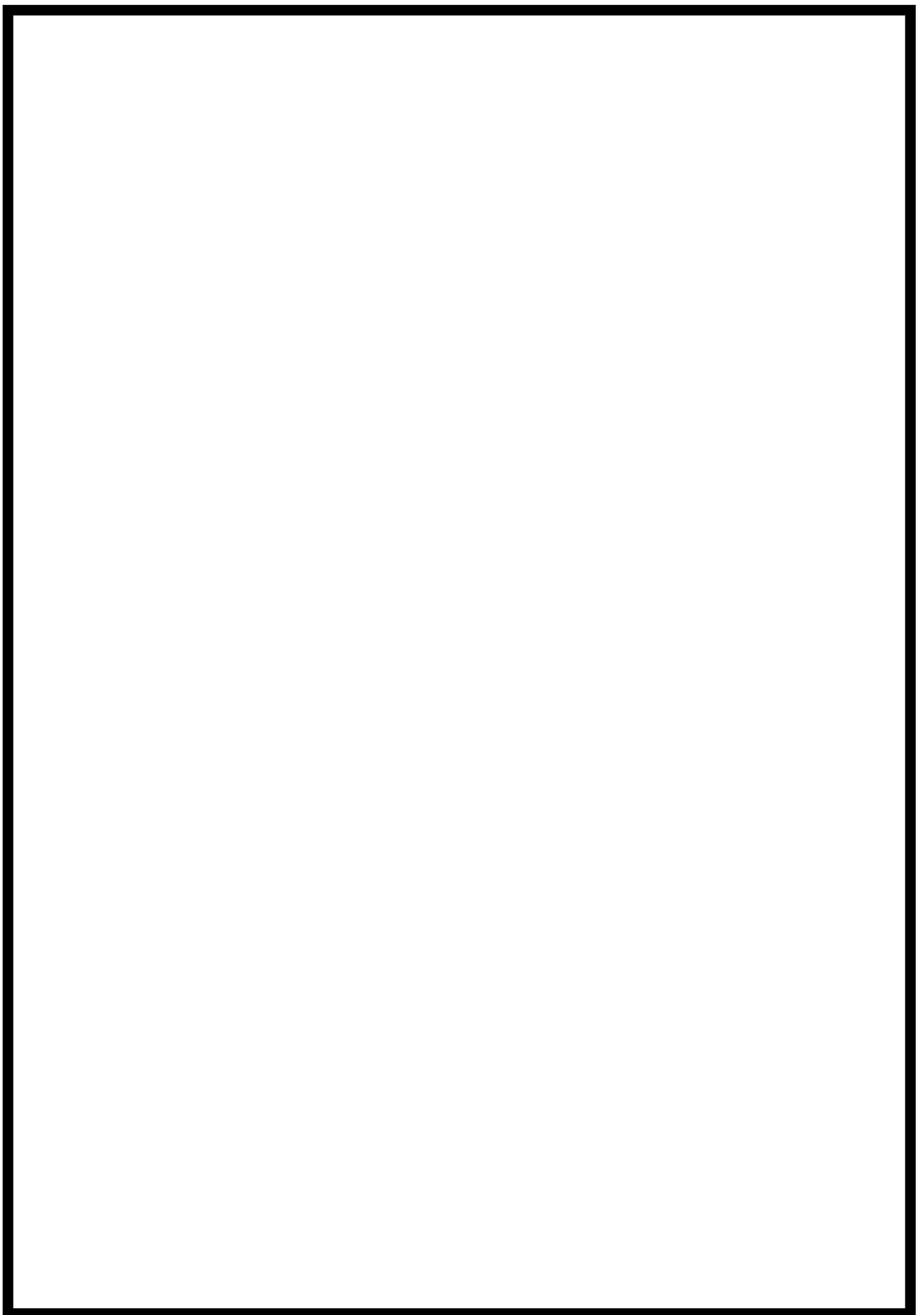
LOGROÑO, 2017

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA



## INDICE GENERAL

<b>Portada</b>	
<b>Indice por Capítulos .....</b>	<b>i</b>
<b>Indice de Tablas.....</b>	<b>vii</b>
<b>Indice de Figuras.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Summary.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>xviii</b>
<b>I. Introducción y Objetivos.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Material y Métodos.....</b>	<b>70</b>
<b>III. Resultados y Discusión.....</b>	<b>128</b>
<b>IV. Conclusiones.....</b>	<b>300</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>308</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>325</b>



**El estudio**

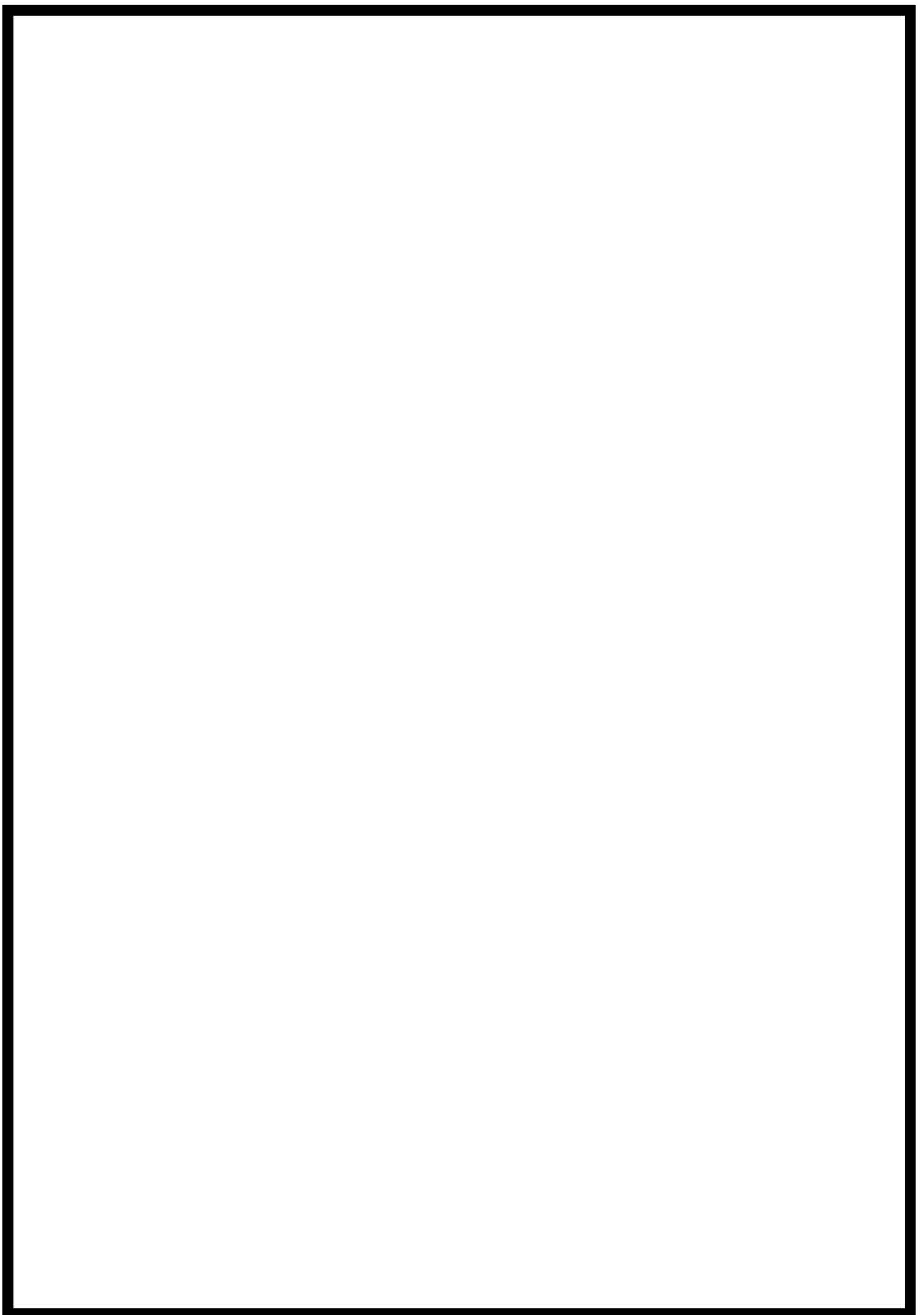
**INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO EN EL ESTADO NUTRICIONAL DE LA VID, EL DESARROLLO VEGETATIVO, LA PRODUCCIÓN, LA COMPOSICIÓN DE LA UVA Y DE LOS VINOS DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO TINTO (*Vitis vinifera* L.) EN EL AMBITO DE LA D.O.Ca. RIOJA**

se ha llevado a cabo gracias a la financiación procedente de la convocatoria de Proyectos Regionales de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja, formando parte del proyecto “Zonificación vitícola” .

El trabajo se ha realizado en las instalaciones del Servicio de Investigación Vitivinícola (S.I.V.) de la Dirección General de Agricultura y Ganadería de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja y en el Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino - I.C.V.V. (CC.AA. de La Rioja, C.S.I.C., U.R.)

En este proyecto han colaborado los técnicos y los socios de Bodegas Patrocinio de Uruñuela (La Rioja), aportando las parcelas vitícolas y su gestión.

Asimismo, todo el personal de la Sección de Enología y Viticultura del Servicio de Investigación Vitivinícola ha intervenido en los trabajos de campo, en los análisis de laboratorio y en las elaboraciones de la bodega experimental.



# INDICE POR CAPITULOS

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

<b>I.1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
I.1.1. EL VIEJO MUNDO Y EL NUEVO MUNDO EN EL VINO.....	2
I.1.2. ESPAÑA: PRODUCTOR MUNDIAL DE VINO.....	5
I.1.3. CARACTERÍSTICAS VITIVINÍCOLAS DE LA D.O.Ca. RIOJA...7	
I.1.4. EL ECOSISTEMA VITÍCOLA.....	11
I.1.4.1. El clima y la vid	
I.1.4.2. El factor suelo en viticultura	
I.1.4.3. Procesos edafogénicos en suelos de la D.O.Ca. Rioja	
I.1.4.4. El suelo y el estado hídrico de la vid	
I.1.4.5. El suelo y la nutrición de la vid	
I.1.5. ESTUDIOS DE SUELOS POR REGIONES VITÍCOLAS.....	57
<b>I.2. INTERÉS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>I.3. OBJETIVO GENERAL Y O. ESPECÍFICOS.....</b>	<b>68</b>

## CAPITULO II. MATERIAL Y MÉTODOS

<b>II.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO Y BIOFÍSICO.....</b>	<b>71</b>
II.1.1. LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS VITÍCOLAS.....	71
II.1.2. ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS.....	74
II.1.3. GEOLOGÍA Y LITOLOGÍA.....	79
II.1.4. RELIEVE: FORMAS, ORIENTACIÓN Y EXPOSICIÓN.....	81
II.1.5. LOS SUELOS: TIPOS Y DISTRIBUCIÓN.....	82

II.1.6. MATERIAL VEGETAL: PORTAINJERTO Y VARIEDAD DE VID.....	87
II.1.6.1. Características generales de la variedad Tempranillo.....	87
II.1.6.2. Fenología.....	89
II.1.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS VIÑEDOS: GESTIÓN DEL SUELO Y PRÁCTICAS AGRONÓMICAS.....	90
<b>II.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>93</b>
II.2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS PARCELAS VITÍCOLAS.....	93
II.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	96
<b>II.3. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS SUELOS.....</b>	<b>99</b>
II.3.1. ESTUDIO Y DESCRIPCIÓN DE PERFILES EDÁFICOS.....	99
II.3.2. PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS..	100
II.3.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS SUELOS.....	102
II.3.3.1. Preparación de muestras	
II.3.3.2. Determinaciones de parámetros físico-químicos	
<b>II.4. COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA.....</b>	<b>106</b>
II.4.1. MUESTREO DE MATERIAL FOLIAR.....	106
II.4.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE HOJAS.....	107
II.4.3. ANÁLISIS DE LIMBOS Y PECIOLOS.....	108
<b>II.6. CARACTERIZACIÓN DE MOSTOS Y VINOS.....</b>	<b>109</b>
II.6.1. CONTROLES DE MADURACIÓN DE LA UVA.....	109
II.6.2. VENDIMIA.....	110

<b>II.6.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE MOSTOS.....</b>	<b>111</b>
<b>II.6.3.1. Determinaciones y métodos de análisis de mostos.....</b>	<b>111</b>
<b>II.6.3.2. Análisis de los componentes del color.....</b>	<b>113</b>
<b>II.6.4. ELABORACIÓN Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VINOS..</b>	<b>115</b>
<b>II.6.4.1. Vinos elaborados en la bodega experimental.....</b>	<b>115</b>
<b>II.6.4.2. Vinos elaborados a pequeña escala.....</b>	<b>119</b>
<b>II.6.5. DETERMINACIÓN DE AROMAS EN VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>122</b>
<b>II.7. COMPONENTES DE VIGOR Y DEL RENDIMIENTO.....</b>	<b>123</b>
<b>II.8. VALORACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LOS VINOS: CATA.....</b>	<b>125</b>
 <b>CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>III.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>129</b>
<b>III.1.1. ESTUDIO DEL RÉGIMEN TERMOMÉTRICO.....</b>	<b>129</b>
<b>III.1.2. ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES Y SU DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>132</b>
<b>III.1.3 RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.....</b>	<b>133</b>
<b>III.1.4. ELEMENTOS CLIMÁTICOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>135</b>
<b>III.1.5. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA MULTICRITERIO (CCM)...</b>	<b>136</b>
<b>III.1.6. EL CLIMA DEL SUELO: HUMEDAD Y TEMPERATURA.....</b>	<b>137</b>
<b>III.1.7. FENOLOGÍA DE TEMPRANILLO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>137</b>
<b>III.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS VITÍCOLAS.....</b>	<b>139</b>
<b>III.2.1. SUBGRUPOS DE SUELOS: CLASIFICACIÓN.....</b>	<b>139</b>

III.2.2. PARÁMETROS EDÁFICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS.....	144
III.2.3. NIVELES DE NITRÓGENO EXTRAÍBLE DEL SUELO.....	151
III.2.4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS NIVELES DE NITRÓGENO EXTRAÍBLE EN EL SUELO CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO.....	157
III.3. EFECTO GLOBAL DEL SUELO Y DE LA AÑADA SOBRE EL ESTADO HÍDRICO Y NUTRICIONAL DEL TEJIDO FOLIAR, EL RENDIMIENTO Y EL VIGOR, Y LA COMPOSICIÓN Y CALIDAD DEL MOSTO Y DEL VINO....	158
III.4. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA. ANÁLISIS DE LIMBO Y PECÍOLO EN ENVERO.....	173
III.5 EVALUACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE LA VID. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN EL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR.....	200
III.5.1. VALORES DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR DE BASE EN ENVERO POR SUBGRUPOS DE SUELOS.....	200
III.5.2. CONSIDERACIONES SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO.....	205
III.6. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA UVA.....	206
III.6.1. COMPONENTES DE ACIDEZ.....	206
III.6.2 AZÚCARES Y COMPONENTES DEL COLOR.....	212
III.6.3 NITRÓGENO FACILMENTE ASIMILABLE EN MOSTOS....	220
III.6.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS MOSTOS RESPECTO AL TIPO DE SUELO Y AÑO.....	223
III.7. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS PARÁMETROS DE VIGOR Y DE RENDIMIENTO.....	226

III.7.1. COMPONENTES DEL VIGOR.....	226
III.7.2. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	230
III.7.3. INDICE DE RAVAZ.....	234
III.7.4 CONSIDERACIONES SOBRE LOS COMPONENTES DE VIGOR Y DE RENDIMIENTO CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO.....	235
<b>III.8 INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LA COMPOSICIÓN ANALÍTICA DE LOS VINOS.....</b>	<b>238</b>
III.8.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS VINOS ELABORADOS A PEQUEÑA ESCALA.....	238
III.8.1.1. Componentes de acidez	
III.8.1.2. Grado alcohólico y componentes de color	
III.8.2 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL.....	247
III.8.3 COMPOSICIÓN AROMÁTICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL.....	251
III.8.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS VINOS EN RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑADA.....	261
<b>III.9. RELACIÓN DEL CALCIO EN EL SUELO CON LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE MOSTOS Y VINOS.....</b>	<b>263</b>
<b>III.10. VALORACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>266</b>
<b>III.11. ANALISIS MULTIVARIANTE DE LOS PARÁMETROS DE CLIMA, SUELO, PLANTA, VIGOR Y PRODUCCIÓN, MOSTO Y VINO.....</b>	<b>270</b>
III.11.1 ANÁLISIS DISCRIMINANTE.....	270
III.11.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	279

<b>III.11.1.CONSIDERACIONES SOBRE EL ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....</b>	<b>288</b>
<b>III.12. CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>289</b>
<b>CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>300</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>308</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>325</b>
<b>ANEXO I. TABLAS Y FIGURAS</b>	
<b>ANEXO II. FICHAS DE SUBGRUPOS DE SUELOS</b>	
<b>ANEXO III. CORRELACIONES</b>	

# INDICE DE TABLAS

## INTRODUCCIÓN

Tabla I.1. Clases de clima vitícola según los índices climáticos (CCM).

Tabla I.2. Macronutrientes y micronutrientes, símbolo y forma iónica en el suelo

Tabla I.3. Influencia de los parámetros edáficos en la calidad del vino.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla II.1. Datos catastrales de las parcelas vitícolas del estudio.

Tabla II.2. Caracterización geológica y litológica de los materiales originarios.

Tabla II.3. Características del relieve según la ubicación de las parcelas.

Tabla II.4. Unidades cartográficas seleccionadas del Mapa de Suelos de Uruñuela.

Tabla II.5. Selección de áreas vitícolas a partir del Mapa de Suelos de Uruñuela.

Tabla II.6. Ampelografía general y aptitudes de la variedad Tempranillo.

Tabla II.7. Material vegetal, sistema de conducción y prácticas agronómicas en las parcelas de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos.

Tabla II.8-. Relación entre los vinos presentados en la cata y los subgrupos de suelos de cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla III.1. Elementos climáticos relevantes en el área de estudio en el periodo 2009-2013.

Tabla III.2. Índices de la Clasificación Climática Multicriterio (CCM).

Tabla III.3. Estados fenológicos (fecha y días desde el inicio del ciclo) de *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos de cultivo (2013).

Tabla III.4 Ordenes y subgrupos de suelos clasificados (SSS, 2006).

Tabla III.5 Clasificación de suelos a nivel de familia y de subgrupo (SSS, 2006).

Tabla III.6. Características físico-químicas del horizonte superficial (Ap) y de los horizontes subsuperficiales B/C con relación al subgrupo de suelos.

Tabla III.7. Autovalores y varianza explicada (%) en el discriminante de subgrupos de suelos.

Tabla III.8. Clasificación de subgrupos según funciones discriminantes.

Tabla III.9. Niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  (kg/ha) según la profundidad de muestreo (cm) y el subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.10. Niveles de  $\text{N-NH}_4^+$  (kg/ha) según la profundidad de muestreo (cm) y el subgrupo de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.11A. F ratio y p-valor en la prueba de efectos del factor suelo a nivel de parcela y del clima (añada), sobre los elementos minerales y el potencial hídrico de base en hoja y sobre la composición química de la uva.

Tabla III.11B. F ratio y p-valor en la prueba de efectos del factor suelo a nivel de parcela y del clima (añada) sobre parámetros físico-químicos del vino.

Tabla III.12A. Valores de F ratio y p-valor en la prueba de efectos del subgrupo de suelos y de la añada, sobre los elementos minerales y el potencial hídrico de base en hoja y sobre la composición química de la uva.

Tabla III.12B. Valores de F ratio y p-valor en la prueba de efectos del subgrupo de suelos y del clima sobre parámetros físico-químicos del vino.

Tabla III.13A. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al suelo a nivel de parcela, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Tabla III.13B. Varianza total explicada por el modelo en los parámetros del vino y varianzas atribuibles al suelo a nivel de parcela, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Tabla III.14A. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al subgrupo de suelos, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Tabla III.14B. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al subgrupo de suelos, al clima, y a la interacción suelo x clima (%).

Tabla III.15. Contenido de Nitrógeno (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.16. Contenido de Fósforo (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.17. Contenido de Potasio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.18. Contenido de Calcio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.19. Contenido de Magnesio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.20. Relación Potasio/Magnesio en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.21. Contenido de Hierro (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.22. Contenido de Manganeso (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.23. Contenido de Zinc (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.24. Contenido de Cobre (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.25. Contenido de Boro (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.26. Contenido de Sodio (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.27. Contenido de Carbono (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

Tabla III.28. Potencial hídrico foliar (MPa) antes del amanecer de cv. Tempranillo con relación al suelo de cultivo en los años 2010-2011 (envero).

Tabla III.29. Componentes de acidez de los mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.30. Azúcares y componentes de color de los mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.31. Contenido de NFA en mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.32. Componentes de vigor de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.33. Componentes de rendimiento de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.34. Índice de Ravaz de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.35. Componentes de acidez de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.36. Grado alcohólico y parámetros de color de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.37. Absorbancias a 420, 520 y 620 nm de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.38. Componentes de acidez de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos de cultivo en el periodo 2010-2013.

Tabla III.39. Grado alcohólico y componentes de color de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.40. Absorbancias a 420, 520 y 620 nm de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Tabla III.41. Composición aromática (mg/l) de los vinos (alcoholes) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.42 Composición aromática (mg/l) de los vinos (alcoholes y esteres) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.43. Composición aromática (mg/l) de los vinos (esteres) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.44. Composición aromática (mg/l) de los vinos (esteres y ácidos) de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.45. Composición aromática (mg/l) de los vinos (cetonas y otros) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Tabla III.46. Contenido de calcio (mg/l) en mostos y en vinos

Tabla III.47. Puntuaciones de la cata de los vinos elaborados a pequeña escala en el periodo 2010-2013 según el principal subgrupo de suelos de origen.

Tabla III.48. Puntuaciones de la cata de vinos elaborados en la bodega experimental en el periodo 2010-2013 según el principal subgrupo de suelos de origen.

Tabla III.49. Autovalores, varianza y correlación del discriminante global suelo.

Tabla III.50. Clasificación final del análisis discriminante global suelo.

Tabla III.51. Autovalores, varianza y correlación del discriminante global año.

Tabla III.52. Clasificación final del análisis discriminante global de añadas.

Tabla III.53. Autovalores, varianza y correlación del discriminante de subgrupos (2010).

Tabla III.54. Autovalores, varianza y correlación del discriminante de subgrupos (2011).

Tabla III.55. Autovalores, varianza y correlación del discriminante por subgrupos (2012).

Tabla III.56. Autovalores, varianza y correlación del discriminante por subgrupos (2013).

## **ANEXO I**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

Anexo I, Tabla 1. Unidades de suelos y series seleccionadas del “Mapa de suelos de Uruñuela”.

Anexo I, Tabla 2. Descripción geolitológica de los materiales y del relieve por subgrupos de suelos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo I, Tabla 3. Niveles de referencia para diagnóstico nutricional de macronutrientes (peso seco, g.100 g<sup>-1</sup>) en limbo y peciolo medidos en floración y envero para cv. Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja.

Anexo I, Tabla 4. Niveles de referencia para diagnóstico nutricional de micronutrientes (peso seco, mg.kg<sup>-1</sup>) en limbo y peciolo medidos en floración y envero para cv. Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja.

Anexo I, Tabla 5. Parámetros CIEL\*a\*b\* de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos y en el periodo 2010-2013.

Anexo I, Tabla 6. Parámetros CIEL\*a\*b\* de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos y en el periodo 2010-2013.

Anexo I, Tabla 7. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Anexo I, Tabla 8. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Anexo I, Tabla 9. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Anexo I, Tabla 10. Parámetros de color CIELab de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental, con relación al suelo de cultivo y al año (2010-2013).

Anexo I, Tabla 11. Composición aromática (alcoholes) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Anexo I, Tabla 12. Composición aromática (alcoholes y esteres) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Anexo I, Tabla 13. Composición aromática (esteres) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Anexo I, Tabla 14. Composición aromática (esteres y ácidos) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Anexo I, Tabla 15. Composición aromática (cetonas y aldehídos) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

## **ANEXO II**

Anexo II, Ficha Subgrupo CT – Calcixerepts típico.

Anexo II, Ficha Subgrupo HC – Haploxeralf cálcico.

Anexo II, Ficha Subgrupo HF – Haploxerepts fluvéntico.

Anexo II, Ficha Subgrupo CTC – Calcixerepts típico fase Carbonática.

Anexo II, Ficha Subgrupo PC – Palexeralf cálcico.

Anexo II, Ficha Subgrupo PC – Palexeroll petrocálcico.

Anexo II, Ficha Subgrupo PC – Palexeralf petrocálcico.

## **ANEXO III**

Anexo III, Tabla 1. Correlaciones entre elementos climáticos y los niveles de nitrógeno extraíbles del suelo.

Anexo III, Tabla 2. Correlaciones entre parámetros edáficos, el potencial hídrico de base y los niveles de nitrógeno extraíbles del suelo.

Anexo III, Tabla 3. Correlaciones entre parámetros climáticos y niveles de macro y microelementos en limbo y peciolo.

Anexo III, Tabla.4. Correlaciones entre parámetros edáficos y el potencial de base y los niveles de elementos en limbo y peciolo.

Anexo III, Tabla 5. Correlaciones entre elementos climáticos y parámetros del mosto, de vigor y de rendimiento.

Anexo III, Tabla 6. Correlaciones entre parámetros edáficos, composición de la uva y componentes de vigor y rendimiento.

Anexo III, Tabla 7. Correlaciones entre elementos climáticos y parámetros de composición del vino.

Anexo III, Tabla 8. Correlaciones entre parámetros edáficos y de composición de los vinos.

Anexo III, Tabla 9. Correlaciones entre N extraíble del suelo y elementos minerales en limbo y peciolo.

Anexo III, Tabla 10. Correlaciones entre el potencial base y el nitrógeno extraíble del suelo con los parámetros de mosto y de productividad.

Anexo III, Tabla 11. Correlaciones entre el potencial base y el nitrógeno extraíble del suelo con los parámetros del vino.

Anexo III, Tabla 12. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y en peciolo.

Anexo III, Tabla 13. Correlaciones entre elementos minerales en limbo.

Anexo III, Tabla 14. Correlaciones entre elementos minerales en peciolo.

Anexo III, Tabla 15. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y parámetros de los mostos.

Anexo III, Tabla 16. Correlaciones entre elementos minerales en peciolo y parámetros de los mostos.

Anexo III, Tabla 17. Correlaciones entre los elementos minerales en limbo y la composición de los vinos.

Anexo III, Tabla 18. Correlaciones entre los elementos minerales en peciolo y la composición de los vinos.

Anexo III, Tabla 19. Correlaciones entre parámetros de productividad y de composición de los mostos.

Anexo III, Tabla 20. Correlaciones entre parámetros de productividad y de composición de los vinos.

Anexo III, Tabla 21. Correlaciones entre los parámetros de los mostos.

Anexo III, Tabla 22. Correlaciones entre parámetros de los mostos y composición de los vinos.

Anexo III, Tabla 23. Correlaciones entre elementos climáticos y aromas del vino.

Anexo III, Tabla 24. Correlaciones entre parámetros edáficos y compuestos aromáticos del vino.

Anexo III, Tabla 25. Correlaciones entre N extraíble del suelo y aromas del vino.

Anexo III, Tabla 26. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y peciolo, el NFA en mosto y los aromas del vino.

Anexo III, Tabla 27. Correlaciones del calcio en el suelo con los parámetros del suelo.

Anexo III, Tabla 28. Correlaciones entre el calcio en el suelo y el N extraíble del suelo.

Anexo III, Tabla 29. Correlaciones entre el calcio en el suelo y la composición mineral de la hoja (N, K y Mg).

Anexo III, Tabla 30. Correlaciones entre el calcio en el suelo y los parámetros del mosto.

Anexo III, Tabla 31. Correlaciones entre el calcio en el suelo y los componentes del vigor y del rendimiento.

Anexo III, Tabla 32. Correlaciones entre el calcio en el suelo y las características del vino.

Anexo III, Tabla 33. Correlaciones de los carbonatos equivalentes y la caliza activa de los horizontes B/C con los parámetros del suelo.

# INDICE DE FIGURAS

## INTRODUCCIÓN

Figura I.1. Países del Viejo y Nuevo Mundo.

Figura I.2. Denominaciones de Origen del vino en España.

Figura I.3. Subzonas de la D.O.Ca. Rioja.

Figura I.4. Mapa de tipos de suelos de la D.O.Ca. Rioja.

Figura I.5. Cepa de *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo.

Figura I.6. Elementos del Terroir vitícola o agroecosistema vitícola (Böhm, 2011).

Figura I.7. Mapa de regiones productoras de vino con relación a la latitud.

Figura I.8a. Línea de Wagner (escala de grises).

Figura I.8b. Línea de Wagner (color)

Figura I.9. Relaciones entre la textura del suelo y la calidad del vino (Böhm, 2011).

Figura I.10. Viñedo del subgrupo de suelos HC.

Figura I.11. Mapa de suelos del Valle de Napa.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Figura II.1. Situación del municipio de Uruñuela

Figura II.2. Parcelas seleccionadas de cv. Tempranillo.

Figura II.3. Localización de las estaciones meteorológicas: AEMET y SIAR.

Figura II.4. Estación agroclimática Campbell (Red SIAR) en el paraje Hoyos.

Figura II.5. Viñedos de Uruñuela con la Sierra de la Demanda al fondo.

Figura II.6. Distribución de órdenes de suelos (% en superficie).

Figura II.7. Terrazas del río Najerilla.

Figura II.8. Delimitación de las Áreas vitícolas del estudio en el valle del Najerilla.

Figura II.9. Trazado de los perfiles transversales BA y DC en el paisaje vitícola.

Figura II.10. Secciones trasversales del paisaje: áreas vitícolas 1, 2, 3, 4 y 5 (Arc-info v. 9.0).

Figura II.11. Estado de salida de las hojas (D) a hojas extendidas (E).

Figura II.12. Parcela vitícola seleccionada del subgrupo de suelos PO.

Figura II.13. Proceso de selección de parcelas vitícolas.

Figura II.14. Áreas vitícolas y parcelas seleccionadas.

Figura II.15. Apertura de calicata con retroexcavadora.

Figura II.16. Perfil del subgrupo de suelos PA.

Figura II.17. Perfil del subgrupo de suelos PO.

Figura II.18. Parcela del subgrupo de suelos HC.

Figura II.19. Material foliar (limbos y pecíolos) muestreado en enero.

Figura II.20. Recolección de uva por filas.

Figura II.21. Uva de vendimia a la entrada de la estrujadora-despalilladora.

Figura II.22. Depósitos de fermentación en la bodega experimental.

Figura II.23. Cámara de fermentación con envases de 4 l.

Figura II.24. Parcela en labores de poda.

Figura II.25. Botellas de vino preparadas para la cata.

Figura II.26. Ficha de cata empleada en la valoración organoléptica de los vinos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Figura III.1. Temperaturas medias mensuales (° C) en la zona de estudio.

Figura III.2. Temperaturas medias de mínimas mensuales (° C) en la zona de estudio.

Figura III.3. Temperaturas medias de máximas mensuales (° C) en la zona de estudio.

Figura III.4. Precipitaciones medias mensuales (mm) en la zona de estudio.

Figura III.5. Radiación solar (R<sub>g</sub>) mensual (MJ/m<sup>2</sup>) en la zona de estudio.

Figura III.6. Evapotranspiración de referencia (E<sub>To</sub>) mensual en la zona de estudio.

Figura III.7. Profundidad efectiva media (cm) por subgrupo de suelos.

Figura III.8. Reserva de agua útil (l) por subgrupo de suelos.

Figura III.9. Elementos gruesos (%) en la profundidad efectiva por subgrupo de suelos.

Figura III.10. Potasio (ppm) en el horizonte Ap según el subgrupo de suelos.

- Figura III.11. Magnesio (ppm) en el horizonte Ap por subgrupos de suelos.
- Figura III.12. Carbonatos totales en los horizontes B/C por subgrupo de suelos.
- Figura III.13. Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+)/kg) de los horizontes B/C.
- Figura III.14. Arcilla (%) en los horizontes subsuperficiales por subgrupo de suelos.
- Figura III.15. Análisis discriminante con los parámetros de los 34 perfiles de suelos.
- Figura III.16. Análisis discriminante global por subgrupos de suelos (periodo 2010-2013).
- Figura III.17. Análisis discriminante global de añadas (periodo 2010-2013).
- Figura III.18. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2010).
- Figura III.19. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2011).
- Figura III.20. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2012).
- Figura III.21. Análisis discriminante global por subgrupos de suelos (2013).
- Figura III.22. Análisis de componentes principales (ACP) global.
- Figura III.23. ACP del año 2010 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).
- Figura III.24. ACP del año 2011 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).
- Figura III.25. ACP del año 2012 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).
- Figura III.26. ACP del año 2013 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).

## **ANEXO I**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

Anexo I, Figura 1. Mapa de suelos de Uruñuela a escala 1:20.000

## TÍTULO

**INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO EN EL ESTADO NUTRICIONAL DE LA VID, EL DESARROLLO VEGETATIVO, LA PRODUCCIÓN, LA COMPOSICIÓN DE LA UVA Y DE LOS VINOS DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO TINTO (*Vitis vinifera* L.) EN EL ÁMBITO DE LA D.O.Ca. RIOJA.**AUTOR: JOSÉ M<sup>a</sup> MARTÍNEZ VIDAURRE

## RESUMEN

La influencia de los tipos de suelos y del clima en el desarrollo del viñedo y en la calidad de la uva y vino está poco estudiada en la viticultura mundial, española y en consecuencia también en la D.O.Ca. Rioja. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar de forma simultánea los factores: tipo de suelo y del clima en el desarrollo de la vid y en la composición del mosto y del vino de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) durante el periodo 2010-2013, en el ámbito de la D.O.Ca.Rioja. Para ello, se seleccionaron 17 parcelas vitícolas con relación a las unidades taxonómicas de una cartografía detallada de suelos del área de estudio. En cada parcela se procedió a la apertura, descripción y muestreo de dos calicatas, se clasificaron los perfiles según la taxonomía americana de suelos y se organizaron en 7 subgrupos, pertenecientes a los órdenes Alfisoles, Mollisoles e Inceptisoles. Además, se analizaron las características físico-químicas de los diferentes horizontes y se determinó la reserva de agua útil de cada perfil. La influencia del clima fue evaluada por la variación entre añadas y el efecto del suelo a nivel de parcela y subgrupo dentro de cada año. Se realizaron medidas de potencial hídrico de base y valoración del estado nutricional de la vid en el envero, y los componentes de vigor y de rendimiento. Asimismo, se analizaron mostos en vendimia y elaboraron vinos a pequeña escala y a nivel de bodega experimental. Respecto de los resultados obtenidos, el factor clima considerado por las diferencias entre añadas, mostró que los años de mayor precipitación incrementaron la acidez de mostos y vinos. En cuanto a los subgrupos de suelos, los Haploxererepts fluvénticos presentaron una respuesta diferente con mayor vigor, mayor rendimiento y menor contenido de polifenoles y antocianos que los Palerexalfs y Palerexolls. En cuanto a las características físico-químicas, la profundidad efectiva y la reserva de agua útil se relacionaron con un mayor vigor, producción y menor contenido de polifenoles y antocianos en uva y vino, mientras que el nitrógeno disponible se correlacionó negativamente con el contenido de polifenoles y antocianos y el K de cambio del suelo se relacionó con el K en tejifo foliar, y el K en uva. Con estos resultados se puede concluir que el efecto del clima y del tipo de suelo es altamente significativa a nivel de la totalidad de parámetros agronómicos y enológicos, con especial relevancia en el estado nutricional e hídrico de la vid, los parámetros de vigor y de rendimiento, los componentes de acidez y de color de mostos y vinos. Justificando estos resultados la necesidad de caracterizar los suelos de viñedo de cara a evaluar las diferentes producciones y calidades de vino que se pueden dar en la D.O.Ca. Rioja.

## TITLE

**INFLUENCE OF THE SOIL TYPE IN THE NUTRITIONAL STATE OF THE VINE, VEGETATIVE DEVELOPMENT, PRODUCTION, COMPOSITION OF THE GRAPE AND THE WINES OF TEMPRANILLO VARIETY (*Vitis vinifera* L.) IN THE FIELD OF THE D.O.Ca. RIOJA**AUTHOR: JOSÉ M<sup>a</sup> MARTÍNEZ VIDAURRE

## SUMMARY

The influence of soil types and climate on the development of the vineyard and on the quality of the grapes and wine is little studied in the world, Spanish vineyard and, consequently, in the D.O.Ca. Rioja. Therefore, the objective of this work was to study simultaneously the factors: soil type and climate in the development of the grapevine and in the composition of the must and the wine of the variety Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) during the period 2010-2013, within the scope of the D.O.Ca. Rioja. For this, 17 wine parcels were selected in relation to the taxonomic units of a detailed mapping of soils of the study area. In each plot, the study was carried out in 7 subgroups, belonging to the orders Alfisoles, Mollisoles and Inceptisols. In addition, the physical-chemical characteristics of the different horizons were analyzed and the useful water reserve of each profile was determined. The influence of climate was evaluated by the variation between vintages and the effect of the soil at plot and subgroup level within each year. Measurements of basal water potential and evaluation of the nutritional status of the vine in the veraison, and the components of vigor and yield were carried out. Likewise, musts were analyzed in vintage and elaborated wines on a small scale and at the level of experimental bodega. The results that the climate factor considered by the differences between vintages, showed that the years of greater precipitation increased the acidity of musts and wines. As for the subgroups of soils, the fluventic Haploxererepts presented a different response with greater vigor, higher yield and lower content of polyphenols and anthocyanins than Palerexalfs and Palerexolls. In terms of physicochemical characteristics, effective depth and useful water reserve were associated with higher vigor, yield and lower content of polyphenols and anthocyanins in grape and wine, while the available nitrogen was negatively correlated with polyphenol content and Anthocyanins and K of soil change was related to K in leaf tissue, and K in grape. With this result, it can be concluded that the effect of climate and soil type is highly significant in terms of all agronomic and oenological parameters, with special relevance in the nutritional and water status of the grapevine, vigor and performance parameters, The components of acidity and color of musts and wines. Justifying these results the need to characterize the soils of vineyard in order to evaluate the different productions and qualities of wine that can be given in the D.O.Ca. Rioja.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**



## **I.1 MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES**

### **I.1.1. EL VIEJO MUNDO Y EL NUEVO MUNDO EN EL VINO**

En la literatura histórica se destaca frecuentemente la relación del vino con su origen geográfico, y dicha relación es explícita desde el segundo y tercer milenio en la cultura egipcia y en la civilización mesopotámica, respectivamente.

Los nombres de origen y de demarcaciones territoriales relativas a la idoneidad para la producción de vinos de calidad, disfrutaban ya de una larga tradición desde la Grecia clásica y la época de los Romanos (Böhm, 2011).

Nuestros antepasados dedicaban mucho tiempo a la observación de la naturaleza y al comportamiento de las plantas en diversas situaciones, e iban adquiriendo conocimientos empíricos; mediante aproximaciones sucesivas, prueba y error, llegaban a establecer áreas adecuadas para la producción de vinos de calidad y así separar las zonas mejores de las peores (Böhm, 2011).

Europa, continente conocido como “Viejo Mundo”, es la cuna de todas las regiones clásicas del vino, produce más de la mitad del vino del planeta y en sus tierras se han estado elaborando vinos durante cientos de años. Por lo tanto, cuando hablamos de vino del “Viejo Mundo” nos referimos al vino elaborado en Europa. Sin embargo, sus raíces culturales se remontan al Imperio Romano, donde se desarrollaron las primeras técnicas de producción, almacenamiento y distribución del vino (Benito, 2014).

Desde entonces, generaciones de familias vinícolas se dedican a su elaboración. En qué laderas se debe plantar, qué vides deben cultivarse y en qué lugares, como de seco o dulce debe ser un vino en particular,...estas decisiones las tomaron hace mucho tiempo los antepasados de los productores de vino europeos actuales.

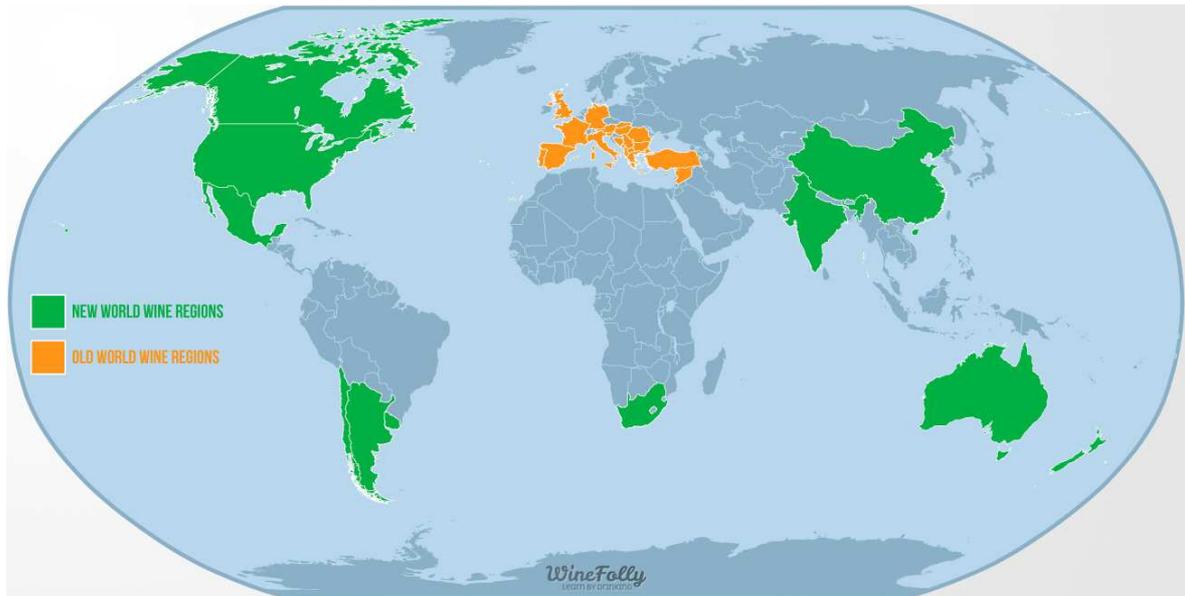


Figura I.1. Países del Viejo y Nuevo Mundo (Benito, 2014)

Las regiones dedicadas a producir estos vinos incluyen los siguientes países: Italia, Francia, España, Portugal, Austria, Alemania, Hungría, Grecia, Israel, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, Croacia, Chipre, Suiza, Inglaterra y Macedonia.

El continente que más produce es Europa, entre Italia ( primer productor mundial), Francia (2°) y España (3°) ostentan el 46% de la producción mundial. Le siguen Estados Unidos, Argentina y Australia, países denominados del “Nuevo Mundo”.

Como “Nuevo Mundo” se refiere a los países colonizados por Europa Occidental y que son relativamente modernos en la producción de vino. Estas regiones adoptaron las ideas del Viejo Mundo y las desarrollaron. La mayoría de las regiones que elaboran este vino se han iniciado en los últimos 100 años, beneficiándose de la agricultura moderna al utilizar, por ejemplo, viñedos diseñados para adaptarse a la mecanización y al riego.

Los países dedicados a producir este tipo de vino incluyen a: Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Chile, Sudáfrica, China, India, Uruguay, Brasil, México y Canadá.

Es preciso afirmar que las generalizaciones no son ciertas en su totalidad, sin embargo, se indican las diferencias más relevantes entre los vinos del Viejo y del Nuevo Mundo, que ofrecen dos estilos completamente distintos de producción, de elaboración y de marketing, y de comercialización del vino.

En «Nuevo Mundo» el cultivo de la uva y de la producción del vino está ampliamente abierto, cada productor llega a decidir por sí mismo dónde cultiva las uvas, qué variedad planta y qué estilo de vino produce. Es decir, el Nuevo Mundo es una entidad productora de vino cuya realidad legislativa, y de estilo de producción son totalmente diferentes de los del Viejo Mundo, hasta donde permite la generalización.

En términos de vino, el Nuevo Mundo no es sólo un nuevo espacio geográfico sino una nueva actitud. Sin embargo, no es posible generalizar ya que, algunos productores europeos miran el vino desde la perspectiva liberal del Nuevo Mundo, mientras que algunos productores del Nuevo Mundo son, ciertamente, tradicionalistas dedicados al estilo del Viejo Mundo.

El estilo de elaboración del Viejo Mundo se extiende lentamente. Se basa en las prácticas tradicionales de elaboración de vino que se han transmitido durante generaciones, muchas de ellas reguladas por normativas y leyes estrictas para preservar la autenticidad de la región. Estos estilos de elaboración no sólo se limitan a las regiones del Viejo Mundo, ya que los viticultores crean también vino de este estilo en el Nuevo Mundo.

El estilo del Nuevo Mundo está tomando el relevo con rapidez. Sin tradiciones que las condicionen o que limiten su manera de producir, las regiones del Nuevo Mundo persiguen incrementar cada vez más su presencia en todo el planeta.

Estos vinos son fruto de la tecnología y la eficiencia, tanto en la calidad como en producción, tendiendo a adaptarse mejor a las tendencias populares y hábitos de consumo de moda. Este estilo se basa en el éxito comercial y la elaboración de vino listo para consumir. Debido a que estas regiones se basan en tendencias populares de consumo, estas suelen extenderse con más rapidez a otras regiones.

En resumen:

- En el Nuevo Mundo prima la innovación y la tecnología. Los vinos se designan según sus variedades y su gran objetivo es la expresión de la fruta. Las regiones productoras son amplias y flexibles.
- El Viejo Mundo es tradición. Los vinos son designados por su región y su objetivo es la expresión del terroir. En principio, se prefieren los métodos tradicionales. La delimitación de las regiones es muy estricta y son de reducido tamaño. La producción de vino es un arte..

En la actualidad, existen elaboradores del Nuevo Mundo que producen vinos al modo del Viejo Mundo y viceversa.

#### I.1.2. ESPAÑA: PRODUCTOR MUNDIAL DE VINO

España, país de la Unión Europea que forma parte del Viejo Mundo es el tercer productor mundial de vino.

El viñedo en España se extiende sobre una superficie superior al millón de hectáreas. Una gran parte del mismo se localiza en la zona central de la península ibérica. Además, existen plantaciones en los valles de los principales ríos del país (Duero, Ebro, Tajo,...) y en los de sus afluentes. La amplitud de altitudes y latitudes, combinada con la gran variabilidad de situaciones, localizaciones, litologías, paisajes, orientaciones y exposiciones de los viñedos en climas y suelos tan diferenciados y con una riqueza varietal enorme, da lugar a la gama de tipos de vino más variada del mundo (Böhm, 2011).

La producción de vinos de calidad en España se basa en la Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.; Vinos de la Tierra) y en las Denominaciones de Origen Protegidas (D.O.P.; Vinos de Calidad con Indicación Geográfica, Vinos con Denominación de Origen, Vinos con Denominación de Origen Calificada, Vinos de Pago y Vinos de Pago Calificado), y las disposiciones legislativas se recogen en el Reglamento (CE1234/2008 y

DOUE L334, de 12 de diciembre de 2008) que regula el mercado único para el sector agrícola en el que se incluye el vitivinícola.

En España existen 43 I.O.P. y 81 D.O.P., de las cuales dos son D.O. Calificadas (Rioja primero y posteriormente Priorato), setenta y seis son D.O., cuatro son menciones de Vinos de Calidad y nueve son Vinos de Pago).

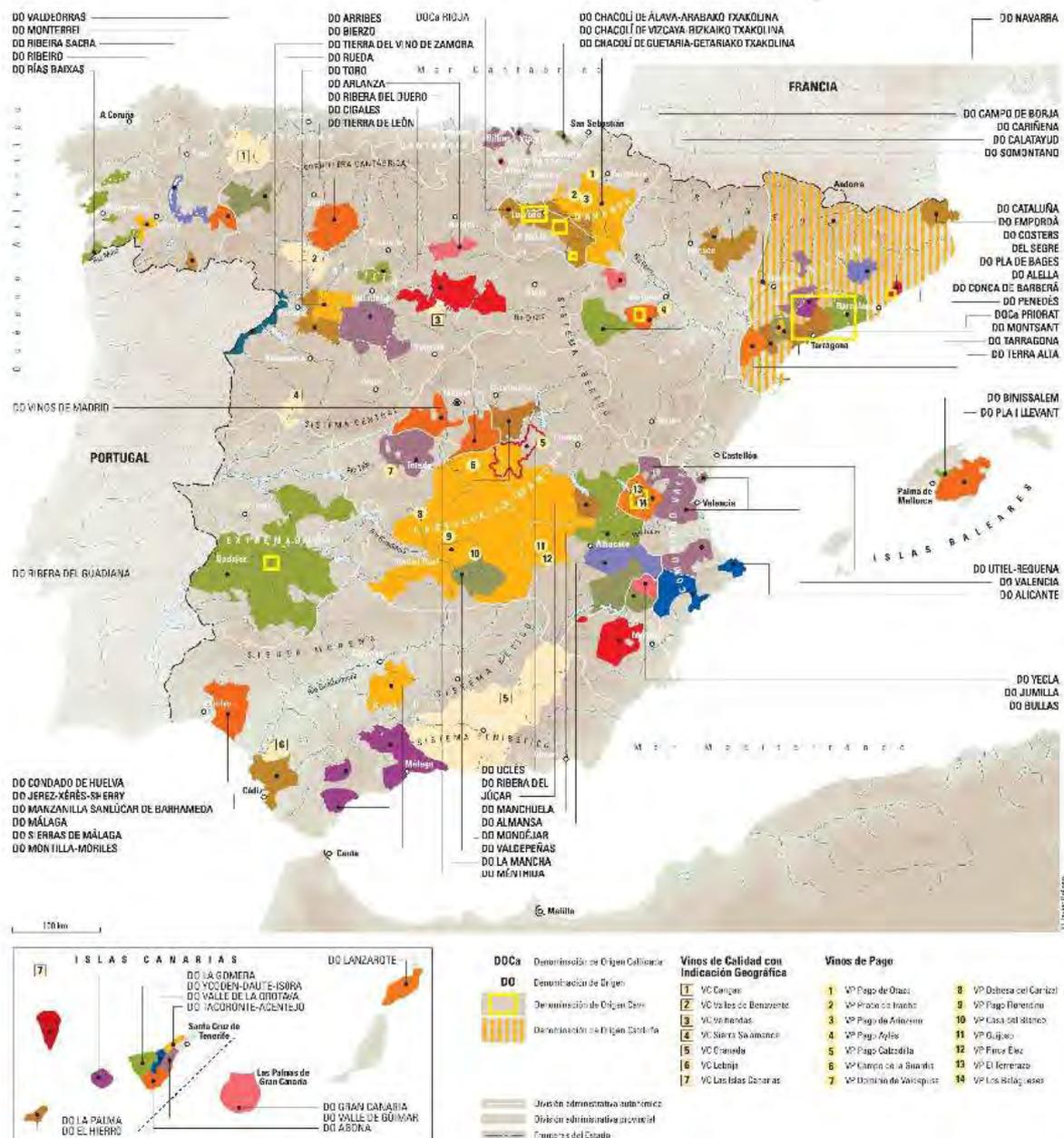


Figura I.2. Denominaciones de Origen del vino en España.

### I.1.3. CARACTERÍSTICAS VITIVINÍCOLAS DE LA D.O.Ca. RIOJA

La zona vitícola que comprende la D.O.Ca. Rioja, se encuentra delimitada geográficamente por la Sierra de Cantabria al Norte y la de la Demanda al Sur, conformando una región natural diferenciada y singular. Administrativamente las 63.593 hectáreas de viñedo protegidas por la Denominación se distribuyen en el territorio de tres provincias del curso alto del Ebro: La Rioja (43.885 ha), Álava (12.934 ha) y Navarra (6.774 ha). Las localidades siendo Alfaro, la más oriental y Haro, la más occidental, están separadas por 100 km de distancia, con una anchura máxima del valle de unos 40 kilómetros. Este valle está parcialmente ocupado por viñedos que, en sucesivos niveles de terrazas, alcanzan una altitud máxima de unos 700 m (Consejo Regulador de la D.O.Ca., 2014).

La influencia de los climas atlántico y mediterráneo que confluyen en la región, propician características climáticas diferenciadoras, lo que permite dividir a la Denominación en tres subzonas: Rioja Alta (26.786 ha de viñedo), influenciada por el clima atlántico, Rioja Alavesa (12.934 ha) también de clima atlántico pero con otro tipo de suelos y Rioja Baja (23.873 ha), de influencia mediterránea, con clima más seco y cálido (Figura I.3).



Figura 1.3. Subzonas de la D.O.Ca. Rioja

De acuerdo a la diferenciación climática y a la orografía y geomorfología de las subzonas, los suelos también presentan diferencias, aportando complejidad a los vinos. Por lo general, los suelos de la D.O.Ca. Rioja son ligeramente alcalinos, pobres en materia orgánica (<1 %) (Peregrina *et al.*, 2010) y presentan moderada a baja disponibilidad hídrica durante el verano.

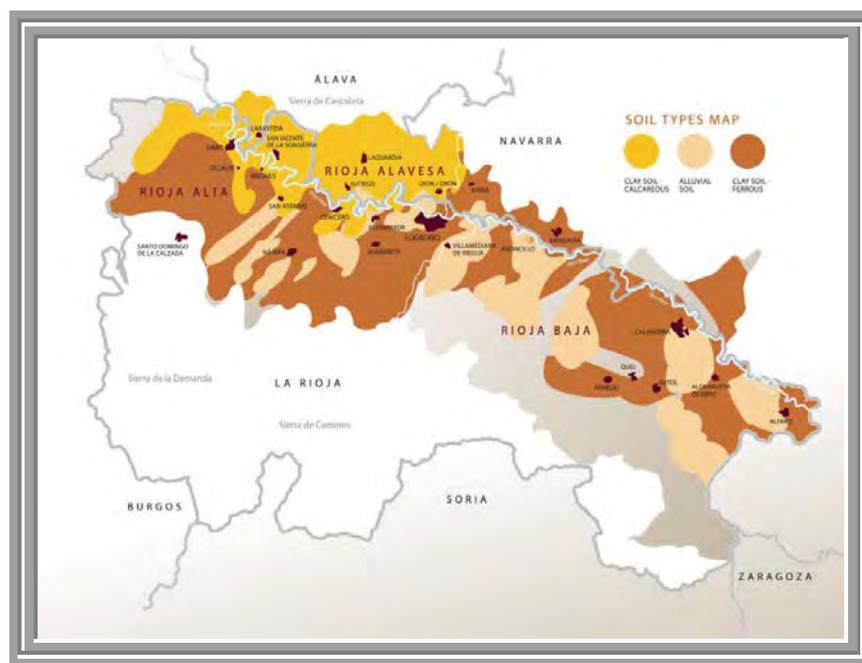


Figura I.4. Mapa de tipos de suelos de la D.O.Ca. Rioja.

A grandes rasgos, el Consejo Regulador ha catalogado los suelos como arcillo-calcareos, que representan un 25 % de la superficie total de la D.O.Ca. Rioja y, por lo general, se sitúan en pequeñas parcelas estructuradas en terrazas de la zona de Rioja Alavesa y terrenos de Rioja Alta; los arcillo-ferrosos, que se pueden encontrar por toda la geografía de la Denominación y que se suelen situar en terrenos alomados, rojizos, con roca dura y profunda y que representan otro 25 % de la superficie total; y los suelos aluviales, también presentes por toda la geografía de la D.O.Ca. Rioja en zonas cercanas a los ríos, de terrenos llanos, profundos y con presencia de cantos rodados (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014).

Con relación a parámetros de productividad, la D.O.Ca. Rioja mantiene una política restrictiva respecto al rendimiento productivo de las parcelas, según sean de variedades

tintas ( $6.500 \text{ kg ha}^{-1}$ ) o de variedades blancas ( $9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ), con el objetivo de optimizar la calidad de los vinos. La producción media anual de la Denominación se sitúa entre los 280 y los 300 millones de litros, de los que el 90 % corresponde a vino tinto y el resto a blanco y rosado.

Se aportan datos de los años en los que se desarrolló el presente estudio (2010-2013) y se incluye el 2009 previo al inicio del mismo. Según los datos del Consejo Regulador, el volumen total de producción por campaña fue de 412,3 millones de kg de uva de los cuales se calificaron 246,7 millones de litros de vino en el 2009. Para el 2010, 395 millones de kg de uva (255,1 millones de litros amparados en el 2010), y 387 millones de kg de uva, unos 266,4 millones de litros en el 2011. La producción de uva en 2012 fue de 354,9 millones de kg de uva, y 244,6 millones de litros de vino calificados por el Consejo Regulador en 2012 con uno de los rendimientos por hectárea más bajos de las últimas dos décadas ( $5.710 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Finalmente en el año 2013, la uva recolectada fue de 368,4 millones de kilogramos, y el volumen de vino calificado de 251,44 millones litros.

En el año 2007, el Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja autorizó la incorporación de nuevas variedades, las cuales para no incrementar la masa vegetal total de la Denominación sólo se pueden plantar en sustitución de arranques (Orden ARM/1372/2009).

Las variedades de uva actualmente autorizadas por el Reglamento de la D. O. Ca. Rioja son:

Tintas: Tempranillo, Garnacha, Graciano, Mazuelo y Maturana tinta.

Blancas: Viura, Malvasía, Garnacha blanca, Tempranillo blanco, Maturana blanca, Turruntés, Chardonnay, Sauvignon blanc y Verdejo.

De todas ellas, la Tempranillo, considerada autóctona de Rioja y la variedad más característica de la D.O.Ca. Rioja, representa un 80 % del total de la superficie del viñedo de la Denominación (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014).

Cencibel, Tinto de Madrid, Tinto del País y Tinto Fino son sinonimias de Tempranillo (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014) (Figura I.5).



Figura I.5. Cepa de *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo.

Tempranillo es una variedad tinta de la especie *Vitis vinifera* L. considerada originaria de Rioja, autorizada por el Reglamento de la D.O.Ca. Rioja, y sin duda, la más característica y emblemática de la denominación, fundamento de la identidad de sus vinos tintos y una de las grandes variedades nobles del mundo.

Agronómicamente es una variedad muy segura en el cuajado, aunque sensible a plagas y enfermedades, poco resistente a la sequía y a las altas temperaturas y, con un ciclo de maduración corto. Enológico es muy versátil, produce vinos muy equilibrados en grado alcohólico, color y acidez, y con un paladar suave y afrutado, que evoluciona a aterciopelado cuando envejece. Potencialmente puede producir vinos con envejecimiento largo.

La variedad Tempranillo es uno de los cultivares con mayor peso específico en la elaboración de vinos tintos de calidad. En la D.O.Ca. Rioja, como ya se ha comentado, es

la variedad preferente y mayoritaria, con una superficie de cultivo de 51.806 ha, lo que representa el 87% del conjunto de las variedades tintas de la Denominación.. Por subzonas, la mayor intensidad de cultivo de Tempranillo se da en la subzona de Rioja Alavesa con un 96%, seguida de La Rioja y Navarra ambas con un 85% de la superficie de tintas (Consejo D.O.Ca. Rioja, 2014).

#### I.1.4. EL ECOSISTEMA VITÍCOLA

La vid, al igual que otras especies vegetales, muestra variaciones de sus caracteres morfológicos y fisiológicos según las condiciones del medio local.

El medio natural en que crece la planta está definido por factores de naturaleza diversa que determinan su comportamiento y sus reacciones, y que condicionan su metabolismo, su crecimiento, y en definitiva, su desarrollo. A través de observaciones y experimentaciones específicas, se ha llegado al establecimiento de determinados principios que definen las relaciones de comportamiento entre la vid y el medio natural y permiten considerarlo como uno de los factores más influyentes en la calidad de los vinos (Böhm, 2011).

En este ámbito tan complejo nace el término de “Terroir”, cuyo concepto engloba no solo el clima, la litología, el paisaje y el suelo, sino también el concepto de sus gestión, el agroecosistema vitícola, el manejo de los productos y la elaboración del vino y, en último término, los parámetros determinantes del entorno cultural y socioeconómico (Böhm, 2011).

Asimismo, la calidad del vino está determinada por la uva, y por sus procesos de maduración, que dependen en gran medida de la interrelación clima-suelo-planta y de las modificaciones que, sobre este sistema impone el viticultor con las técnicas de cultivo.

Como las posibilidades de abordar con éxito el estudio del “Terroir” de forma global quedan muy limitadas principalmente por la carencia de datos básicos y enológicos, socioeconómicos y culturales, que deberían estar relacionados con las distintas unidades del medio. Por todo esto, se define un concepto algo más restrictivo denominado “Terroir

ambiental”, como un aspecto particular de este y referido únicamente a los elementos del medio y al agroecosistema vitícola.

La Oficina Internacional de la Viña y el Vino (O.I.V.) en resolución adoptada el 25 de junio de 2010, define el concepto de “Terroir ambiental” como un área geográfica única y delimitada sobre la que existe un conocimiento colectivo de las interacciones entre el medio físico y biológico, y las prácticas vitícolas aplicadas. Estas interacciones proporcionan características originales y suponen un reconocimiento para los productos originarios de este espacio geográfico.

Asimismo, la Oficina Internacional de la Viña y el Vino (O.I.V.) ha definido el producto de la Denominación de Origen, desde 1947. Para que un producto esté amparado por una denominación, debe tener una reputación resultante de una serie de características cualitativas, determinadas por los siguientes factores:

- a. Factores naturales. Son el clima, el suelo, las variedades, y la exposición. Estos permiten definir un área de producción limitada y son decisivos.
- b. Los factores debidos a la intervención humana, como son los métodos y técnicas de cultivo y vinificación.

La delimitación de áreas de producción con unas características determinadas interacciona con el concepto de zonificación vitícola. Se entiende por zonificación la investigación del territorio con el objetivo de repartirlo en zonas relativamente homogéneas como resultado de la interacción entre el viñedo y el medio ambiente (Fregoni *et al.*, 1998). Otros autores han definido más recientemente la zonificación vitícola como la caracterización espacial de zonas que producen uvas o vinos de composición similar, al tiempo que posibilita la implantación de decisiones operativas (Vaudour, 2003).

Los espacios delimitados en las zonificaciones vitícolas son frecuentemente denominados “unidades de terroir”. El terroir puede definirse como un ecosistema interactivo en un espacio dado, que incluye clima, suelo, y vid (portainjerto y variedad) (Seguin G., 1988).

Según Laville (1993) la unidad de terroir natural es un volumen de la biosfera terrestre que se caracteriza por un grupo específico de valores estables del relieve, de clima, del suelo y del subsuelo...

En 2010 y a nivel mundial, la O.I.V. adoptó la siguiente definición de terroir vitivinícola: “El terroir vitivinícola es un concepto que hace referencia a un espacio sobre el que se desarrolla un conocimiento colectivo de las interacciones entre un medio físico y biológico identificable y las prácticas vitivinícolas aplicadas, que confieren las características distintivas a los productos originarios de este espacio.

Para Ubalde (2010), el terroir vitivinícola incluye características específicas del suelo, de topografía, del clima, del paisaje, y de biodiversidad.

Sobre la base de la definición oficial propuesta por la O.I.V., el conocimiento del terroir se realiza a través del estudio de diversos factores como el clima, el suelo, la variedad de uva, el portainjerto, y las prácticas culturales y enológicas (Seguin, 1986, 1988).

En este estudio, se incidirá especialmente en los principales factores susceptibles de afectar a la calidad de la uva y el vino, que se pueden agrupar de la siguiente forma:

a. Factores físicos o ambientales:

Clima: macroclima, mesoclima y microclima.

Suelo: materiales originarios y procesos edafogenéticos.

Relieve: forma, pendiente y orientación.

b. Factores bióticos o genéticos: seleccionados por el viticultor.

Material vegetal: variedad, clon y portainjerto

c. Factores tecnológicos o agronómicos:

Sistemas de conducción  
Técnicas o prácticas de cultivo  
Gestión del suelo

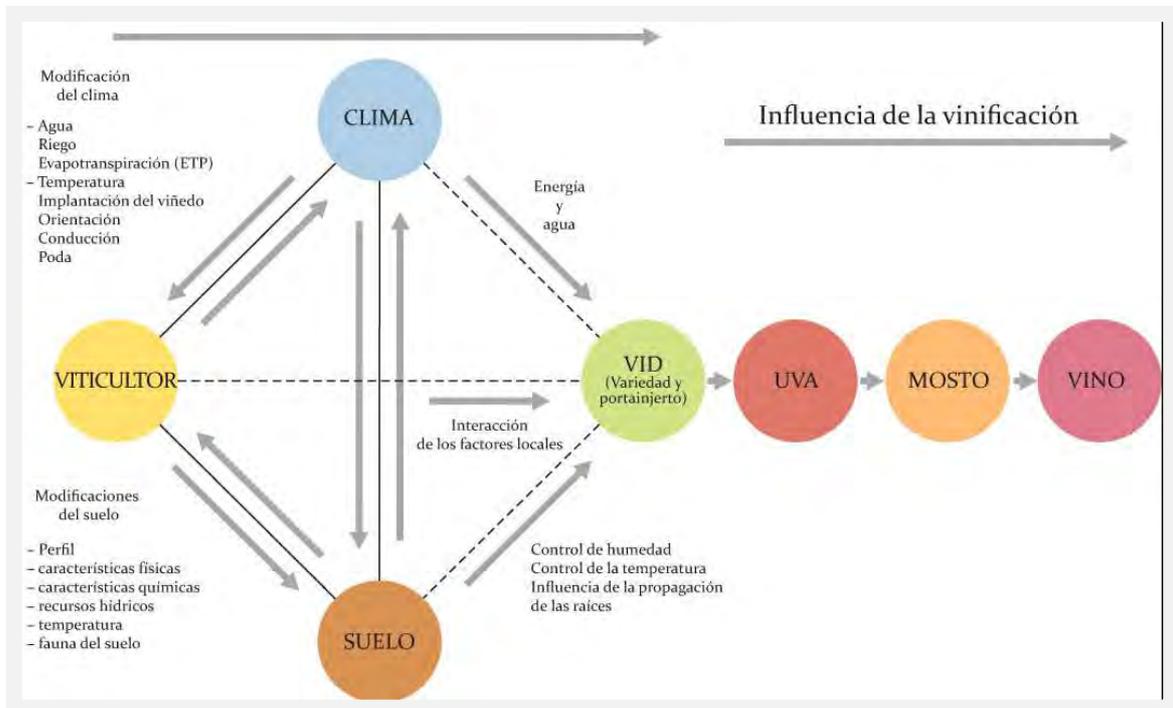


Figura I.6. Elementos del Terroir vitícola o Agroecosistema vitícola (Böhm, 2011).

Bajo el enfoque del terroir vitivinícola o bien de forma algo más restringida como el entorno natural de producción de la vid bajo la denominación de agroecosistema vitícola, los autores por su complejidad, normalmente han evaluado el impacto de un único factor en la calidad de la uva. Es muy difícil realizar estudios científicos que engloben la totalidad de los factores como clima, suelo, cultivar y prácticas agronómicas, así como su interacción entre ellos (van Leeuwen *et al.*, 2004).

La mayor parte de las experiencias han evaluado el efecto de un solo factor en la calidad de la uva. En el caso el clima (Winkler *et al.*, 1974; Huglin, 1978; Gladstones, 1992; Jones y Davis, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004), del suelo (Seguin, 1975; van Leeuwen *et al.*, 1994; Tregotat *et al.*, 2002; Sivilotti *et al.*, 2005), sobre la variedad (Riou, 1994; Huglin *et al.*, 1998) o el portainjerto (May, 1997).

Hay varios trabajos que han estudiado de forma simultánea dos factores: suelo y clima (Duteau *et al.*, 1981; Ubalde *et al.*, 2010), y suelo y cultivar (van Leeuwen, 1995).

Otros trabajos estudian el papel de una restricción hídrica moderada en el vigor de la vid y la reducción del rendimiento, así como en la mejora del potencial cualitativo (Duteau *et al.*, 1981; Mathews *et al.*, 1988; van Leeuwen *et al.*, 1994; Tregoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004; Coipel *et al.*, 2006; Koundouras *et al.*, 2006, 2009; Ubalde *et al.*, 2007; Zsófi *et al.*, 2009; Reynard *et al.*, 2011). Asimismo, se han estudiado los efectos del estado hídrico y nitrogenado de la vid, respecto al tipo de suelo para la variedad Cabernet Sauvignon (Choné *et al.*, 2001) y Merlot (Tregoat *et al.*, 2002).

No obstante algunos investigadores han identificado unidades de terroir empleando otros factores, como son variedad y portainjerto (Pouget, 1978), sistema de conducción de la vid (Carbonneau, 1980), productividad (Huglin y Balthazard, 1976), geomorfología y topografía (Dumas *et al.*, 1997) y geología (Van Schoor, 2001).

Muy pocos trabajos han abordado simultáneamente el estudio de más de dos factores del ecosistema vitícola. El de más éxito fue realizado por van Leeuwen *et al.* (2004) observando simultáneamente la influencia del clima, del suelo y del cultivar. Se emplearon tres variedades tintas y tres tipos de suelos localizados en una zona climática homogénea en la región de Burdeos.

Sin embargo, el determinismo de la calidad vitivinícola se concibe en el seno de un agroecosistema vitícola, en el que los componentes fundamentales son el clima y el suelo, en interacción con la planta y las tecnologías de producción (Vaudour, 2003).

Según van Leeuwen *et al.* (2004) el efecto del clima es el más importante de todos los factores, seguido por el suelo y la variedad de vid. El suelo tiene un peso específico importante, pero a menudo se estudia junto con el factor clima, porque sus efectos en la calidad del vino solo son comparables bajo las mismas condiciones climáticas.

#### I.1.4.1. El clima y la vid

El clima tiene un gran efecto en la génesis de suelos, y es también un importante factor en el cultivo de la vid. Entre los factores estudiados en la zonificación vitivinícola, el clima es probablemente el factor con mayor influencia sobre la idoneidad del medio ambiente de cultivo de la vid y de producción de vino (Hidalgo, 1999). También, es considerado un factor muy importante en el ecosistema vitícola y en la expresión del terroir.

La vid es una planta perenne adaptada a una amplia gama de condiciones climáticas. La especie de vid más cultivada para producir vinos de calidad es *Vitis vinífera* L., que puede soportar en invierno unas temperaturas de -15°C o -20°C. El límite de frío para una viticultura sin protección en invierno puede considerarse como -1°C de temperatura media para el mes más frío (Gladstones, 2000). Las temperaturas mínimas medias en primavera pueden ser empleadas de cara a evaluar el riesgo de helada después de la brotación (Gladstones, 1992).

La geografía del cultivo de la vid en el mundo es una muestra evidente del carácter limitante del clima. De tal manera, que debido a la distribución de la temperatura en franjas sensiblemente paralelas en el globo (zonación térmica) el intervalo latitudinal extremo para su cultivo está de forma aproximada entre 50° N y 40° S (Böhm, 2011).

Un mínimo de temperaturas acumuladas durante la fase de crecimiento es necesario para asegurar la maduración completa de las diferentes variedades (Winkler, 1962; Huglin, 1978). La cantidad de calor que la uva requiere para madurar completamente varía ampliamente entre las diferentes variedades. Al menos son necesarios 1200° C (suma de temperaturas eficaces) para los cultivos de más temprana maduración, lo cual es otra limitación para el cultivo de la vid en latitudes altas. Teniendo en cuenta estas limitaciones la zona más adecuada para cultivar uva de alta calidad se encontraría en la latitud comprendida entre los paralelos 35 y 50 en el hemisferio norte, y entre los paralelos 30 y 45 en el hemisferio Sur (van Leeuwen y Darriet, 2010). Si bien en ciertos casos una altitud algo más elevada compensa una baja latitud (van Leeuwen, 2007).

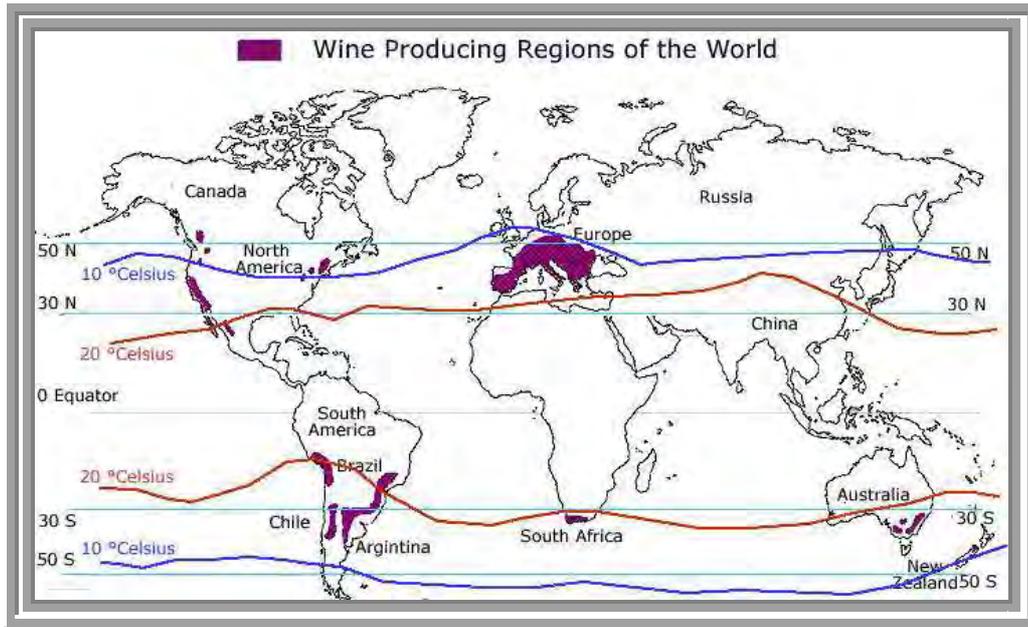


Figura I.7. Mapa de regiones productoras de vino con relación a la latitud.

Un mínimo de temperaturas acumuladas durante la fase de crecimiento es necesario para asegurar la maduración completa de las diferentes variedades (Winkler, 1962; Huglin, 1978). La cantidad de calor que la uva requiere para madurar completamente varía ampliamente entre las diferentes variedades. Al menos son necesarios  $1200^{\circ}\text{C}$  (suma de temperaturas eficaces) para los cultivos de más temprana maduración, lo cual es otra limitación para el cultivo de la vid en latitudes altas. Teniendo en cuenta estas limitaciones la zona más adecuada para cultivar uva de alta calidad se encontraría en la latitud comprendida entre los paralelos 35 y 50 tanto en el hemisferio norte, y entre los paralelos 30 y 45 en el hemisferio Sur (van Leeuwen y Darriet, 2010). Si bien en ciertos casos una altitud algo más elevada compensa una baja latitud (van Leeuwen, 2007).

El cultivo de la vid se desarrolla entre el paralelo 4 y 51 del hemisferio Norte y entre el 6 y 45 del hemisferio Sur (Shultz y Stoll, 2010). Sobre la base de la latitud, es posible clasificar la viticultura como tropical, subtropical, templada o fría. En 2002, el 70,5% de la viticultura mundial se encontraba en zonas templadas, mientras que el 10% se practicaba en el hemisferio Sur (Fregoni y Gatti, 2007).

En esta amplia gama de latitudes, los parámetros climáticos son muy variados. Por lo tanto, no es posible definir las condiciones climáticas ideales para producir vinos de alta calidad, porque en todas estas latitudes se producen grandes vinos. Con temperaturas frías en el valle del Rin, Borgoña, Nueva Zelanda, con temperaturas templadas en Burdeos, Toscana y Rioja. Asimismo, con temperaturas cálidas en Burdeos, Alicante, Australia meridional y el valle de Napa.

Las principales regiones productoras de vino han sido caracterizadas con sus parámetros climáticos medios por Gladstones (2011).

Para definir con mayor precisión el efecto del clima en la calidad del vino hay que tener en cuenta las interacciones entre el clima y la variedad de uva. La precocidad de la maduración de la uva es una propiedad determinada genéticamente que varía enormemente de un cultivar a otro. En las regiones de Europa tradicionalmente productoras de vino, los viticultores han utilizado esta propiedad para adaptar las vides a las condiciones climáticas locales. En latitudes altas, el factor que limita la producción de vinos de alta calidad es el nivel de maduración de la uva. La uva poco madura da lugar a vinos verdes, ácidos y con niveles bajos de alcohol, fruto de una acumulación insuficiente de azúcar en la fruta. Debido a esto, en latitudes altas se cultivan variedades de maduración temprana, como Pinot Noir, Chardonnay y Gewürztraminer, para optimizar una maduración correcta. En climas templados de latitudes bajas se han seleccionado variedades de maduración tardía como Garnacha, Carignan y Monastrel.

A consecuencia de ello, en las regiones productoras tradicionales la recolección de la uva tiene lugar entre el 10 de septiembre y el 10 de octubre, a pesar de las enormes diferencias climáticas que se dan en Europa. A este tipo de viticultura se le conoce como “de clima frío”, no por el clima en sí sino porque la vendimia se produce en condiciones frías, al final del verano o comienzos del otoño (Happ, 1999, 2000)

Cuando la precocidad de la variedad de uva se corresponde con las condiciones climáticas, los vinos producidos poseen alta expresión.

Las condiciones climáticas varían en el espacio a diferentes escalas: macro-, meso-, y microclimática. A este respecto, se han descrito tres niveles climáticos (Smart *et al.*, 1991), y son los siguientes:

Macroclima (clima regional): variaciones climáticas entre unas regiones y otras. A nivel macroclimático, temperaturas, irradiación solar, humedad y precipitaciones son variables dependientes de las coordenadas geográficas de latitud y longitud.

En un intento por delimitar los macroclimas en Europa se utiliza la Línea de Wagner (Warner, 1976). Esta línea imaginaria va desde Portugal, por debajo de Oporto, recorre el valle del Douro, continúa por el Duero español hacia Burgos pasa por Logroño y prosigue, ya en Francia, por Cahors hacia Lyon, para avanzar en Suiza hasta el lago Ginebra y mantener su trazado hacia el Este, dirección Zagreb. El carácter condicionante del clima se ve reflejado en la distinta vocación de las regiones productoras. Esta línea divide el continente europeo en dos áreas climáticas. Al norte de la línea: “Es un clima templado con cuatro estaciones, todas ellas beneficiarán a la uva, con inviernos fríos, temperaturas muy variables durante el período vegetativo, y lluvias dispersas en las estaciones”. Bajo este clima de influencia atlántica se producen vinos de menor graduación y mayor acidez que los vinos mediterráneos, siendo en general, más afrutados, importante matiz sobre todo en los vinos blancos (Hidalgo, 1999).

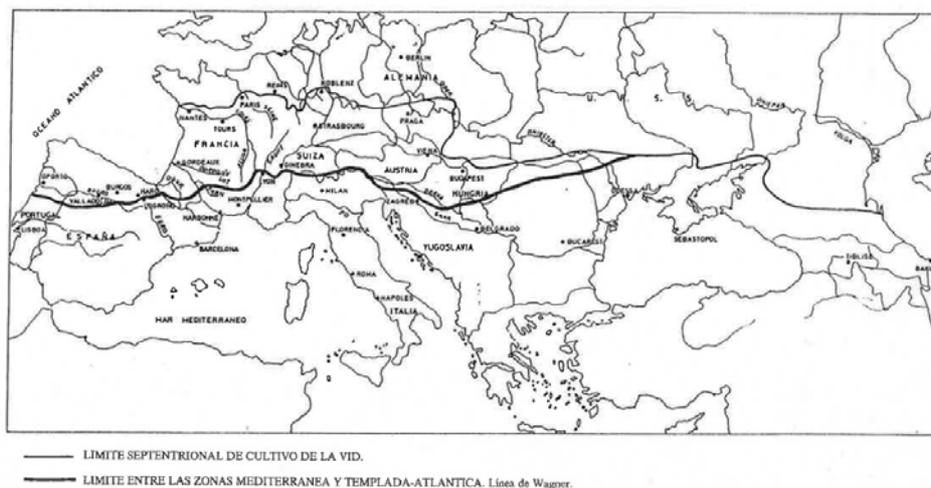


Figura I.8a. Línea de Wagner (escala de grises)

La otra zona al sur de la línea, es de influencia mediterránea donde se producen vinos de graduación alcohólica alta, de relativa baja acidez y aromas que en el caso principalmente de los tintos, se exaltan con la crianza (Hidalgo, 1999). Según el propio Wagner (1976) en su obra *Grapes into Wine*: “La cuenca mediterránea tiene un clima con dos estaciones marcadas, con inviernos suaves y lluviosos y veranos calurosos y secos, casi sin lluvia”.



Figura I.8b. Línea de Wagner (color)

El efecto de escala macroclimática es difícil de estudiar científicamente porque el suelo varía entre regiones vitícolas, haciendo imposible evaluar el efecto de las influencias climáticas de forma aislada. Sin embargo, existe un consenso general en considerar el clima como un rasgo importante de tipicidad de los vinos de las diversas regiones productoras. Las diferencias climáticas regionales son descritas con precisión por medio del sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) o Géoviticulture Multicriteria Climatic Classification System (Tonietto y Carbonneau, 2004).

Mesoclima: más local que el macroclima, marca diferencias en la calidad y estilo de los vinos dentro de una misma región.

El clima regional puede estar influenciado por condiciones geográficas singulares, dando como resultado un clima local o mesoclima. Este efecto ha sido estudiado en Alsacia (Francia) por Dumas *et al.* (1997), en Burdeos por Bois (2002), en Toscana (Italia) por Bindi y Maselli (2001) y en Oregon (EE.UU.) por Jones *et al.* (2004).

Con las mismas coordenadas, el factor que más influye en las condiciones mesoclimáticas es la topografía, concretamente, altitud, pendiente y orientación (Dumas *et al.*, 1997). Los efectos de la topografía sobre el clima pueden ser indirectos, afectando al drenaje de agua y la exposición al viento, o directos, debido a cambios en la incidencia de la luz del sol sobre la superficie de la tierra (Crowe, 1971).

En el caso de la altitud, la temperatura disminuye 0,6° C de media por cada 100 m. Este parámetro además establece el límite altitudinal en el cultivo de la vid, tal como ocurre en regiones como Chianti Classico (Italia), en la cual no se puede producir vinos de calidad de *Vitis vinífera* L. cv. Sangiovese en cotas superiores a los 600 m (van Leeuwen *et al.*, 2007).

Respecto a la orientación, las parcelas vitícolas ubicadas en laderas orientadas al sur reciban más radiación solar, presentando mayores valores de temperatura. Mientras que las laderas expuestas al norte son más frías. Estos efectos aumentan con el porcentaje de inclinación de la pendiente. Este a su vez también modifica el balance de agua, respecto a la cantidad que se infiltra en el suelo. Cuanto mayor sea el porcentaje de inclinación mayores serán las pérdidas de agua por escorrentía.

Hay otros factores físicos que influyen en el mesoclima como el viento dominante, la distancia a estructuras montañosas o a grandes masas de agua (Reynolds, 2010).

Este topoclima o mesoclima tiene una gran influencia en el desarrollo de la vid y en la calidad de la uva, especialmente en regiones con una compleja geomorfología, como es el caso de varias zonas productoras de vino de renombre en Europa (Novello y de Palma, 2007).

Microclima: el clima dentro de un mismo terreno o inmediatamente alrededor de la masa vegetal. A escala microclimática, los parámetros meteorológicos están influenciados por el tipo de suelo y el manejo de la vegetación.

La temperatura del suelo está estrechamente relacionada con la cantidad de agua en el mismo. Los suelos húmedos se calientan más lentamente en primavera, lo que demora la fenología (Barbeau *et al.*, 1998).

Respecto al manejo de la masa vegetal influye fundamentalmente en la cantidad de luz solar que reciben las hojas y los racimos. El microclima puede ser manipulado mediante el manejo de la masa vegetal (Smart y Robinson, 1991). Por lo tanto, la temperatura de las hojas y de las bayas puede ser modificada por las prácticas de manejo de la vegetación, variando el sistema de conducción o por el deshojado (Pieri y Fermaud, 2005).

Los importantes efectos del clima (macro-, meso-, y microclima) en el crecimiento de la vid y en la maduración de las bayas han sido expuestos de forma exhaustiva por Gladstones (1992). La velocidad de desarrollo y de maduración influyen fuertemente en la calidad del fruto y las características del vino, a través de la relación azúcares-acidez, pH del mosto, acumulación de flavonoides no volátiles (compuestos fenólicos condensados) y compuestos más volátiles responsables de los sabores y aromas agradables del fruto. Otros autores como Smart *et al.* (1991) afirman que el control del microclima mediante la gestión de la masa vegetal es especialmente importante de cara a regular los procesos fisiológicos en la vid, de cara a lograr una buena calidad de los frutos y vinos con carácter.

Las variaciones en el comportamiento de la vid y la maduración de la uva de un año a otro en un terreno determinado reflejan únicamente el efecto del clima, ya que el tipo de suelo y el material vegetal son constantes. Las variaciones anuales de las condiciones climáticas se conocen en viticultura como “efecto añada” (van Leeuwen *et al.*, 2004, 2007).

El clima influye en la fisiología de la vid a través de las temperaturas, las precipitaciones, el déficit de presión de vapor, la evapotranspiración potencial, la insolación y el viento (van Leeuwen *et al.*, 2007). Las variables climáticas más importantes son temperatura, precipitación y radiación solar, además pueden ser decisivas las condiciones mesoclimáticas y microclimáticas.

Según Jones y Davis (2000), concluyen después de un estudio realizado en la región de Burdeos mediante observaciones fenológicas y de composición de la uva con las variedades Merlot y Cabernet Sauvignon, que el clima influye en la calidad de la uva en todas las fases de crecimiento, desde el desborre hasta en enero. Cuatro variables climáticas explicarían la mayor parte de la varianza encontrada en el estudio. Los niveles de insolación durante el periodo de brotación, tienen un efecto positivo presumiblemente al generar altos niveles de actividad fotosintética. Un aumento del número de días con temperaturas mayores de 30° c en floración y enero se ha relacionado positivamente con la calidad al influir sobre crecimientos precoces y maduraciones completas (Caló *et al.*, 1996) Adicionalmente, las precipitaciones durante el enero aminoran la calidad por efectos de dilución en la baya y por problemas relacionados con la humedad (Matthews *et al.*, 1987; Poni *et al.*, 1994).

#### I.1.4.1.1. Temperatura del aire

La temperatura del aire es el parámetro climático más importante, porque afecta a casi todos los procesos fisiológicos de la planta. Todos los aspectos del crecimiento de la vid están controlados por la temperatura: procesos físicos, reacciones enzimáticas, transporte de hidratos de carbono y de iones, permeabilidad de membranas...(Sotés, 2004).

Asimismo, interviene en el metabolismo de la planta sobre todo si existen altas temperaturas o heladas tardías de primavera (Vaudour, 2003; Fregoni, 2005). Este elemento climático afecta a la producción, debido a que temperaturas elevadas provocan un aumento del número de racimos por pámpano, disminuyendo el número de flores por racimo, y a su vez también inhiben el cuajado.

El punto cero de crecimiento vegetativo de la vid depende de la variedad de uva, la mayoría de los autores considera que el desarrollo de la vid comienza aproximadamente a los 10° C. La fenología de la vid, es decir, la fecha en que ocurre la brotación, la floración y el enero (comienzo de la maduración) está accionada por la temperatura. Esta relación es tan fuerte que puede ser predicha a partir de la suma de las temperaturas activas

(Winkler *et al.*, 1974; Huglin *et al.*, 1998) u otros modelos fenológicos generales basados en la temperatura (Parker *et al.*, 2011).

La fecha de floración depende de la temperatura del aire (Carbonneau *et al.*, 1992). La temperatura óptima de la hoja de la vid para realizar la fotosíntesis en condiciones de campo es muy amplia, entre 25° y 35°C, aunque hay estudios que indican un óptimo de 25° a 30°C. La temperatura que tiene un efecto positivo en la actividad fotosintética, aumenta el contenido en azúcares de la uva (Jackson y Lombard, 1993; Zamboni, 1996), y su acidez decrece, en particular el contenido en ácido málico (Coombe, 1987).

La temperatura favorece la síntesis de ácidos orgánicos durante la fase de crecimiento de la baya. Por el contrario, juega un papel determinante en la degradación del ácido málico, que se produce más lentamente en las regiones frescas que en las cálidas. Esta fase metabólica ocurre sobre los 30°C, siendo más sensible térmicamente que el ácido tartárico que se degrada a los 37° C (Fregoni, 2005).

El régimen de temperaturas también condiciona la elección de la variedad, ya que la maduración se produce durante la época más fresca de la estación, pero lo suficientemente cálida para garantizar una buena maduración glucométrica, fenólica y aromática de la uva (Jackson y Lombard, 1993).

Las temperaturas tienen una influencia decisiva y fundamental en la maduración de la uva y en la composición del vino (Hidalgo, 1999; Coombe, 1987; Downey *et al.*, 2006), además las temperaturas acumuladas determinan la velocidad de maduración de la pulpa y la fecha de vendimia (Branas *et al.*, 1946; Huglin, 1978; Duteau, 1990). En las zonas vitícolas europeas se han seleccionado variedades que maduran antes de que la T<sup>a</sup> media mensual baje de los 10°C considerándose dos situaciones climáticas. Zonas alfa, donde el final de la maduración ocurre en otoño con temperaturas diurnas moderadas y noches frías, como sucede en Burdeos, sur de Australia, Nueva Zelanda, Monterrey (California).

Respecto a las zonas beta, las uvas maduran antes de que las temperaturas nocturnas caigan por debajo de 10°C. Los días y las noches son cálidos, de tal forma que se

completa la maduración sin problemas. Los años frescos se incrementa la acidez total. Son ejemplos, Valle central (California), sur de Francia, Italia, España (Sotés, 2004).

Las temperaturas nocturnas durante el período de maduración de la uva afectan a la acumulación de compuestos fenólicos, al aroma y al color del vino (Tonietto, 1999; Tonietto y Carbonneau, 1998, 2002; Deloire *et al.*, 2005). Ciertos metabolitos secundarios, como los antocianos pueden verse afectados negativamente por las altas temperaturas diurnas durante el período de maduración. La diferencia de temperatura entre el día y la noche no modifica significativamente el contenido en azúcares, pero la mayor acumulación de antocianos se produce para una temperatura de 25°C durante el día y 15°C por la noche (Kliewer y Torres, 1972).

La calidad y síntesis de los aromas depende en gran medida de la variedad y de la temperatura, ya que la síntesis de los compuestos aromáticos aumenta hasta un máximo con la temperatura y después disminuye. Existe una correlación positiva entre la amplitud térmica y la síntesis de terpenos y benzenoides (Tomasi *et al.*, 2006)

#### I.1.4.1.2. Precipitación

La vid europea (*Vitis vinífera* L.) se adapta mejor que la mayoría de las otras especies a la sequía y, normalmente, la pluviometría anual de las zonas de cultivo es suficiente para satisfacer las necesidades.

La demanda de precipitaciones varía según la zona climática y la variedad, observándose un amplio intervalo de valores. A nivel mundial, la mayoría de regiones vitícolas que elaboran vinos de calidad se caracterizan por una pluviometría entre 700 y 800 mm, mientras que en aquellas que se elaboran vinos de calidad inferior, normalmente hay un exceso de agua, por lluvias o exceso de riego, o bien un fuerte déficit hídrico. Precipitaciones entre 350 y 600 mm se consideran adecuadas para la producción de vinos de alta calidad (Hidalgo, 1999). El estudio de las características climáticas para algunas variedades (Sangiovese, Pinot Noir, Garnacha y Nebbiolo) ha mostrado que las mejores condiciones climáticas se producen en el intervalo entre 296 y 521 mm de pluviometría, entre los meses de abril y octubre (Gatti y Fregoni, 2009).

La relevancia de este parámetro se tiene en cuenta mediante el cálculo de la evapotranspiración máxima característica del cultivo (ETM) calculando el balance hídrico, con el objeto de conocer un posible déficit hídrico.

La pluviometría elevada y el riego excedentario retrasan la fase de maduración y reducen en potencial cualitativo de los vinos en las zonas frías y templadas. En general, el exceso hídrico favorece el vigor de la planta y el rendimiento, debido a la formación de bayas de mayor tamaño. Si existe un exceso de agua, la uva y el vino presentan una disminución de la acidez y del contenido en antocianos, cuya síntesis se ve limitada por el mayor sombreado que producen las hojas (Smart y Coombe, 1983; Bravdo *et al.*, 1985). Asimismo, la disponibilidad de agua se traduce en un aumento del pH y del contenido en potasio (Reynier, 2001).

Algunos investigadores han puesto de manifiesto la mejor calidad de los vinos procedentes de viñedos con déficit hídrico entre el envero y la vendimia, en comparación con los procedentes de los viñedos sin limitación hídrica (Jackson y Lombard, 1993).

#### I.1.4.1.3. Radiación solar

Es la variable climática que más relacionada está con la actividad fotosintética de la planta. La vid es exigente en luminosidad y la actividad fotosintética aumenta con la longitud de onda de la banda del espectro visible. En condiciones satisfactorias de temperatura (25-30° C), el espectro óptimo está entre 30.000 y 60.000 Lux ( $1000 \text{ W/m}^2 = 96000 \text{ Lux}$ ); por encima de 30° C y de 100000 Lux se produce el cierre estomático. En una hoja con buena insolación la fotosíntesis aumenta según un modelo asintótico, donde el punto de saturación corresponde a la intensidad de la luz de la cual ya no se produce un cambio en la actividad fotosintética. Esta condición se alcanza para un nivel dado de radiación fotosintéticamente activa (PAR) que varía entre 800 y 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Alexandre *et al.*, 2013a).

Sobre la base de los conocimientos actuales casi el 85% de la radiación es absorbida por la hoja y el 9% es transmitida al interior de las mismas (Smart, 1985). En estas condiciones, en días con cielo claro, la intensidad de la PAR es suficiente para

asegurar un alto nivel fotosintético, no siendo un factor limitante de la fotosíntesis. Sin embargo, la superficie foliar más interna presenta niveles fotosintéticos progresivamente más bajos.

La actividad fotosintética, y por lo tanto el crecimiento de los pámpanos, está estrechamente ligada a la evolución de las temperaturas, alcanzándose los máximos entre los 25-30° C. La velocidad de crecimiento depende igualmente del fotoperiodo, aumentando cuando la duración del día es superior a trece horas, ya que una mayor intensidad luminosa, hasta un cierto límite, favorece la actividad vegetativa y la maduración de las uvas (Böhm, 2011).

La superficie foliar del viñedo se caracteriza por una población homogénea de hojas que alcanzan su máxima eficacia fotosintética entre la sexta y séptima semana de vida. A lo largo del ciclo vegetativo de la vid, la capacidad de síntesis de hidratos de carbono alcanza los valores más elevados en la parte apical de los sarmientos, siendo las condiciones térmicas más favorables para la actividad fotosintética temperaturas entre 30 y 32°C (Poni *et al.*, 1994).

La luz y la temperatura desempeñan un papel determinante en el proceso de fructificación, ya que mejoran el proceso de diferenciación de las inflorescencias y de las flores. Tal es así, que temperaturas de 20-25° C y tiempo seco favorecen la floración. La iluminación y la temperatura también mejoran el desarrollo y maduración de las bayas, ya que incrementan la actividad fotosintética y por lo tanto la riqueza de azúcares, la síntesis de componentes del color y de aromas, y disminuyen la acidez.

En los climas septentrionales, los elementos más limitantes son los relacionados con el nivel energético suministrado a la planta, es decir, la temperatura y la insolación. Por el contrario, en las zonas meridionales el nivel térmico-energético suele ser suficientemente elevado y la actividad vegetativa se ve resentida por un déficit hídrico prolongado, especialmente grave en climas cálidos con escasas o inapreciables precipitaciones durante los meses más calurosos (Böhm, 2011).

#### I.1.4.1.4. Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola

Las investigaciones sobre la influencia del clima en la viticultura han permitido crear numerosos índices bioclimáticos basados en la temperatura, la radiación solar y la pluviometría. Estos permiten la descripción y la delimitación de las zonas climáticas a niveles: macroclimático (regiones vitícolas), mesoclimático a escala local y microclima a nivel de parcela.

En este estudio, se ha utilizado el índice heliotérmico de Huglin (Huglin, 1978) ya que ha sido seleccionado para formar parte de los índices empleados en la Clasificación Climática Multicriterio de Tonietto y Carboneau (2004).

Este índice de Huglin se utiliza para conocer la disponibilidad térmica de la parcela. Representa una fórmula para la suma de calor similar al índice de Winkler, pero con un ajuste que da más peso a las temperaturas diurnas y se multiplica por un coeficiente de corrección (d), que tiene en cuenta la duración media de las horas de luz según la latitud, con valores para dicho coeficiente entre 1,02 y 1,06 para 40° y 50° de latitud respectivamente, en el hemisferio norte.

Otra particularidad es que solo se tiene en cuenta el periodo desde el 1 de abril al 30 de septiembre, considerando 6 meses en vez de siete de otros índices, ya que Huglin (1978) estableció que la acumulación de calor en octubre era menos importante. Su cálculo se realiza entre el 1 de abril y el 30 de septiembre (hemisferio norte) sobre la base de la temperatura activa (aquella por encima del cero vegetativo, establecido en 10°C) y la temperatura máxima.

Su fórmula es la siguiente:

$$HI = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{[(T - 10) + (T_x - 10)]}{2} d$$

T- T<sup>a</sup> media del aire; Tx- T<sup>a</sup> máxima del aire; d-coeficiente longitud del día

Este índice muestra una buena correlación con el contenido en azúcar de diversas variedades (Huglin, 1986) y permite la evaluación del potencial térmico de una región vitícola. Además, ayuda a diferenciar las zonas que se caracterizan por una temperatura media igual pero con un gradiente diferente, proporcionando información para ser utilizada a la hora de elegir la variedad a plantar.

La clasificación climática multicriterio geovitícola (CCMG) es un método de clasificación climática para una macro-caracterización de las regiones vitícolas. Para su cálculo se consideran el balance hídrico potencial, las condiciones heliotérmicas durante el ciclo vegetativo de la vid, así como la temperatura durante el periodo de maduración de la uva.

Este sistema se basa en la integración de tres índices climáticos: el índice heliotérmico de Huglin (HI), el índice de Sequía (Dryness Index, DI), y el índice de Frescor nocturno o de noche fría (Cold Night Index, CI), desarrollado por Tonietto (1999, 2007) y Tonietto y Carbonneau (2004) para caracterizar el clima vitícola de cualquier región, clasificarlo y agruparlo. Estos índices tienen en cuenta los principales parámetros del clima que influyen sobre la fisiología de la vid y maduración de la uva, además se complementan entre ellos.

Durante el periodo de maduración, la temperatura del aire juega un papel determinante en la madurez de la uva, incluyendo el aroma y la coloración, teniendo un importante efecto en las características de los vinos (Jackson y Lombart, 1993). La temperatura de día influye en la coloración, pero el efecto de las temperaturas frías nocturnas es aún más fuerte (Singleton y Esau, 1969; Kliewer y Torres, 1972; Kliewer, 1973; Tomana *et al.*, 1979; Fregoni y Pezzutto, 2000).

Diferencias en el nivel hídrico del suelo afectan a la calidad de uva y se refleja en la calidad del vino (Conradie *et al.*, 2002). La regulación de la disponibilidad de agua es determinante para obtener uva de calidad (Seguin, 1983; Merougé *et al.*, 1998). Bravdo y Hepner (1987) muestran que un déficit hídrico moderado mejora la calidad de la uva.

A continuación, se describen los 3 índices climáticos vitícolas, sintéticos y complementarios seleccionados del SCCMG:

Índice heliotérmico de Huglin (IH). El clásico índice de Huglin (Huglin, 1978) ya comentado que forma parte del SCCMG por varias razones. Se relaciona con el requerimiento térmico de las variedades, y la riqueza de azúcares de las bayas, ya que ambos parámetros, temperatura y horas de luz, están directamente relacionados con la actividad fotosintética de la planta.

Este proporciona información sobre el nivel de potencial heliotérmico y se calcula sobre la base de un período que es en promedio biológicamente aceptable. Como ya se ha comentado, proporciona una mejor idea del potencial de azúcar según variedades que otros índices clásicos de suma de temperaturas.

En el SCCMG se definen seis clases dentro de este índice, en lugar de las ocho clases, se han fusionado las clases 6 y 7 (*Cálida* y *Muy Cálida*), quedando comprendida entre los valores 2400 a 3000° C, y por otro lado se fusionan las clases 1 y 2 (*Demasiado Fría* y *Muy fría*) caracterizada ahora por valores menores de 1500° C.

Combinado con el índice de Frescor nocturno permite una buena discriminación de la región climática.

Índice de Frescor nocturno (IF). Es un índice climático vitícola desarrollado para estimar las condiciones térmicas nocturnas asociadas al periodo de maduración de las uvas (Tonietto, 1999; Tonietto y Carbonneau, 2004). Se calcula mediante la media de las temperaturas mínimas nocturnas durante el periodo de maduración, considerando este periodo el mes de septiembre en el hemisferio norte. Se mide en °C.

Está relacionado con la producción de metabolitos secundarios (polifenoles, aromas) en las uvas, ya que la temperatura nocturna es un factor que favorece procesos como la acumulación de compuestos relacionados con la calidad organoléptica de la uva y del vino. Este factor climático es importante en lo que respecta al color y aromas de la uva y el vino (Kliewer y Torres, 1972; Kliewer, 1973; Tomana *et al.*, 1979)

Se determina el IF en el hemisferio norte como la temperatura mínima del aire en el mes de septiembre (media de las mínimas) en °C.

Índice de Sequía (IS). Este índice permite caracterizar la componente hídrica del clima de una región vitícola. Estando fuertemente relacionado con las características cualitativas de la uva y el vino. Tiene en cuenta para su cuantificación, la demanda climática de un viñedo estándar, la evaporación de un suelo sin vegetación, y la precipitación sin considerar la escorrentía superficial ni el drenaje interno del suelo, informando de la disponibilidad hídrica potencial del suelo. Se basa en una adaptación realizada por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) a partir del balance hídrico potencial Riou (Riou *et al.*, 1994), y desarrollado especialmente para su aplicación en viñedo.

Este índice muestra el potencial hídrico disponible en el suelo, relacionado con el nivel de sequía de una región. Este factor climático es importante en lo que respecta al nivel de maduración de la uva y a la calidad del vino (Jackson y Cherry, 1988; Seguin, 1983; Méroutge *et al.*, 1998; Carbonneau, 1998).

El IS se calcula a partir del balance hídrico potencial del suelo o índice de Riou para unas determinadas condiciones:

$$W = W_o + P - T_v - E_s$$

W - reserva hídrica estimada del suelo al final de un determinado periodo (mm); W<sub>o</sub> - reserva inicial útil de agua en el suelo (mm) accesible por las raíces; P - precipitación (mm); T<sub>v</sub> - Transpiración potencial del viñedo; E<sub>s</sub> - Evaporación directa del suelo (mm)

Este índice se calcula para un periodo de 6 meses, el mismo que se utiliza para el cálculo del IH, que es aceptable para la mayoría de los viñedos en el mundo.

Tabla I.1. Clases de clima vitícola según los índices climáticos (CCM).

Índice	Clase de clima	Acrónimo	Intervalo de clase
<b>Índice de Huglin</b>	Muy cálido	IH+3	>3000
	Cálido	IH+2	>2400 ≤3000
	Templado cálido	IH+1	>2100 ≤2400
	Templado	IH-1	>1800 ≤ 2100
	Frío	IH-2	>1500 ≤1800
	Muy frío	IH-3	≤1500
<b>I. de Frescor nocturno</b>	Noches muy frescas	IF+2	≤12
	Noches frescas	IF+1	>12 ≤14
	Noches templadas	IF-1	>14 ≤18
	Noches calurosas	IF-2	>18
<b>Índice de Sequía</b>	Muy seco	IS+2	≤-100
	Moderadamente seco	IS+1	≤50 >-100
	Subhúmedo	IS-1	≤150 >50
	Húmedo	IS-2	>150

Adaptado de Tonietto y Carboneau (2004)

#### I.1.4.2 El factor suelo en viticultura

El suelo, como ente natural, es la parte superficial de la corteza terrestre que representa la interfase entre la atmósfera, la litosfera, y con las masas de agua dulce y salada (hidrosfera). Además, los suelos sustentan el crecimiento de las plantas y de los animales, y por ello, forma parte de la biosfera (White, 2003). Para un clima específico, el suelo es el factor medioambiental más importante que afecta al desarrollo de la vid y a la composición del vino (Sotés y Gómez-Miguel, 2003).

El suelo influye en el desarrollo de la vid y en la composición de la baya (van Leeuwen y Seguin, 2006). La mayoría de los autores están de acuerdo en el hecho de que el suelo ejerce una fuerte influencia en el desarrollo de la vid y en la composición de la uva (van Leeuwen *et al.*, 2008). A pesar de que el suelo influye en la calidad y estilo del vino, en todo el mundo se producen grandes vinos con un amplio rango de suelo, con contenido

en gravas desde 0 al 50%, con arcilla desde muy poca a porcentajes del 60% en uno de los mejores Cru de Pomerol (Seguin, 1983, 1986).

El suelo, constituye la reserva hídrica y mineral de la planta, regulando la disponibilidad de agua y de nutrientes minerales, el desarrollo del sistema radicular, así como el microclima de las hojas por la acción del reflejo de la luz y del calor (Jackson y Lombart, 1993). Es decir, también es un regulador de los elementos del clima: temperatura, precipitación, insolación, y evapotranspiración (Böhm, 2011).

La influencia directa del suelo en la calidad del vino sigue siendo un tema en discusión, desde el clásico análisis realizado por Armstrong y Wetherby (1976), sin duda, el desarrollo de estudios que permiten separar y analizar parámetros del suelo y evaluar sus efectos constituye una perspectiva esperanzadora. La mayoría de los investigadores están de acuerdo respecto a la fuerte influencia que ejerce el tipo de suelo en el desarrollo de la vid y en la composición de la uva (Reynolds, 2010). La importancia del suelo en viticultura está ampliamente reconocida, y por otra parte, su relación con la calidad o las cualidades de los vinos sigue siendo un tema controvertido (Armstrong y Wetherby, 1976; Seguin, 1986; Gladstones, 1992).

Vaudour (2003) afirma que si la influencia de ciertos aspectos relativos al suelo es controvertida, es sin duda, por insuficiencia de criterios y de caracterizaciones pedológicas.

El suelo tiene un peso importante en el desarrollo del viñedo, pero a menudo se estudia junto con el clima, porque sus efectos en la calidad del vino solo son consistentes bajo las mismas condiciones climáticas (Saayman, 1977; Conradie, 1998).

Las propiedades del suelo que más influencia tienen en la calidad de la uva son las físicas, es decir, todas aquellas propiedades que controlan el contenido en agua del suelo (Seguin, 1986), y que tienen un efecto directo en el equilibrio entre el vigor vegetativo y la producción de uva (van Leeuwen y Seguin, 1994) y por consiguiente en la calidad de la uva y del vino (Esteban *et al.*, 2001; Tregoa *et al.*, 2002; Gurovich y Páez, 2004; Ubalde *et al.*, 2010).

Según Gladstones (1994), la profundidad del suelo, el drenaje y la capacidad de retención de agua son las propiedades físicas más importantes, y especialmente en regiones de clima mediterráneo, debido a la distribución de las precipitaciones. Un suelo bien drenado, permite la exploración en profundidad y la dispersión del sistema radicular, de tal forma, que dotará al suelo de una razonable capacidad de retención de agua por unidad de volumen, respondiendo mejor a fluctuaciones en el suministro hídrico. Los suelos con elementos gruesos en su perfil comúnmente también poseen un buen drenaje.

Champagnol (1984, 1997) explica el efecto del suelo a través de su fertilidad. La fertilidad del suelo se puede dividir en física (facilidad para que el sistema radicular explore el suelo a gran profundidad), hídrica y química. Cuando no existe un factor limitante en el suelo, la vid crece vigorosa y se retrasa la parada de crecimiento de los pámpanos en el ciclo. La vid presenta un equilibrio hormonal de auxinas, citoquininas y giberelinas, que favorecen la síntesis proteica. La aparición de un déficit hídrico en un ciclo tiene un profundo efecto en el funcionamiento fisiológico de la vid. Cuando las raíces se encuentran en un suelo seco, producen ácido abscísico (Stoll *et al.*, 2000). Esta hormona promueve la maduración de la uva. Por lo tanto, la restricción de agua en la vid tiene un efecto negativo en la maduración de la uva (restringe la fotosíntesis) y varios efectos positivos (producción de ácido abscísico, limitar la competencia por los carbohidratos de los pámpanos jóvenes, tamaño menor de la baya).

Cuando el déficit hídrico es moderado, los efectos positivos exceden a los negativos; las uvas contienen menos ácido málico y tienen mayor contenido de azúcares, antocianos y taninos (van Leeuwen y Seguin, 1994; Trégoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2009).

El ácido abscísico favorece la síntesis de antocianos y taninos, mientras que las citoquininas inhiben dicha síntesis (Pirie y Mullins, 1976).

El efecto del suelo en el potencial de la uva es complejo, porque el suelo interviene en la disponibilidad de agua y de nutrientes para la vid y en la temperatura en la zona radicular. El efecto del suelo puede cuantificarse únicamente cuando se tienen en cuenta un número limitado de parámetros edáficos seleccionados. Estudios previos han demostrado

que el estado hídrico de la vid y el aporte de nitrógeno dependientes de las características del suelo, son los principales factores que intervienen en el vigor de la vid y en la calidad del vino (Choné *et al.*, 2001).

Löhnertz *et al.*, (2008) han encontrado grandes diferencias en las características del vino Riesling producidos en varios tipos de suelos. Los vinos procedentes de suelos calizos contienen más calcio, pero su pH no se incrementa. En suelos cuarcíticos, los vinos muestran un sabor mineral genuino. Sin embargo, el estatus hídrico de la vid tiene mayor influencia en la calidad y estilo de vino que la composición mineral del suelo. Vinos procedentes de suelos de textura fina (arcillosa) y vinos elaborados de vides que han experimentado un fuerte déficit hídrico a lo largo del ciclo presentan más cuerpo.

Otros autores ponen en duda el fuerte efecto del suelo en la calidad del vino. Bader y Wahl (1996) recogieron suelos de varias regiones vitícolas de Alemania y reconstruyeron los suelos en una única localización de cara a comparar el efecto del suelo sin interferencias procedentes de las variaciones climáticas. La influencia del suelo en la calidad del vino resultó muy pequeña. Estos autores concluyen que en zonas frías, el clima es un factor más importante que el suelo respecto a los atributos sensoriales del vino.

Rankine *et al.* (1971) realiza la primera tentativa de estudio de los efectos del suelo, del clima y de la variedad. Sin embargo, los suelos seleccionados se encontraban en diferentes zonas climáticas, hecho que dificultó la separación de los efectos debido al suelo de los procedentes del clima. Este autor encuentra que la influencia del suelo, en particular su composición mineral, en los parámetros de la uva y en la calidad del vino es pequeña.

Sin embargo, las propiedades del suelo tienen una fuerte influencia en la distribución del sistema radicular de la vid y también en el control de la infiltración y el almacenamiento de agua. Los factores principales que condicionan la reserva útil de agua del suelo son: la profundidad de suelo explorable que modula la magnitud de la reserva de agua y la textura del suelo, en particular el contenido en arcilla que afecta positivamente la capacidad de retención de agua del suelo (Bruand *et al.*, 1988; Bigorre *et al.*, 2000; Bodin y Morlat, 2006).

Bramley y Hamilton (2007) llaman la atención sobre la escasa importancia atribuida a la química del suelo y a la nutrición de la vid, con relación a la calidad de la uva y del vino. Indican la gran cantidad de estudios realizados sobre el efecto de las propiedades hidrológicas del suelo en la calidad y estilo del vino (Seguin, 1986; van Leeuwen *et al.*; 2004), no dedicando esfuerzos a comprender el impacto de las propiedades químicas del suelo y de los aspectos relativos a la nutrición del cultivo.

Según Reynolds (2010), el suelo constituye un sistema muy complejo y su papel no puede explicarse sin descomponerlo en varios subefectos: textura, composición mineral, suministro de agua a la vid, temperatura en la zona radicular, y otros muchos factores.

Los parámetros y características del suelo que son susceptibles de tener mayor influencia en la composición de mostos y vinos (White, 2003), son los siguientes:

#### I.1.4.2.1. Profundidad efectiva del suelo

Morlat y Bodin (2006) insisten en la importancia de la profundidad del suelo en el comportamiento de la vid y en la composición del fruto. Los suelos vitícolas presentan un rango de profundidad comprendido entre unos 50-60 cm hasta varios metros (Aleixandre *et al.*, 2013b). El sistema radicular de la vid se desarrolla en un volumen de suelo que puede limitar la alimentación mineral e hídrica (Morlat y Jacquet, 1993).

La diferencia en el estatus nitrogenado de la vid entre dos tipos de suelos puede explicarse por su diferente profundidad de exploración radicular. Los horizontes de un perfil ofrecen diferente resistencia a la penetración de las raíces según la consistencia, la compacidad, la porosidad...En los suelos profundos y bien drenados, el sistema radicular desciende en profundidad y garantiza un aporte hídrico regular, que es favorable a la calidad. Sin embargo, en los suelos compactos que se caracterizan por una textura fina, arcillosa y/o limosa, la exploración en profundidad favorece el vigor de la planta (Vaudour, 2003; Morlat y Bodin, 2006).

Normalmente, las raíces más profundas presentan mayor diámetro, son menos abundantes, y contribuyen de manera significativa al suministro de agua. La falta de este tipo de raíces aumenta la sensibilidad de la planta al estrés hídrico. Las raíces más finas, que exploran las zonas más superficiales del suelo, absorben los minerales (Champagnol, 1984; Fregoni, 2005).

#### I.1.4.2.2. Textura y elementos gruesos del suelo

Es posible afirmar que el efecto de la textura del suelo sobre el cultivo de la vid es indirecto. Efectivamente, la granulometría (pedregosidad y fracción fina) está relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, desde la actividad microbiana, la temperatura y la economía del agua (Böhm, 2011).

En la mayor parte de los suelos vitícolas, la fracción de tierra fina supera a la de elementos gruesos. La textura del suelo, es el contenido de tres fracciones granulométricas: arcilla, limo y arena (Aleixandre *et al.*, 2013b). Este parámetro influye en el comportamiento del suelo de diferentes formas, especialmente sobre la estructura del suelo, la retención de agua, la porosidad, el drenaje, la temperatura, y la conservación de nutrientes (White, 2003). Las mejores condiciones se encuentran cuando la textura proporciona una buena estructura, que garantice una porosidad favorable al enraizamiento. Además, esta propiedad física también influye en la capacidad de intercambio iónico, profundización y exploración de las raíces, y susceptibilidad de los suelos a anegarse.

El agua en el suelo se almacena en su sistema de poros. El estado del agua en el suelo depende del tamaño de sus poros. En los macroporos ( $>10 \mu\text{m}$  de diámetro), el agua no puede ser retenida y drena del suelo por gravedad, excepto si hay una capa impermeable que dé lugar a una lámina colgada de agua. En los poros muy pequeños ( $<0,2 \mu\text{m}$  de diámetro), el agua está firmemente retenida por el suelo y las plantas no la pueden extraer.

La pedregosidad (gravilla, grava y canto), dificulta la escorrentía y la erosión, incrementa la infiltración, y es un impedimento para el ascenso capilar. En viticultura, los suelos pedregosos se consideran favorables generalmente para la calidad de la uva, pero desfavorables desde el punto de vista del vigor de la planta y de su producción, al

disminuir su fertilidad. En general, los elementos gruesos por su nulo efecto en la capacidad del suelo para retener agua se consideran un factor que reduce la disponibilidad de agua del perfil del suelo. A excepción de las calizas ya que estas tienen capacidad para almacenar y retener agua.

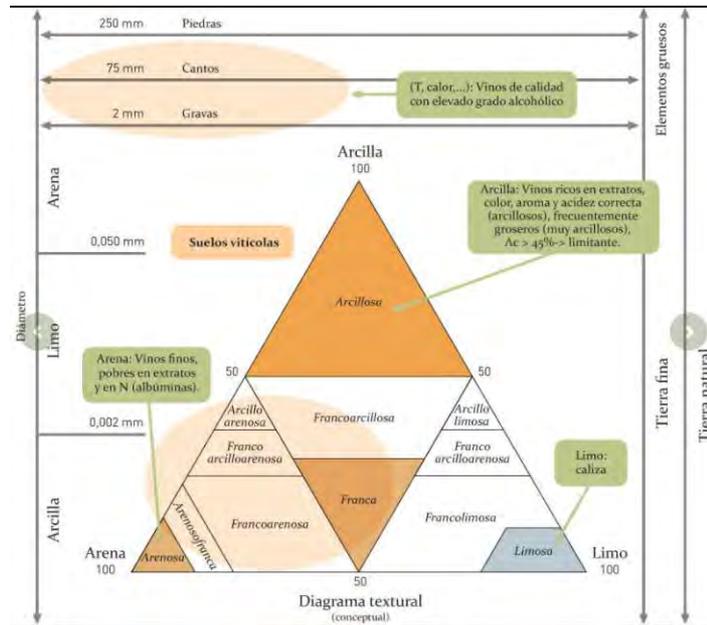


Figura I.9. Relaciones entre la textura del suelo y la calidad del vino (Böhm, 2011).

La fracción fina (partículas inferiores a 2 mm), en principio la vid prefiere terrenos arenosos, sueltos y bien drenados. Las partículas de arcilla son muy importantes para la agregación, y por lo tanto, para la estructura que a su vez influye en la capacidad de retención de agua, la aireación y el drenaje. Una buena aireación y drenaje son muy importantes para la vid (White, 2003). En suelos ricos en limo, el enraizamiento es más difícil por su compacidad.

La textura de un suelo tiene un marcado efecto sobre su temperatura. Los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos. El agua modifica el calor requerido para cambiar la temperatura del suelo es decir aumenta la inercia térmica del suelo, el suelo con más contenido de humedad tarda más en calentarse y enfriarse que un suelo con menor contenido de humedad.

Fregoni (1973) indica que los suelos muy arcillosos se relacionan con vinos ricos en extracto, aromáticos, bien coloreados y normalmente con cuerpo. El contenido de arcilla normalmente no debe superar el 45% en suelos vitícolas, por los problemas físicos y morfológicos que pueda crear este tamaño de partícula (Figura I.12).

En suelos de Borgoña, se observó que los mejores vinos se obtenían cuando había una mezcla de arcilla y grava, es decir, donde hay un equilibrio entre el drenaje y la fertilidad mineral (Huggett, 2005).

van Leeuwen *et al.* (2008) estudian la posible relación entre el tipo de suelo, y el destino de la producción de vino (primera, segunda o tercera calidad) en siete prestigiosas bodegas de Burdeos, que abarcan 400 ha de vides. La calidad media del vino fue alta para suelos de gravas, suelos de textura arenosa, y suelos arcillosos. Los vinos con menor calidad eran procedentes de suelos con capas freáticas estables, de suelos lixiviados y de suelos profundos en laderas bajas. En Burdeos, las características del suelo son más importantes que el origen geológico, y cuando se hizo la clasificación de los Grand Crus se tuvo en cuenta la profundidad del suelo, y su contenido en arena y grava.

A pesar de que el suelo influye en la calidad y estilo del vino, grandes vinos se elaboran en todo el mundo en una amplia variedad de clases de textura, desde suelos nulos a altos porcentajes en gravas a suelos de textura desde arenosa a arcillosa (Seguin, 1983, 1986).

En general, suelos de textura arcillosa, producen vinos ricos en extracto, color intenso, aromáticos y de acidez equilibrada. En los suelos arenosos, se obtienen vinos finos, pobres en extracto y en nitrógeno (Figura I.12). En suelos con alto porcentaje de elementos gruesos, los vinos elaborados contienen elevado grado alcohólico (González-Sanjosé y Gómez-Miguel, 2005).

#### I.1.4.2.3. Temperatura y color del suelo

El tipo de suelo, y en concreto la temperatura del suelo, ha sido catalogado como el parámetro intrarregional que más afecta a la fenología de la vid en varios estudios (Barbeau *et al.*, 1998; Tesic *et al.*, 2001a).

En la temperatura del suelo influyen diversos factores como su color, el calor específico de los materiales que lo forman (agua, materia orgánica, elementos gruesos, textura) y la topografía del relieve (Bölm, 2011).

La temperatura del suelo está relacionada con el balance de energía, esta puede llegar a ser 18° C más alta durante un día soleado, y 2° C más baja durante la noche, respecto a la temperatura del aire.

La proporción de luz reflejada por el suelo se conoce como albedo y depende del color de la superficie edáfica. Suelos de colores claros reflejan más luz que los suelos oscuros. Las vides cultivadas en suelos con tonalidades oscuras (depresiones, vaguadas) presentan mayor desarrollo, crecimiento más vigoroso y coloración más oscura de la vegetación con relación a las vides de tonalidades más claras.

Verbrugghe *et al.* (1991) comparan la temperatura del suelo en superficie en tres suelos de Chateauneuf-du-Pape (France). La temperatura de la superficie del suelo fue más alta en los suelos pedregosos durante la noche. El crecimiento vegetativo correlaciona de forma positiva con la temperatura de la raíz. Se ha comprobado que altas temperaturas radiculares incrementan el pH de las bayas y mejoran la acumulación de sólidos solubles, mientras que la concentración de ácido málico decrece (Zelleke y Kliwer, 1979).

La precocidad de la brotación depende de la temperaturas del aire y del suelo (Morlat, 1989). La temperatura del suelo está directamente relacionada con el contenido de agua del suelo. Por lo tanto, la brotación así como la sucesión de los siguientes estados fenológicos se retrasa en los suelos húmedos. La oscilación de la temperatura del suelo está relacionada con el contenido de agua del mismo, ya que el agua tiene una elevada capacidad calorífica, y por ello los suelos húmedos se calientan más lentamente que los suelos secos (Testic *et al.*, 2001a).

La temperatura elevada en la zona radicular activa, en las fases iniciales del ciclo anual, provoca mayor precocidad. Efectivamente, la precocidad de la vid influye fuertemente en la calidad de las bayas en climas fríos (Morlat, 1989; Barbeau *et al.*, 1998; Testic *et al.*, 2001; Bodin y Morlat, 2006). Este efecto es debido tanto, a la temperatura

como elemento climático como a la del suelo especialmente en climas fríos (Morlat, 1989; Tesic *et al.*, 2001; Wahl, 1988) y también influye en el vigor que el suelo proporciona a la vida (Morlat, 2001; van Leeuwen *et al.*, 2003). Esto está directamente vinculado con características del suelo como la textura, la estructura y el contenido de agua del suelo (Cellier *et al.*, 1996). El contenido de humedad correlaciona con la temperatura del suelo debido a la gran capacidad calorífica del agua (De Kochko y Kurmi, 1985; Tesic *et al.*, 2001).

Sin embargo, es difícil separar el efecto de la temperatura en el área radicular del efecto provocado por un estado de déficit hídrico. Una baja reserva de agua en el suelo y/o enraizamiento superficial incrementan la temperatura en la zona radicular, pero estos factores también son propensos a inducir déficit hídrico.

La temperatura del aire alrededor de la masa vegetal también está influenciada por el tipo de suelo, en relación a su contenido de agua, su conductividad térmica y el albedo del suelo. La temperatura del aire medida a 2 m de altura es más alta por la mañana en un suelo de textura fina, por su buena conductividad térmica. Por la tarde, la temperatura del aire es más alta en los suelos pedregosos, debido a que se calientan más rápidamente durante el día (Jacquet y Morlat, 1997). La temperatura de las bayas se midió mediante un termómetro de radiación infrarroja en tres suelos de Chateaufort-du-Pape (Verbrugge *et al.*, 1991). En los suelos pedregosos, la temperatura del suelo fue más alta (unos 3° C) comparado con la temperatura medida en suelos de textura fina y sin gravas. Durante el día, esto da lugar a un elevado albedo en suelos pedregosos y por lo tanto mayor radiación reflejada hacia las uvas. Una mayor temperatura de la uva durante la noche vendría explicada por la radiación infrarroja de las uvas en suelos con gravas.

#### I.1.4.2.4. Carbonatos totales y caliza activa

Una gran parte de los suelos vitícolas de la España peninsular son calizos. En estos suelos, el humus estabilizado por la caliza activa es difícilmente mineralizable por las bacterias, y la tasa anual de mineralización es dos veces más débil que en otros tipos de suelos vitícolas. Es decir, estos perfiles de suelos necesitan doblar los niveles de N total para obtener una nutrición nitrogenada equivalente (Böhm, 2011). Idénticos procesos

ocurren en los suelos de naturaleza carbonática que han experimentado procesos de edafogénesis por translocación de carbonatos y formación de horizontes cálcicos y petrocálcicos (Porta *et al.*, 2003).

El efecto positivo del calcio no parece directo. La presencia de calcio mejora la estructura del suelo (Seguin, 1986) y esto favorece la penetración de las raíces y el drenaje interno del suelo así como aumentar la temperatura del suelo. Además, la caliza activa ralentiza el turnover de la materia orgánica del suelo limitando el nitrógeno del suelo disponible para la vid. Por último, la caliza activa también induce clorosis férrica (amarilleamiento foliar) debido a la dificultad para absorber hierro. En resumen, la caliza activa ralentiza el turnover de la materia orgánica del suelo limitando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo para la vid (Reynolds, 2010).

Los niveles de caliza activa se asocian a menudo con la calidad del vino. Viñedos de regiones productoras de vinos de alta calidad se localizan sobre materiales parentales que contienen carbonato cálcico (Borgoña, Champaña, Valle del Loira, D.O.Ca.Rioja...) (Reynolds, 2010)

Los carbonatos de Ca y Mg se disuelven fácilmente en agua que contenga anhídrido carbónico, procedente de la actividad biológica en el suelo. Esta movilización da lugar a acumulaciones de diversa morfología, que pueden llegar a ser generalizadas en los horizontes cálcicos o cementadas (horizonte petrocálcico). La presencia de carbonato de Ca y Mg tiene implicaciones agronómicas al aumentar la concentración de anión  $\text{HCO}_3^-$  en la solución del suelo, que bloquea la absorción de Fe por las plantas, provocando problemas de clorosis férrica.

Los suelos con carbonato cálcico, presentan pH básico que se encuentra en el intervalo 7,9-8,5 y contienen una solución rica en ión  $\text{HCO}_3^-$  y en  $\text{Ca}^{2+}$ . En estas condiciones, disminuye la disponibilidad de P y B. Además, se observa una deficiencia creciente con el aumento del pH de: Cu, Fe, Mn, y Zn (Porta *et al.*, 2003).

Se ha relacionado el alto contenido en carbonatos totales en suelos con la producción de vinos, en general, alcohólicos con baja acidez y de calidad excelente (González-Sanjosé y Gómez-Miguel, 2005).

#### I.1.4.3. Procesos edafogénicos en suelos de la D.O.Ca. Rioja

Los procesos formadores que han dado lugar a la creación de 12 órdenes como grandes categorías taxonómicas de la Clasificación Americana de Suelos son, en general, bien conocidos (Porta *et al.*, 2003; SSS, 2003; SSS, 2006).

En concreto, se estudiarán los procesos edafogénicos en los órdenes de suelos que se han incluido en el estudio, que son: Alfisoles, Mollisoles e Inceptisoles.

Los Inceptisoles constituyen un orden muy heterogéneo, se trata de suelos incipientes, en el sentido de que el estadio de meteorización es mínimo (Jackson y Sherman, 1953), lo que explica la presencia de componentes como yeso, calcita o dolomita, por la aridez o semiaridez del clima.

Los principales procesos edafogénicos en los Inceptisoles son: meteorización, carbonatación y cementación, acumulación de materia orgánica...(Porta *et al.*, 2003)

Formación de horizontes cámbicos (Bw). Horizonte de meteorización. Se corresponde con un horizonte B estructurado.

Formación de horizontes cálcicos (Bk). Por translocación de carbonatos, en forma de iones bicarbonato y de calcio o magnesio, es decir, en solución y posterior precipitación. El horizonte cálcico es un horizonte de acumulación de carbonato cálcico o cálcico y magnésico. Tiene 15 cm de espesor o más y contiene un 15% o más de carbonato cálcico equivalente.

Mediante los procesos comentados se han formado los subgrupos: Haploxerepts fluvéntico (horizontes Bw), y Calcixerepts típico (horizonte Bk).

Los Alfisoles son suelos minerales que presentan un endopediación argílica, nátrica o cándica, con un porcentaje de saturación de bases de medio a alto (Porta *et al.*, 2003). En los suelos de la D.O.Ca Rioja la saturación de bases es normalmente muy alta.

Su régimen de humedad es tal, que son suelos capaces de suministrar agua a las plantas durante más de la mitad del año o por lo menos durante más de tres meses consecutivos a lo largo de la estación de crecimiento. En condiciones xéricas, el epipediación es duro o muy duro y macizo en seco.

Los principales procesos edafogénicos en los Alfisoles son:

Formación de horizontes, cálcicos (Bk) y petrocálcicos (Bkm, Ckm, Km). Por translocación de carbonatos, en forma de iones bicarbonato y de calcio o magnesio, es decir, en solución y posterior precipitación. Si esta translocación va acompañada de cementación se forman los Bkm y Ckm o Km

Horizonte argílico (Bt). El proceso anterior es un requisito previo para que pueda haber translocación de arcilla, que es la condición necesaria para clasificar un suelo dentro del orden Alfisoles. Se trata del desplazamiento de partículas discretas en el seno del suelo de un horizonte a otro en el que tiene lugar la acumulación. El transporte se produce en suspensión en el agua que circula a través del suelo. En el caso de los alfisoles el componente afectado son las arcillas (argiluvación), que requiere que la arcilla esté dispersa, lo que exige una previa eliminación de los carbonatos cálcico y/o magnésico por lavado y una ligera acidificación.

Las partículas más afectadas por la translocación son las de arcilla fina ( $\varnothing < 0,2 \mu\text{m}$ ). Al atravesar la suspensión de arcilla un horizonte seco, el agua de los macroporos es succionada por los microporos y la arcilla se deposita en las paredes (Dorransoro y Aguilar, 1988). El depósito está finamente dividido y la cantidad es suficiente para que sea observable con una lupa. Reciben la denominación de cutanes y corresponden a edaforrasgos texturales.

Mediante estos procesos se ha formado: el Haploxeralfs cálcico (Bt y Bk), el Paleixeralfs cálcico (Bt y Bk) y el Paleixeralfs petrocálcico (Bt y Bkm). En los Paleixeralfs, la translocación de arcilla es más acentuada, observándose un cambio textural mayor entre el horizonte argílico y los horizontes que lo delimitan.

Los Mollisoles son suelos minerales que tienen un epipedión móllico. Este horizonte móllico, es un horizonte superficial bien estructurado, de color oscuro debido a su contenido en materia orgánica, y con saturación de bases alta, superior al 50% (Porta *et al.*, 2003; SSS, 2006).

Los principales procesos edafogénicos en los Mollisoles son: meteorización moderada, y translocación de carbonatos de calcio y de magnesio con cementación posterior. Mediante estos procesos se ha formado el Palexerolls petrocálcico (Ap móllico y Bkm).

#### I.1.4.4. El suelo y el estado hídrico de la vid

El estado hídrico de la vid depende de las características del suelo y del clima (van Leeuwen *et al.*, 2004). El nivel de restricción hídrica que sufre la vid depende de la naturaleza del suelo (textura y profundidad), del clima (precipitaciones y ETo) y del material vegetal (variedad y portainjerto) (van Leeuwen *et al.*, 2001). El agua disponible es la cantidad de agua en el suelo que puede emplear la planta para su crecimiento, esta varía desde 30 mm m<sup>-1</sup> en suelos arenosos a 160 mm m<sup>-1</sup> en los arcillosos (Smart y Coombe, 1983).

El aporte de agua a la vid depende de parámetros climáticos, del índice de área foliar, y de factores del suelo. Dentro de un área limitada y para una determinada cosecha, los factores climáticos pueden considerarse homogéneos. No obstante, la reserva hídrica del suelo puede oscilar fuertemente a distancias cortas, dependiendo de las variaciones del tipo de suelo y/o su espesor. La capacidad de retención de agua del suelo varía principalmente con la textura del suelo y la profundidad del suelo.

El estudio y comparación de tres tipos de suelos: arenoso con capa freática, arcilloso y con gravas, no produjo ninguna diferencia en la fenología de la vid, sin embargo, si se encontraron diferencias importantes en el potencial hídrico foliar. Este presentaba valores más negativos para los suelos arcillosos y de gravas, de débiles a medios, mientras que el suelo arenoso mostraba una buena disponibilidad hídrica. No obstante, la mejor calidad de uva se obtuvo en los suelos con estrés moderado. En particular, los suelos arcillosos dieron los mostos más azucarados y la mayor concentración de antocianos se obtuvo en las parcelas con grava y arcilla. Es interesante destacar, que el suelo arenoso favorece el rendimiento y el aumento de peso del grano de uva debido a la mayor disponibilidad de agua. En cuanto al vigor, la actividad vegetativa se detuvo antes en los suelos donde había estrés hídrico (grava y arcilla) (van Leeuwen *et al.*, 2004).

El comportamiento de la vid, la composición de la baya y los atributos sensoriales del vino están fuertemente relacionados con las condiciones de disponibilidad de agua de la vid (van Leeuwen y Seguin, 1994, van Leeuwen *et al.*, 2004).

La maduración de la uva es un proceso complejo fuertemente influenciado por el régimen hídrico, que a su vez depende, de la reserva de agua del suelo, del clima y de la arquitectura de la vegetación (van Leeuwen *et al.*, 2003). La velocidad de maduración de la uva está en gran medida determinada por el estado hídrico de la vid (van Leeuwen y Seguin, 1994).

Es bien conocido que el estado hídrico afecta al comportamiento fisiológico de la vid. Varios estudios han mostrado que cambios en el estado hídrico tienen efectos en la composición de la uva modificando la producción, el desarrollo vegetativo, el microclima de la masa vegetal y el metabolismo del fruto (Carboneau, 1986; Oliveira, 1995; van Leeuwen *et al.*, 2003; McCarthy, 2000; Tregoat *et al.*, 2002; Hunter y Deloire, 2005; Downey *et al.*, 2006; Shackel, 2007; Intrigliolo y Castel, 2008).

Estudios llevados en condiciones de no irrigación muestran que el estrés hídrico afecta al tamaño de la baya (Tregoat *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2003; Koundouras *et al.*, 2006; Reynard *et al.*, 2011). Estos efectos han sido confirmados en ensayos de riego (Esteban *et al.*, 2002; Ojeda *et al.*, 2002; Salon *et al.*, 2005; Chaves *et al.* 2010).

Los déficits de agua moderados tienen efectos positivos, de reducción del tamaño de la baya (Smart, 1974; Bravdo y Hepner, 1987; Carbonneau, 1998), un aumento del contenido de azúcar (Matthews *et al.*, 1990; Esteban *et al.*, 1999) y del contenido de antocianos y taninos en la piel de las variedades tintas (Mattheus y Anderson, 1988; van Leeuwen y Seguin, 1994; Koundouras *et al.*, 1999).

Existe una estrecha relación entre el peso de la baya y el tamaño de la baya. La piel de las bayas representa una mayor masa relativa (Roby y Matthews, 2004) y por lo tanto la concentración de compuestos fenólicos y antocianos es más alta (Esteban *et al.*, 2001; Kennedy *et al.*, 2002; Ojeda *et al.*, 2002; Sivilotti *et al.*, 2005).

Sivilotti *et al.*, 2005 observa un incremento de compuestos fenólicos cuando el estrés hídrico se produce durante la maduración de la uva (Esteban *et al.* 2001; van Leeuwen *et al.*, 2009)

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la insolación y la temperatura junto al déficit hídrico, son factores potenciales que modifican la concentración de compuestos fenólicos durante el desarrollo de la baya (Coombe, 1987; Downey *et al.*, 2006)



Figura I.10. Viñedo del subgrupo de suelos HC.

Un déficit hídrico precoz tiene un efecto mayor en la reducción del tamaño de la baya que un estrés tardío (Becker y Zimmerman, 1984). Si la vid experimenta un déficit hídrico antes del invierno este afecta de forma más severa al tamaño de la baya que si ocurre durante el periodo de maduración (Hardie y Considine, 1976; Matthews *et al.*, 1987; Ojeda *et al.*, 2002; Sivilotti *et al.*, 2005). El peso de la baya puede llegar a reducirse más del 50% en condiciones de estrés hídrico (van Leeuwen *et al.*, 2009).

El suministro de agua a la vid puede ser explicado por su efecto sobre el balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo (Matthews *et al.*, 1987; van Leeuwen y Seguin, 1994). Efectivamente, un régimen hídrico sin restricciones de agua puede desequilibrar la planta provocando un desarrollo vegetativo excesivo. En este caso, la producción total y el peso de las bayas se incrementa, y por otro lado, disminuye la concentración en azúcares y compuestos fenólicos (Esteban *et al.*, 2001; Tregoat *et al.*, 2002). El estrés hídrico provoca una disminución de la densidad de la masa vegetal (Zsófi *et al.*, 2009).

Tregoat *et al.* (2002) y van Leeuwen *et al.* (2009) concluyen que un elevado contenido en sólidos solubles de la baya en vendimia ocurre cuando el déficit hídrico es moderado. La limitación del aporte hídrico de la vid reduce el contenido en ácido málico de las bayas (van Leeuwen y Seguin, 1994; Choné *et al.*, 2001; van Leeuwen *et al.*, 2009).

Por otra parte, se han encontrado relaciones entre el déficit hídrico y un posible efecto beneficioso sobre el color de los vinos. La mejora del color de los vinos tintos puede proceder de una mayor biosíntesis de antocianos en la baya provocada por el estrés hídrico (Esteban *et al.*, 2001; Castellarin *et al.*, 2007; Koundouras *et al.*, 2009). Otros estudios sobre el efecto positivo de la restricción de agua en el color del vino (Roby *et al.*, 2004; Salon *et al.*, 2005; Koundouras *et al.*, 2006; Chalmers *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2011).

Koundouras *et al.*, 2006 indican que el incremento de la concentración de antocianos en situaciones de déficit hídrico, no solo se atribuye al tamaño de la baya, también a un cambio en el microclima del racimo o a una favorable acumulación debido a la reducción en la competencia por los fotoasimilados entre órganos de la planta.

En contraste, varios autores (Koundouras *et al.*, 2006; Reinard *et al.*, 2011) no encuentran una relación clara entre el déficit hídrico de la vid y los atributos sensoriales del vino.

Finalmente, van Leeuwen *et al.* (2009) indican que bajos niveles de nitrógeno en la vid reducen los requerimientos de agua limitando el vigor y el área foliar.

En resumen, cuando el aporte de agua está moderadamente restringido, se mejora la calidad de los vinos tintos generando en las bayas niveles óptimos de azúcares. Cuando no hay ningún tipo de restricción en el suministro de agua, los niveles de azúcar en las bayas son más bajos por dos razones: una debido a la competencia por el carbono entre la maduración de la uva y el crecimiento del pámpano y la segunda, incrementa el peso de la baya (dilución del azúcar en un mayor volumen de baya). Si el déficit hídrico es severo, el contenido de azúcar decae debido a la restricción de la fotosíntesis. El contenido en antocianos se incrementa de manera lineal con el estrés hídrico. La calidad de los vinos tintos depende más de su nivel de compuestos fenólicos (antocianos y taninos) que del nivel de azúcar en la uva en la madurez.

#### I.1.4.5. El suelo y la nutrición de la vid

La nutrición mineral de la vid depende de varios factores, de los que el clima y el tipo de suelo son los más importantes. El material vegetal y las prácticas de cultivo influyen también en la intensidad de la absorción (Aleixandre *et al.*, 2013b).

Las vides necesitan disponer de 16 de los 118 elementos para un crecimiento normal, floración y producción del fruto. Estos elementos esenciales, también llamados nutrientes se dividen en dos grandes grupos (White, 2015):

**Macronutrientes.** Aquellos que se requieren en concentraciones elevadas, mayores de 1 g/kg materia seca, y son: C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, K y Cl<sup>-</sup>. Los elementos esenciales, como el C y el O son asimilados en forma de CO<sub>2</sub> desde la atmósfera, mientras que H y O proceden del H<sub>2</sub>O de la atmósfera y del agua del suelo. Ca, N, K, P, Mg y S son minerales

absorbidos en cantidad variable, desde unos pocos kg por año (S, P, Mg) hasta más de 100 kg/ha, como en el caso de potasio y calcio (Fregoni, 2009).

Micronutrientes, que generalmente se necesitan en concentraciones menores de 0,1 g/kg materia seca, y son: Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo. Las necesidades por hectárea de viñedo son bastante limitadas, variando desde 1 g/año para el molibdeno a 1500 g/año para el hierro (Fregoni, 2009).

Las vides absorben la mayor parte de los elementos del suelo, en una determinada forma iónica, que está presente en la solución del suelo.

En presencia de luz, las hojas de la vid y otros órganos verdes absorben C y O<sub>2</sub> como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Oxígeno e hidrógeno también pueden proceder del agua (H<sub>2</sub>O de la atmósfera y del suelo. El nitrógeno como N<sub>2</sub> de la atmósfera entra en el sistema suelo-planta, en primer lugar por fijación biológica, aunque pequeñas cantidades de iones NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> son depositados desde el aire.

Tabla I.2. Macronutrientes y micronutrientes, símbolo y forma iónica en el suelo.

Macronutriente	Forma iónica común	Micronutriente	Forma iónica común
Carbono (C)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Hierro (Fe)	Fe <sup>3+</sup> (Fe <sup>2+</sup> )
Hidrógeno (H)	H <sup>+</sup>	Manganeso (Mn)	Mn <sup>4+</sup> (Mn <sup>2+</sup> )
Oxígeno (O)	H <sub>2</sub> O, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Zinc (Zn)	Zn <sup>2+</sup>
Nitrógeno (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cobre (Cu)	Cu <sup>2+</sup>
Fósforo (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Boro (B)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Azufre (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Molibdeno (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Calcio (Ca)	Ca <sup>2+</sup>		
Magnesio (Mg)	Mg <sup>2+</sup>		
Potasio (P)	K <sup>+</sup>		
Cloro (Cl)	Cl <sup>-</sup>		

\*Tabla adaptada de White (2015)

No obstante, para la mayor parte de los elementos esenciales, sin adición de fertilizantes, las principales fuentes son la diversidad de partículas minerales del suelo y el material originario o parental. Estos se descomponen mediante procesos de meteorización

de la roca madre liberando los macronutrientes: P, S, Ca, Mg, K y Cl, así como los micronutrientes: Fe, Mn, Zn, Cu, B, y Mo (White, 2003, 2015).

La vid es una planta perenne que evoluciona explorando un gran volumen de suelo con una densidad radicular baja. En el perfil del suelo, la materia orgánica (MO) está principalmente confinada entre los 10 y 20-30 cm primeros del perfil del suelo y una pequeña parte del N, P y S procedentes de la mineralización de la MO se toma por debajo de los 50 cm de profundidad del suelo. No obstante, nutrientes como el Ca, Mg, Fe y Mn pueden incorporarse al suelo por la meteorización de la roca a mucha mayor profundidad dentro del perfil (Swinchatt y Howel, 2004).

Con relación a la disponibilidad en el suelo de estos nutrientes minerales, se pueden agrupar de la siguiente forma:

- (i) Macronutrientes, como N, S y P que se encuentran principalmente en forma orgánica.
- (ii) Calcio, Mg, K, Na y P, que se unen con fuerza variable como iones inorgánicos a las partículas del suelo.
- (iii) Micronutrientes como Fe, Mn, Zn, Cu y Mo, que forman compuestos insolubles y también se unen fuertemente a las partículas minerales y a la materia orgánica.
- (iv) Cloro y B, se encuentran principalmente en la solución del suelo.

Únicamente los nutrientes disueltos en la solución del suelo están disponibles para ser absorbidos por el sistema radicular de la vid.

En general, N, Mg y Fe son muy importantes para el desarrollo vegetativo de la planta, y el P y K están principalmente relacionados con la calidad de la uva. El P y K se encuentran más en la superficie, mientras que el Ca y Mg aparecen en profundidad a lo largo del perfil (Jackson, 2000).

Según Halliday (1993) no existe una conexión entre la composición mineral del suelo y la calidad de la uva o el carácter del vino, con la excepción de dos elementos, el potasio y el nitrógeno.

Con relación al potasio, este tiende a ser abundante en suelos derivados de materiales originarios micáceos (esquistos, pizarras...) o bien puede proceder de material transportado. Potasio y Ca son compiten entre sí para ser absorbidos por el sistema radicular de la vid. El riego mejora la cinética de absorción del K (Sipiora *et al.*, 2005).

Entre otras, las funciones del K están relacionadas con la translocación de azúcares hacia el fruto en maduración y un exceso de K en las bayas incrementa la relación ácido málico/tartárico (Goldspink y Frayne, 2001). De tal forma que la posterior conversión maloláctica en la fermentación, lleva consigo que el pH del vino pueda elevarse desestabilizando el color de los vinos tintos, y disminuyendo su calidad (Freeman y Kliewer, 1983; Gladstones, 1994). Al igual que otros autores, van Leeuwen *et al.* (2004) no encuentran una correlación significativa entre el K en peciolo, medido en enero, y la acidez total en la baya (White *et al.*, 2007).

Uvas procedentes de vides con déficit de potasio presentan menor contenido en azúcar y ausencia de color (Champagnol, 1984). Ruhl (1989) observa que un exceso de fertilización en K lleva consigo altos niveles de K en peciolo y una menor calidad del mosto. De igual forma, Gladstones (1994), indica que un exceso de K contribuye a reducir de forma apreciable la calidad del vino, especialmente en climas áridos.

Respecto al nitrógeno, es fundamental para el desarrollo de la planta, forma parte de la estructura química de numerosos compuestos (clorofila, aminoácidos, ácidos nucleicos...), e interviene en numerosos procesos fisiológicos, aunque su exceso favorece el vigor de la planta. Efectivamente, el exceso de N sobreestimula el crecimiento vegetativo. Esto puede reducir tanto la producción como la calidad, especialmente si no se acompaña de ciertas medidas (sistema de conducción...) Este exceso a su vez provoca una mayor susceptibilidad a enfermedades (Bavaresco, 1989). También puede provocar deficiencias de otros elementos minerales, debido a un incremento del crecimiento y a la mayor demanda de nutrientes (Gladstones, 1994). La dosificación excesiva de N, por lo

tanto, es un factor limitante para la calidad de la uva, ya que provoca un aumento de la acidez del mosto, desplaza el equilibrio entre los ácidos hacia el málico, así como una menor concentración de azúcares, de antocianos y de taninos (Fregoni, 2005).

Aproximadamente el 99% del N del suelo está en forma orgánica no directamente disponible para la vid, y debe ser liberado como iones inorgánicos,  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , para ser absorbidos por el sistema radicular. La conversión de las formas orgánicas del N en inorgánicas o minerales se produce gracias a la mineralización biológica. Este proceso también explica la conversión del S y P orgánicos en S inorgánico ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), que son formas disponibles para la planta. El proceso inverso de incorporación de C, N, P y S en las células microbianas se denomina inmovilización (White, 2015). La relación C/N afecta al balance entre mineralización neta e inmovilización del nitrógeno en el suelo. Si es alta ( $>25$ ) se produce inmovilización neta del nitrógeno, y con valores más bajos de la relación C/N predomina la mineralización neta del N. La mineralización neta estimada de las hojas senescentes con una relación C/N de 30 es algo menor de 5 kg N/ha y la mineralización neta de N procedente de madera de poda (C/N = 100) se estima que es nula (White, 2003, 2015).

Similares principios pueden aplicarse a la mineralización del P y S orgánicos en el suelo, excepto que el valor crítico de las relaciones C/P y C/S son de un orden de magnitud 10 veces superiores que la relación C/N.

En la región de Burdeos, Choné *et al.* (2001), estudian el efecto del estado hídrico y del nivel de nitrógeno en la variedad Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). Seleccionan cuatro tipos de suelo (Luvisol, Planosol, Redoxisol y Podzisol) bajo las mismas condiciones climáticas en el año 1997. Observan que un nivel bajo de nitrógeno en el suelo reduce el vigor de la vid más que un leve déficit hídrico. En Burdeos cuando uno de estos factores es limitante, los vinos producidos son de mayor calidad. La vid con un contenido en nitrógeno bajo produce uvas de menor tamaño, con mayor concentración de taninos y de antocianos. Es decir, se reduce la producción de la uva pero a cambio su calidad es muy alta.

Con relación a las necesidades de nitrógeno, hay que tener en cuenta que el crecimiento inicial de la vid, hasta aproximadamente floración, depende principalmente de la movilización de las reservas de N de los tejidos leñosos (Lohnertz, 1991). Después de floración, la velocidad de captación de N se incrementa hasta un máximo alrededor del envero. Si la disponibilidad de N en el suelo es demasiado alta, y hay un adecuado suministro de agua durante el periodo de postfloración, la vid puede experimentar un crecimiento vegetativo exagerado y predominando el crecimiento de pámpanos y hojas respecto al del fruto, y hay demasiado fruto sombreado, que dificulta la maduración (White *et al.*, 2007).

Las características físicas y químicas del suelo, como la profundidad de exploración radicular en el suelo y la fertilidad química, influyen en la cantidad de nitrógeno disponible para la planta y puede representar la diferencia en el estado nitrogenado de la vid entre tipos de suelo (Reynard *et al.*, 2011).

Las formas asimilables de Ca, Mg, K, y Na son los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$ . Estos cationes son atraídos por las partículas del suelo cargadas negativamente, y pueden ser intercambiados por otros cationes en la solución del suelo, por eso se conocen como cationes de cambio. A pesar de que no es un nutriente, el  $\text{Na}^{+}$  se ha incluido debido a que estos iones tienen un importante efecto en el comportamiento de las partículas coloidales del agua. Además de su componente orgánico, la mitad o más del P en el suelo puede encontrarse en forma inorgánica fuertemente ligado a óxidos de Fe y Al o precipitado como fosfato cálcico insoluble (White, 2015).

Respecto al clima y la nutrición mineral, las precipitaciones atmosféricas afectan a la disponibilidad de muchos elementos, incluso pueden favorecer la pérdida por lixiviación. El nitrógeno es susceptible de ser lixiviado en zonas con elevada pluviometría. Este efecto es más pronunciado en el suelo de textura arenosa, con capacidad hídrica débil y limitada capacidad de intercambio catiónico. La temperatura y la radiación intervienen en el clima del suelo, en la intensidad de la mineralización de la materia orgánica así como en la absorción de algunos elementos (Alexandre *et al.*, 2013b).

La nutrición mineral de la vid depende del tipo de suelo, de sus características físicas. Los suelos con grava y arenosos están más expuestos a la lixiviación de macronutrientes, tales como N, K, Mg y Ca. Sin embargo, en los suelos arcillosos el intercambio de K se ve limitado debido a su retención por los coloides.

La disponibilidad de minerales para las plantas de vid depende del pH del suelo y de la capacidad de intercambio catiónico, determinada por los contenidos de arcilla y de materia orgánica. El desarrollo vegetativo de la vid y su vigor son fuertemente dependientes de los aportes de nitrógeno (Choné *et al.*, 2006). Siempre que la fertilización nitrogenada esta racionada, como es el caso de las áreas productoras de elevada calidad, el nitrógeno absorbido por la vid depende altamente de los parámetros del suelo: contenido en materia orgánica y velocidad de mineralización. Esta última depende de la humedad del suelo, temperatura, pH, aireación y relación C/N de la materia orgánica (van Leeuwen *et al.*, 2000).

Con relación al calcio, Seguin (1986) argumenta que su principal influencia en la calidad del vino es a través de su efecto beneficioso sobre la estructura del suelo, especialmente en suelos arcillosos. Para Saxton (2002) el calcio crea un medio favorable para la exploración radicular, la captación de minerales, y el crecimiento “sano” de la vid. Los suelos con alto contenido en calcio en el complejo de cambio potencialmente tienden a producir vinos con un aroma buqué favorable.

Si el Mg es elevado en el complejo de cambio, los mostos tienden a incrementar el contenido de azúcares, al igual que sucede con el potasio, aunque este último eleva el pH del mosto y del vino. El nitrógeno aumenta la productividad, disminuye el azúcar y eleva el pH de mostos y vinos. Finalmente, el fósforo enriquece en aromas el vino (González-Sanjosé y Gómez-Miguel, 2005).

A nivel de nutrición vegetal, el calcio y el magnesio son antagonistas, y a su vez también lo son del potasio, estas relaciones pueden limitar su disponibilidad en el suelo para las raíces.

Tabla I.3. Influencia de los parámetros edáficos en la calidad del vino (Böhm, 2011).

PROPIEDADES	EFFECTOS SOBRE LOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD	
Perfil	Secuencia de horizontes	Condiciona el desarrollo del sistema radicular de la viña, causa última de una correcta alimentación mineral e hídrica de la planta. El laboreo y otras acciones pretenden adecuar el perfil a esta circunstancia y evitar las posibles limitaciones (v. Van Huysteen, 1987): compactaciones, panes, contrastes granulométricos, barreras químicas, capa freática elevada, etc.
	Morfología	
	Profundidad efectiva	En general importante (>80 cm) y sin variaciones: condiciona la distribución del sistema radicular y garantiza la alimentación hídrica y nutricional. Relación directa con la producción
	Límites entre horizontes	Sin contrastes (texturales, por compactación, por consistencia). Id. Id.
Propied. Físicas	Estructura	Estructuras masivas o laminares limitan la instalación y desarrollo del sistema radicular, la aireación y la circulación del agua: desequilibrios fisiológicos
	Compacidad	
	Porosidad	
	Elementos Gruesos	Influencia sobre la temperatura, el calor, la ETP. Vinos de calidad con elevado grado alcohólico
	Arena	Vinos finos, pobres en extractos y en nitrógeno (albúminas)
	Limo	Propiedades físicas y químicas frecuentemente negativas. Cuando las partículas son de caliza toma las propiedades de esta (s. calizos)
	Textura	
	Arcilla	Vinos ricos en extractos, bien coloreados, aromáticos y de acidez correcta (arcillosos) y frecuentemente groseros (muy arcillosos). Los valores de arcilla superiores al 45% se considera un factor desfavorable
	Color	Influencia sobre la temperatura y el calor (microclima).
	Relaciones suelo/agua	El suelo es el recipiente donde se almacena el agua que regula la alimentación hídrica de la viña. Los suelos húmedos producen vinos con bajo grado alcohólico, muy ácidos y ricos en albúminas. El drenaje excesivo puede inducir al estrés hídrico y el imperfecto, al hidromorfismo (v. redox)
Propied. Químicas	Materia orgánica	Alta: vinos groseros con capacidad de conservación reducida, ricos en albúminas (inestables) y en nitrógeno total, pobres en aromas
	Reacción/pH	Ligeramente ácidos: vinos delicados, sin excesiva riqueza en color, ni cuerpo pero de muy buena calidad
	Salinidad/CE/aniones/cationes	Factor limitante a valores elevados (CE>3 dS/m). Interesa el tipo de sales: la existencia de sulfatos, p.e., afecta a las propiedades del mosto y a la fermentación
	Caliza/Carbonato equivalente	Vinos muy alcohólicos con baja acidez y calidad excelente. El exceso induce desequilibrios nutricionales. Clorosis férrica
	Condiciones redox/Fe	Vinos muy alcohólicos con baja acidez y calidad excelente. El alio se considera un factor de calidad
Propied. Físico-Químicas y Fertilidad	CIC y Saturación de bases/V	Suelos fértiles (valores altos de ambas) se relacionan con un exceso de feracidad, exceso de vigor y productividad: vinos de baja calidad
	Ca	Favorable para el bouquet. Incrementa el vigor de la planta. Su asimilabilidad es antagónica con el Mg
	Mg	Incrementa el azúcar y la calidad del mosto. Por su relación antagónica con el potasio disminuye este en el mosto y en el vino
	K	Incrementa el azúcar, la calidad del mosto y el pH del mosto y del vino. Por su relación antagónica con el magnesio disminuye este en el mosto.
	Na	Valores relativos altos se relacionan con desequilibrios fisiológicos importantes e incluso la muerte de la planta. Alcalinidad
	N	Aumenta el vigor y la productividad y disminuye el azúcar y la calidad del mosto, eleva su pH y el del vino
	P	Aumenta el vigor de la planta y los aromas del vino
	Oligoelementos	Evitan desequilibrios nutricionales y aumentan la productividad. Los bajos valores originan carencias y los elevados toxicidades. Particularmente son de interés en la viña: B, Fe, Mn, Cu, Zn

El atributo químico más importante para cualquier suelo es que tenga la capacidad de proveer de forma estable las necesidades nutricionales balanceadas para el crecimiento

de la vid. Suelos con altos contenido en arcillas tiene mejor disponibilidad para realizar un aporte nutricional estable a la vid. Esto se debe en parte a su mayor capacidad de almacenar o retener nutrientes dentro de su estructura coloidal finamente dividida. En los suelos arenosos, la materia orgánica desempeña un papel muy importante, ya que constituyen el mayor almacén y una fuente estable de los nutrientes más solubles (Gladstones, 1994).

El pH regula la solubilidad de los minerales y por lo tanto la disponibilidad. Las mejores condiciones para la absorción de nitrógeno se producen a pH neutro, mientras que el P, K, Mg, y Ca se absorben mejor a pH del suelo ligeramente alcalino (Aleixandre *et al.*, 2013b).

#### I.1.5. ESTUDIOS DE SUELOS POR REGIONES VITÍCOLAS

En 1886, Portes y Ruysen (*Traité de la vigne et de ses produits*, Paris) exponen que los vinos procedentes de suelos arenosos son ligeros, delicados, faltos de fuerza y de color, pero perfumados y vivos; que la caliza aumenta la fuerza alcohólica; que los suelos ricos en hierro y en arcilla dan profundidad y riqueza de color a los vinos tintos.

El enfoque técnico no ha tenido mucho éxito, principalmente porque es difícil identificar inequívocamente las relaciones causales entre las propiedades del suelo y la química compleja que determina el carácter del vino. Rankine *et al.* (1971) afirman lo siguiente sobre Australia meridional “Existe poca información, concreta y detallada, sobre la influencia de los diferentes suelos en la composición de la uva y en la calidad de los vinos elaborados con las mismas variedades”. Estos investigadores estudiaron la relación entre suelo, composición del mosto, y calidad del vino en una serie de experiencias durante seis años en los Valles de Barossa y Eden, y en viñedos con riego en la región de Riverland. Incluyeron cinco tipos de suelos en el estudio y realizaron perfiles analíticos de mostos y de vinos empleando la variedad *Riesling*, *Clare Riesling* y *Shiraz* . Desafortunadamente, no realizaron un análisis detallado de los suelos, que fueron diferenciados mediante denominaciones de uso general (tierras pardorrojizas, 2 podzoles, y 2 solonetz).

Al final del estudio, observaron algunos efectos del tipo de suelo en la maduración y composición de la uva, como fueron, que los suelos de superficie más oscura presentaron una maduración más temprana, ya que absorben más calor, creando un entorno más apropiado para dicho periodo, y que las diferencias en la producción se atribuyeron a la profundidad del suelo y al régimen hídrico.

Asimismo, concluyeron que los vinos elaborados con la variedad *Shiraz* en régimen de secano presentaban menor pH, menor contenido de K, mayor acidez total y más color que los vinos procedentes de áreas con riego para la misma variedad.

En los vinos de la variedad *Riesling*, procedentes de las diferentes regiones, no constataron diferencias significativas en el pH o en la acidez total, pero si obtuvieron mejores puntuaciones en la cata (fase olfativa y gustativa) los vinos producidos en viñedos de secano.

Los suelos de la región de Burdeos, dada la naturaleza y diversidad de los materiales parentales, presentan una complejidad extrema (van Leeuwen y Merouge, 1998). Estos autores clasifican los suelos de St. Emilion y la mayor parte de Pomerol, en tres grandes grupos: (1) suelos esqueléticos o pedregosos muy bien drenados, (2) suelos arenosos con fracciones crecientes de limo y arcilla en profundidad, y (3) suelos arenosos o arcillo-arenosos con altos contenidos de limo y arcilla en los horizontes subsuperficiales (90%). Los autores concluyeron que el efecto principal del tipo de suelo en la personalidad y calidad de los vinos en St. Emilion-Pomerol (Burdeos) se produce a través de la regulación del aporte hídrico a la planta especialmente en el periodo de postenvero.

Duteau *et al.* (1981) encuentran que el suelo y su material geológico puede ser el principal factor responsable que causa las diferencias en la maduración de los viñedos del Pomerol y Saint-Emilion (Francia), indicando además la escasa influencia de las variaciones mesoclimáticas.

En este contexto de gran variabilidad edáfica, investigadores franceses han demostrado que la calidad de las bayas y de los vinos elaborados viene principalmente determinada por el aporte de agua a las vides (Seguin, 1986). En los suelos con gravas y

en los arcillosos, las vides sufren un aumento gradual de estrés hídrico desde el envero, que se asocia con altos contenidos de azúcares, niveles bajos de ácido málico, y mayor concentración de antocianinas y polifenoles totales (taninos) en vendimia. Sin embargo, en los suelos arenosos (2), con una lámina de agua subterránea permanente en la zona de influencia de las raíces durante el periodo de crecimiento, las vides no presentaron estrés hídrico. Los pesos de las bayas fueron elevados y otros parámetros como antocianinas y taninos fueron bajos (van Leeuwen *et al.*, 1998). En la cata, los vinos mejor puntuados fueron por este orden tipo 3 > tipo 1 > tipo 2.

En los estudios realizados en el Médoc, se describen suelos formados por depósitos aluviales con texturas muy variables a cortas distancias, tanto lateralmente como en profundidad, y con un drenaje muy dependiente del relieve. Existen datos de los siglos XVII y XVIII de Chateau Latour en Pauillac, que indican que la tierra fue originalmente dividida en parcelas de 1-5 ha con relación al tipo de suelo, en concreto, respecto a la proporción de elementos gruesos, tamaño de las gravas, drenaje y orientación (Johnson, 1994). Al igual que en St. Emilion-Pomerol, la profundidad de enraizamiento y la regulación del aporte hídrico son los determinantes principales de la calidad y el carácter del vino.

Renouf *et al.* (2010) caracterizan los vinos de Burdeos en un área de 400 ha con relación a tipo de suelo, portainjerto y variedad. Concluyen que los mejores vinos se obtienen de los suelos con abundancia de gravas (Peyrosoles) y los suelos con subhorizonte arcilloso (Planosoles). La calidad de los vinos fue menor en los suelos de origen coluvial (Coluviosoles), suelos con una freática (Reductisoles), y suelos lavados de carácter ácido (Luvisoles).

En Borgoña, las propiedades clave del suelo que determinan la calidad del vino son pendiente, orientación, pedregosidad y contenido de arcilla, que influyen principalmente en el drenaje durante el invierno y primavera, y en la retención y pérdida de agua en verano. En Côte d'Or, los suelos de caliza no presentan más de 1 m de espesor, pero las raíces de la vid penetran en profundidad a través de fisuras en la roca fracturada. La caliza proporciona un aporte regular de agua cuando las vides entran en estado de estrés al final del verano.

En Beaujolais, los mejores vinos proceden de uvas cultivadas en colinas con pendientes pronunciadas por encima de los 600 m. de altitud. Las vides de la variedad Gamay, muy vigorosa, que crecen en suelos de granito y esquistos, ven limitada su producción y generan vinos de aromas peculiares. La variación en el contenido en metales (por ejemplo, manganeso) del granito y del esquisto se dice que participa en la singularidad de los vinos de esta área (Wilson, 1998).

Koundouras *et al.* (2006) han demostrado que el estatus hídrico impuesto por las características del suelo y los elementos del clima, está fuertemente conectado con el potencial enológico de la variedad tinta Agiorgitiko (Grecia).

Zsófi *et al.* (2009) en un estudio desarrollado en la región vitícola de Eger (Hungría) con dos tipos de suelos (arcilloso y limoso calcáreo) encuentran grandes diferencias en el proceso de maduración de la uva y en la composición del vino de *Vitis vinífera* L. cv. Kékfrancos. Entre los factores más influyentes citan la temperatura del aire, la exposición, y el estado hídrico del viñedo que afectan a parámetros como el desarrollo de la masa vegetal, el peso y el tamaño de la baya, y especialmente al contenido de antocianos y de taninos.

El área vitícola del Valle de Napa en California, es una de las regiones vitivinícolas de menor extensión, y a pesar de su tamaño reducido ha conseguido una gran reputación, por la producción de vinos de calidad con carácter propio. Esta distinción se atribuye a disponer de un rango variado de mesoclimas y de tipos de suelos. Se atribuyen como factores principales, la gran diversidad de los materiales geológicos y de las formas del relieve, de tal forma, que ha dado lugar a un variado tipo de suelos. El mapa de suelos del valle (Figura I.11) está representado por la mitad de los órdenes taxonómicos del mundo, con 33 series de suelos y con más de 100 variaciones según la naturaleza mineralógica y textural.

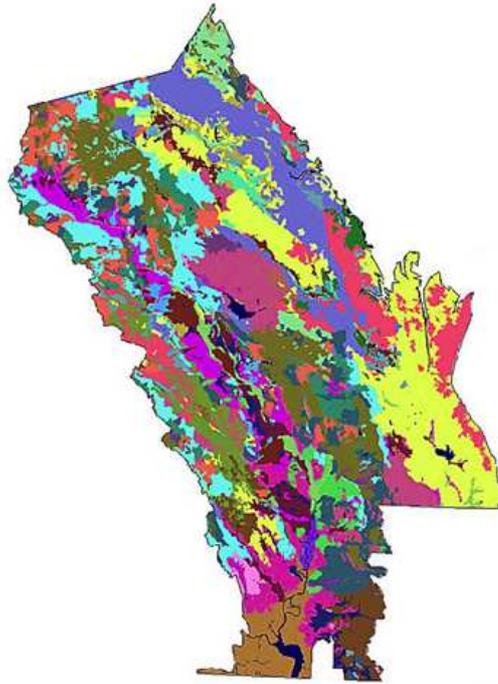


Figura I.11. Mapa de suelos del Valle de Napa (Terra Space Inc., 2003)

Lambert *et al.* (2008, 2010) en sus trabajos en Paso de Robles (California) seleccionan tres órdenes de suelos y cuatro grandes grupos de suelos: Palexeralfs, Haploxeralfs, Haploxerolls y Haploxererts. La heterogeneidad de los suelos en el viñedo seleccionado se atribuye a la variabilidad de los materiales originarios de los suelos. Estudian dos calicatas en cada uno de los cuatro bloques del diseño experimental utilizando como cv. Cabernet Sauvignon. Se realizan extractos de suelos, medidas de potencial hídrico de base y al mediodía, nutrientes en hojas (limbo y peciolo), medidas de vigor (diámetro de tronco, madera de poda) y producción (peso de racimo), análisis de mosto y de vino.

Aunque destacan la importancia de las propiedades físicas de los suelos (drenaje, profundidad, textura...), que controlan la reserva potencial de agua, ponen su atención en la química del suelo y en la composición mineralógica que podrían controlar la disponibilidad de nutrientes de la vid. Entre los resultados observan diferencias en los niveles de P, K y Mg en peciolo, entre los cuatro tipos de suelos. Las vides desarrolladas sobre Alfisoles presentan diámetros medios mayores, producciones más altas en términos de peso y en número de racimos. Los mostos procedentes de estos suelos presentan ° Brix

más elevados y menor acidez total. Indican que las vides en el bloque de los Mollisoles presentan todos los parámetros contrarios a los Alfisoles. El resto de los suelos presentan valores intermedios entre Alfisoles y Mollisoles.

La estructura y composición del suelo afectan fuertemente a la composición de las uvas. El viticultor del valle de Napa debe seleccionar el portainjerto y la variedad más adecuada para plantar.

Se pueden diferenciar dos áreas en el Valle de Napa:

Los suelos de valle, más profundos y más fértiles, de crecimiento vigoroso, por lo que el cultivo debe ser manejado con firmeza para producir uvas adecuadas.

Y en las laderas, la vid tiene que sobrevivir de las reservas sobre suelos rocosos, y naturalmente se obtiene una cosecha menor, con uvas de menor calibre, y con altos índices de color y sabor.

El principal factor que controla la calidad del fruto en esta región es el mesoclima, a través de su influencia en la relación azúcares-ácido, acidez total, contenido en taninos, y otros constituyentes menores. La variedad es la que determina características inherentes, como el aroma y el gusto. Mientras que el carácter de un vino varietal determinado, bien acabado, depende del tipo de suelo, y de otros factores como el mesoclima y la topografía incluyendo orientación (Elliot-Fish, 1993).

Los efectos del suelo y del mesoclima han sido ampliamente estudiados en Europa y mucho menos en América del Norte (Reynolds *et al.*, 2007). Estos autores estudian los viñedos de la variedad Riesling en Ontario (Canada) localizados en lugares con alta heterogeneidad de suelos. Seleccionan una parcela de 4 ha, realizan una caracterización de los suelos y utilizan 215 vides para muestreo de hojas, bayas, así como para medidas de parámetros de vigor y de rendimiento.

En Australia, el suelo generalmente no se ha considerado un componente importante del ecosistema vitícola. Según Halliday (1993) no se ha establecido una unión

entre la composición mineral del suelo y la calidad de la uva o el carácter del vino, con dos excepciones: es esencial una cierta cantidad de N y un exceso de K puede ser un problema, especialmente en regiones áridas. Se apoya en Seguin (1986) quien escribió, “en el área de Burdeos las propiedades químicas de los suelos...no tiene una influencia definitiva en la calidad de las cosechas y en los vinos. La calidad del terroir puede explicarse mejor considerando las propiedades físicas...y sus consecuencias para el desarrollo radicular y en la regulación del aporte de agua a la vid.

No es sorprendente con este panorama que haya un escaso conocimiento del papel específico del suelo en el terroir de las regiones vitícolas de Australia. Sin embargo, hay varias regiones que ahora buscan la influencia singular del suelo local en el carácter de sus vinos, entre ellas destacan Coonawarra y Barossa.

Para la primera región, se da importancia al buen drenaje de los perfiles de Terra Rossa, durante el invierno y una adecuada regulación del aporte hídrico a las vides en el verano, como los principales factores edáficos que controlan la calidad del fruto y el carácter del vino (White, 2003).

La región de Barossa es probablemente la región de Australia más conocida por sus vinos. Los factores clave de la calidad de la uva y la riqueza aromática de sus vinos, particularmente de las variedades Shiraz y Garnacha, estén relacionados con la edad centenaria de sus vides. Cuando las vides dependen únicamente del aporte de agua de precipitación, su vigor es moderado, las producciones son relativamente bajas, y la calidad de la uva es alta.

Dentro de la D.O.Ca. Rioja, Unamunzaga *et al.* (2010) llevan a cabo un estudio en la subzona Rioja Alavesa, seleccionando cuatro tipos de suelos con relación al material parental (arenoso, arcilloso, calcilutita y arcillo-limosos) en una parcela de 8 ha. De extensión con el cv. Tempranillo, y con un sistema de riego por goteo. El estudio se basa en observar las propiedades y parámetros de los mostos en los años 2006 y 2007, es decir, el contenido de azúcares, el pH, el K, la acidez total, los antocianos, el IPT, la intensidad colorante junto al peso de madera de poda y el peso de la baya. Concluyen que los materiales originarios de los suelos influyen en las propiedades de los mostos de la

variedad Tempranillo. Observan que los suelos con menor capacidad de retención de agua presentan mayores contenidos de polifenoles, de antocianos y de intensidad colorante, parámetros relacionados con la piel de la uva. Asimismo, indican que suelos con mayores niveles de K presentan mostos con alto contenido en K.

Ubalde *et al.* (2010) realizan un estudio con Cabernet Sauvignon durante 3 años en la D.O. Conca de Barberá (Cataluña, España) seleccionando dos tipos de suelos: Xerofluvent típico y Haploxerepts típico (SSS, 2006). Un suelo limoso, rico en carbonatos, y otro suelo esquelético-arenoso, es decir, con abundante arena y grava. Se plantearon determinar el efecto del suelo y del clima en la maduración de la uva y la calidad del vino. Los autores concluyen que el clima afecta a la casi totalidad de las variables que caracterizan la uva, excepto el peso de la baya, la velocidad de maduración y la composición del vino, que son influenciados por el tipo de suelo. El efecto del tipo de suelo en el vino fue superior al del clima en los parámetros de color y el contenido en polifenoles. El peso de la baya estuvo únicamente afectado por el suelo.

Reynard *et al.* (2011) estudian en los viñedos de la región de Vaud (Suiza), la relación entre las propiedades edáficas y la composición de mostos y vinos de *Vitis vinifera* L. cv. Doral. Selecciona 13 parcelas con suelos mayoritariamente de origen glaciar, constituidos por materiales morrénicos muy heterogéneos. Tomaron muestras de suelos, del material foliar (N en limbo), de mostos y realiza la elaboración de los vinos de Doral.

La principal conclusión que obtienen es que el suelo mediante su fertilidad y la profundidad de enraizamiento de la vid, constituye un factor medioambiental importante que modula el nivel de nitrógeno, la fisiología de la vid, la composición del fruto y las características del vino. Destacan la importancia del tipo de suelo en la gestión del nitrógeno, ya que en el estudio han realizado las mismas prácticas de fertilización para todos los viñedos. Así mismo concluyen que el NFA del mosto explicaría ciertas características sensoriales de los vinos.

La principal conclusión que se puede extraer, una vez estudiadas las principales regiones del mundo, es que los suelos vitícolas son extraordinariamente diversos (White, 2015).

No obstante, ha sido posible evidenciar en Borgoña, Burdeos, el Valle de Napa y Coonawarra, que el suelo es un componente importante del terroir vitícola o del agroecosistema vitícola. La compleja relación de los procesos físico-químicos y biológicos del suelo, con la bioquímica de las bayas, con la fermentación del mosto, y la maduración y envejecimiento del vino es improbable que sea esclarecida en un futuro inmediato. Sin embargo, es posible elaborar ciertas conclusiones generales sobre la influencia del suelo en el carácter y la calidad del vino, que se exponen a continuación:

1. El suelo influye en el régimen térmico (microclima de la vid) a través del color de su superficie, de su pedregosidad, y del contenido en arcilla. La capacidad de almacenar calor es particularmente crítica en climas fríos, afectando al desarrollo del sistema radicular en otoño y a la síntesis de citoquininas.
2. El suelo aporta agua a las raíces de la planta. El factor más importante es el volumen de suelo explorable por las raíces. En viñedos de secano, la estructura, la textura del suelo y la profundidad de las aguas subterráneas pueden regular la disponibilidad de agua al sistema radicular.
3. Un buen drenaje, especialmente en primavera e inicio del verano. Un suelo húmedo en esta época del año ralentiza la velocidad de calentamiento del suelo e inhibe el crecimiento radicular.
4. Balance de nutrientes minerales adecuado, en particular de N y de K.

## **I.2 INTERÉS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Los efectos del suelo y del mesoclima han sido ampliamente investigados, desde hace mucho tiempo en Europa (“Viejo Mundo”) y más recientemente en el denominado “Nuevo Mundo”. En la práctica totalidad de los estudios en viticultura, el factor suelo está implicado e influye en los resultados finales del estudio. Sin embargo, no es lo habitual estudiar y analizar la implicación del factor suelo, esto normalmente es muy poco

frecuente, debido fundamentalmente a la dificultad de interpretar los datos como consecuencia de la heterogeneidad del medio edáfico.

Esta enorme variabilidad de los suelos procede de la variación de sus factores formadores, desde la diferente morfología del relieve, de pendiente, en los materiales parenterales de los suelos, el clima y los procesos edafogénicos, la actividad humana y finalmente el tiempo... Esto conlleva grandes variaciones en los datos, enormes problemas para su análisis e interpretación, de tal forma, que las conclusiones obtenidas en muchos trabajos llevados a cabo en el medio vitícola tengan un grado de incertidumbre elevado, al no medir la influencia aportada por el suelo.

Además, se ha constatado que la totalidad de parámetros climáticos y edafológicos estudiados influyen de una forma u otra en el funcionamiento de la vid, en el desarrollo de la baya, su composición y la evolución de la maduración del fruto (Brenon *et al.*, 2005).

La esencia y personalidad de los caldos de una región proceden básicamente de los factores ambientales y del material genético. Un enfoque global que tenga en cuenta los datos edafoclimáticos es necesario para comprender el funcionamiento de la vid y la evolución de la composición de las bayas (Deloire *et al.*, 2005; Ubalde *et al.*, 2007).

Con la realización de este estudio se espera aportar conocimiento de cara a entender la influencia del tipo de suelo y sus propiedades físico-químicas sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid, en los parámetros de vigor y producción de la vid, en la calidad de los mostos y de los vinos de cv. Tempranillo tinto.

Un factor importante a la hora de trazar líneas en el relieve o paisaje vitícolas de cara a zonificar es el factor suelo, sin estudios detallados de cartografía de suelos o sin valorar este factor natural en los estudios vitícolas, estos presentan un déficit importante de certeza y grandes dosis de incertidumbre, con variabilidades no explicables o en muchas ocasiones se atribuyen de forma incorrecta al desconocerse su origen.

Por otro parte, en los vinos cada vez se tiene más en cuenta su origen dentro de una denominación controlada desde vinos de parcela, de finca, de pago, de municipio, o de

subzona. Esto conlleva un esfuerzo extra para conocer las condiciones mesoclimáticas y microclimáticas así como el tipo de suelo, dentro del cual se están distribuyendo las raíces de la vid, y explorando sus horizontes, cuyas propiedades físicas, químicas y biológicas pueden afectar al desarrollo de la vid y a la calidad de la uva.

En este proyecto de experimentación, se pretende aportar conocimientos sobre la influencia del clima y del tipo de suelo en la calidad de la uva y del vino. Este último factor se va a estudiar a través de parámetros edáficos y físico químicos relacionados con procesos y factores edafogenéticos. Los materiales originarios de los suelos son homogéneos para la totalidad de los suelos estudiados. Las áreas fuente y el tipo de modelado hídrico coinciden. Se ha seleccionado una única variedad tinta de vid y un portainjerto, es decir, el material vegetal empleado presenta el mismo perfil o las mismas características ecológicas en la totalidad de las parcelas vitícolas seleccionadas. El diseño experimental implantado ha permitido el estudio de la influencia del clima, mediante el análisis de datos entre años para un mismo tipo de suelo. Es decir, la influencia del clima se estudia a través del año climático o añada. Se han considerado siete tipos de suelos distribuidos en cinco plataformas estructurales detríticas, que tienen en común sus materiales originarios, su orientación y su pendiente.

Para la realización del estudio, se han seleccionado 17 parcelas vitícolas, empleando como información de base la aportada por una cartografía detallada de suelos (mapas de orientación, de pendiente, de usos del suelo, de materiales originarios de los suelos, de formas de relieve y de suelo a escala 1:20.000).

Nuestro objetivo ha sido evaluar la influencia del factor suelo, en concreto del subgrupo de suelos y de sus parámetros físico-químicos y edafogenéticos, en la composición de la uva y calidad de los vinos. Este diseño también permitirá aportar información sobre el efecto del clima (añada) en la composición mineral del tejido foliar, y en la caracterización de mostos y vinos de la variedad Tempranillo tinto en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja.

Se pretende con este estudio analizar la relación existente entre los atributos de mostos y vinos de la variedad Tempranillo en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja y las

propiedades del suelo. Aplicando las mismas técnicas agronómicas en la vid e idénticos protocolos de elaboración de los vinos. En principio, como los viñedos están situados en diferentes tipos de suelos, se asume que las diferencias de composición de los mostos y vinos de un determinado año pueden atribuirse al tipo de suelo y a sus características.

### **I.3. OBJETIVO GENERAL y O. ESPECÍFICOS**

Se han definido en primer lugar, un objetivo general, que posteriormente se ha dividido en varios parciales.

#### **Objetivo general**

Cuantificar el efecto del factor suelo en la calidad de los mostos y vinos de la variedad Tempranillo y elaborar una escala con los parámetros físico-químicos y edáficos más importantes del suelo con relación al estado nutricional de la vid, a los componentes de vigor y de rendimiento, a la composición de la uva y de los vinos de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja.

#### **Objetivos específicos**

Estos objetivos derivados del general son los siguientes:

- Seleccionar los suelos más representativos en parcelas cultivadas con la variedad Tempranillo en el valle del Najerilla (D.O.Ca. Rioja), utilizando como base una cartografía detallada de suelos.

- Identificar el efecto global que tiene el factor suelo, a nivel de parcela y nivel de subgrupo de suelos, el factor clima (añada) y su interacción, sobre la composición mineral del tejido foliar (limbo y peciolo), sobre los parámetros de vigor y de producción, y sobre la composición físico-química de mostos y vinos de Tempranillo. Cuantificación de la influencia global cada factor, suelo y añada, en un ecosistema vitivinícola en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja.

- Estudiar la influencia del factor clima, y concretamente los elementos climáticos más importantes a escala mesoclimática. Valoración cualitativa y cuantitativa del efecto del factor clima o “añada”, en el periodo 2010-2013, en las parcelas vitícolas por tipo de suelo a nivel de subgrupo.

- Valorar el efecto del tipo de suelo y de sus parámetros físico-químicos en el estado hídrico y nutricional de la variedad Tempranillo en enero.

- Conocer la influencia del tipo de suelo y de sus parámetros físico-químicos en la composición de uva y en la calidad de vinos de la variedad Tempranillo en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja, a varias escalas de elaboración: a pequeña escala y a nivel de bodega experimental.

- Estudio de tipo de suelo y de sus parámetros físico-químicos y su relación con los parámetros de vigor y de rendimiento de la variedad Tempranillo.

- Establecer correlaciones de los parámetros edáficos y de los elementos climáticos seleccionados con los elementos nutricionales en hoja, los parámetros de vigor y de rendimiento, con la composición físico-química de mostos y de vinos de cv. Tempranillo.

- Estudiar y analizar el perfil aromático de los vinos elaborados en la bodega experimental y sus relaciones con el tipo de suelo, con los parámetros edáficos, así como con la añada y con los elementos climáticos.

- Mostrar diferencias en los vinos proporcionados por los diferentes tipos de suelos mediante su valoración organoléptica.

- Analizar en conjunto la totalidad de variables edáficas, climáticas, nutricionales, de productividad, de mostos y vinos para establecer relaciones entre ellas, en la búsqueda de un modelo integrado que explique el comportamiento de los subgrupos de suelos mediante análisis multivariante.

## **CAPITULO II**

# **MATERIAL Y METODOS**



## II.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO Y BIOFÍSICO

### II.1.1. LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS VITÍCOLAS

El estudio fue realizado, durante el periodo 2010 - 2013, en viñedos localizados en la subzona Rioja Alta de la D.O.Ca. Rioja (España). La mayor parte de las parcelas vitícolas (14) se sitúan en el término municipal de Uruñuela (La Rioja), y tres de ellas se ubicaron en los de Torremontalbo, Huércanos y Cenicero respectivamente. Estos municipios lindan con el límite administrativo de Uruñuela y pertenecen también a la Comunidad Autónoma de la Rioja (CAR).

Uruñuela es un municipio riojano ubicado en el tramo medio-bajo del río Najerilla. Según la cartografía topográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 1:25.000), se localiza entre las hojas 203-I (Nájera) y 203-II (Cenicero). Además, el río Yalde en su tramo final atraviesa este núcleo poblacional dos kilómetros antes de desembocar por la ribera derecha en el río Najerilla.

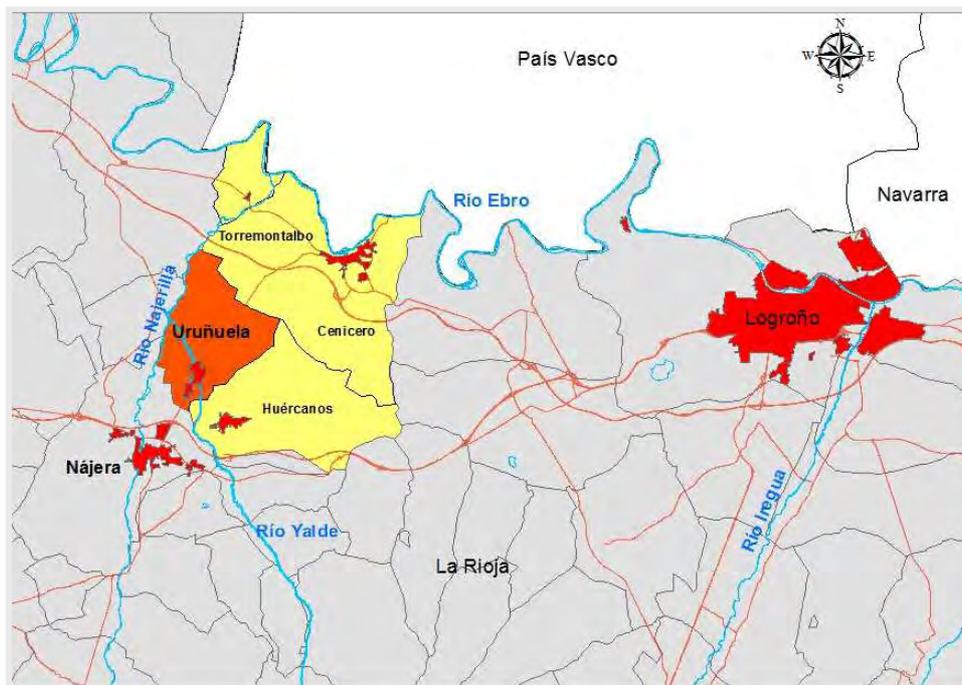


Figura II.1. Situación del municipio de Uruñuela (Gobierno de La Rioja, 2015).

Las parcelas seleccionadas se distribuyen sobre un entorno vitícola de aproximadamente 1.250 ha, en un sistema de plataformas aluviales, sobre la margen derecha del río Najerilla. A continuación, en la Tabla II.1, se enumeran las parcelas vitícolas con su código, datos catastrales, municipio, paraje, superficie y año de incorporación al estudio.

La delimitación de áreas vitícolas y la selección de parcelas se realizaron basándose en la cartografía detallada de suelos de la zona, permitiendo elegir, a partir de un conjunto de unidades cartográficas de suelos, cinco áreas vitícolas representativas y edafológicamente importantes. Esta fase se describe, de forma pormenorizada, en los apartados II.1.5 y II.2.1 de este capítulo.

Tabla II.1. Datos catastrales de las parcelas vitícolas del estudio.

<b>Código parcela</b>	<b>Término municipal</b>	<b>Polígono catastral</b>	<b>Parcela catastral</b>	<b>Paraje</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Año de inclusión</b>
<b>P-11</b>	Cenicero	23	462	Carrera	0,6217	2010
<b>P-13</b>	Uruñuela	2	20	La Rasilla	0,5840	2010
<b>P-14</b>	Uruñuela	3	59	Las Estrechas	0,7980	2010
<b>P-15<sup>1</sup></b>	Uruñuela	2	66	La Rasilla	0,4359	2011
<b>P-21</b>	Uruñuela	104	94	Campillo	1,2340	2010
<b>P-22</b>	Uruñuela	104	88	Campillo	0,5734	2010
<b>P-23</b>	Uruñuela	10	7	Cno. Virgen	0,8462	2010
<b>P-31</b>	Uruñuela	4	525	Carril	0,8499	2010
<b>P-32</b>	Uruñuela	4	491	Cno. Ceniceró	0,1603	2010
<b>P-33</b>	Uruñuela	4	400	Cno. Ceniceró	1,6768	2010
<b>P-34<sup>1</sup></b>	Uruñuela	4	475	Cno. Ceniceró	0,3750	2011
<b>P-41</b>	Uruñuela	5	324	Llanotricio	0,5805	2010
<b>P-42</b>	Uruñuela	5	347	Llanotricio	0,3628	2010
<b>P-43</b>	Uruñuela	5	368	Llanotricio	0,2288	2010
<b>P-51</b>	Huércanos	1	324	Llanoluengo	0,7838	2010
<b>P-53</b>	Uruñuela	5	143-144	Llanoluengo	0,4616	2010
<b>P-54</b>	Uruñuela	5	139	Llanoluengo	0,6096	2010

<sup>1</sup> Parcela incorporada al estudio para sustituir a otra cuyo material vegetal se consideró no adecuado

El código numérico de cada parcela viene dado por su inclusión en una de las áreas vitícolas definidas (1, 2, 3, 4 y 5) en la cifra de las decenas, siendo la de las unidades el número de orden dentro de cada área. La división del paisaje en unidades

vitícolas (áreas) se hizo teniendo en cuenta: el modelado hídrico, las características del relieve (orientación y pendiente), el tipo de suelo, y la importancia del cultivo de la vid.



Figura II.2. Parcelas seleccionadas de cv. Tempranillo.

## II.1.2. ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Para la caracterización climática general de la zona (macroclima), se emplearon los datos de las Estaciones meteorológicas denominadas “Cenicero Bodega” (manual) y “Cenicero Bodegas” (automática), situadas ambas en el municipio de Cenicero (La Rioja), a 8 km de distancia del núcleo urbano de Uruñuela.

Se dispuso de una serie de datos perteneciente al periodo 1951-2013 (63 años) para caracterizar el régimen pluviométrico, y de la serie 1967-2013 (47 años) para la caracterización termométrica. Las estaciones forman parte de la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), y sus referencias son las siguientes:

Indicativo climatológico: 9145 / 9145Y

Nombre: Cenicero Bodega y Cenicero Bodegas

Altitud media: 429 m

Longitud geográfica: 23° 82' 22" E

Latitud geográfica: 42° 28' 58" N

Coordenada UTM X: 529.042

Coordenada UTM Y: 4.703.402

*(Huso 30 Hemisferio Norte y Sistema de proyección: ETRS89)*

Los datos remitidos por AEMET, Delegación Territorial de Aragón, han sido básicamente las medias mensuales de los distintos parámetros climáticos.

Los elementos climáticos que se han utilizado para el estudio del régimen de humedad han sido:

Precipitación total mensual (mm)

Precipitación máxima diaria mensual (mm)

Precipitación acumulada (mm)

Respecto al régimen de temperatura lo han sido:

Temperatura máxima absoluta mensual (°C)

Temperatura mínima absoluta mensual (°C)

Media mensual de la temperatura máxima diaria (°C)

Media mensual de la temperatura mínima diaria (°C)

Temperatura media mensual (°C)

Temperatura mínima de las máximas (°C)

Temperatura máxima de las mínimas (°C)

Como ya se ha indicado, a partir de este conjunto de datos se ha caracterizado el régimen termométrico y pluviométrico del entorno general del proyecto, que englobaría el valle medio-bajo del río Najerilla en su unión con el aluvial del Ebro entre Torremontalbo y Cenicero, en el límite septentrional de la CCAA de La Rioja, colindante con el País Vasco.

Para la caracterización mesoclimática, se han tratado y analizado los datos recogidos en la estación agroclimática “Hoyos”, emplazada en Uruñuela-Torremontalbo (La Rioja) dentro del área de estudio, perteneciente a la red del Sistema de Información Agroclimática de La Rioja (SIAR). Su referencia se corresponde con:

Paraje: Hoyos

Altitud: 465 m

Coordenada UTM X: 523.622

Coordenada UTM Y: 4.701.100

*(Huso 30 Hemisferio Norte Sistema de proyección: ETRS89)*

Se dispone de una serie completa de datos de diez años (2004 – 2013) para estudiar los parámetros climáticos del ecosistema vitícola del proyecto. Los datos climáticos horarios han sido tratados por personal del SIAR, proporcionando datos diarios y mensuales.

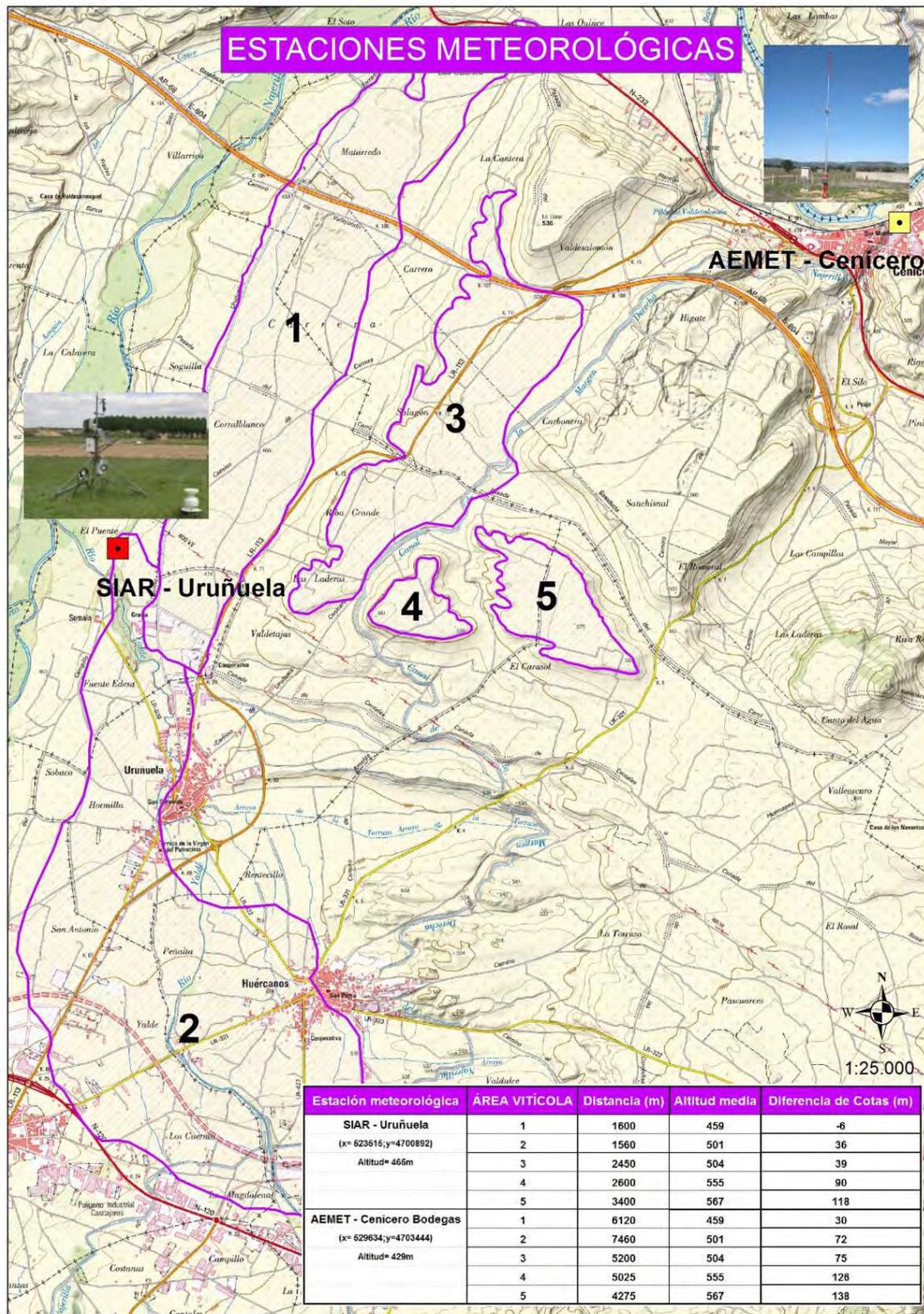


Figura II.3. Localización de las estaciones meteorológicas: AEMET y SIAR.



Figura II.4. Estación agroclimática Campbell (Red SIAR) en el paraje Hoyos.

La estación agrometeorológica automática Campbell Scientific, Logan, (Utah, USA) del SIAR está equipada con la siguiente instrumentación:

- Sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%) Vaisala, Vantaa, Finland
- Anemómetro veleta (m/s): R.M. Young Company, 05103-5 WM, Michigan, USA
- Sensor de radiación o piranómetro (MJ/m<sup>2</sup>): Kipp and Zonnen; CM3, Delft Holland
- Pluviómetro (mm): ARG100 Environmental Measurements, North Shields, UK
- Termómetro de suelo (°C) Campbell Scientific; 107, Logan, Utah, USA
- Datalogger Campbell Scientific: CR10X, Logan, Utah, USA

Se han procesado datos de los siguientes elementos climáticos: Temperatura media diaria (°C), temperatura mínima diaria (°C), temperatura máxima diaria (°C), precipitación acumulada (mm) y radiación global acumulada (MJ/m<sup>2</sup>).

A partir de estos datos, se han calculado: T<sup>a</sup> media anual (T<sub>m</sub>) y medias mensuales, T<sup>a</sup> media de las máximas, T<sup>a</sup> máximas absolutas, T<sup>a</sup> media de las mínimas, T<sup>a</sup> mínimas absolutas (°C), precipitaciones acumuladas medias mensuales (mm), precipitaciones acumuladas anuales (mm), radiación global media mensual y media

anual ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) acumulada mensual (mm), evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) acumulada anual (mm). Los valores de ET<sub>o</sub> (mm) se han calculado con el método FAO de la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Los datos climáticos procesados de las estaciones de Cenicero y Uruñuela se han representado en los mismos gráficos, en el primer caso con la totalidad de la serie (61 años) y para la estación de Uruñuela-Torremontalbo, se ha representado cada año climático del proyecto (2010, 2011, 2012 y 2013), así como la serie completa de diez años. Los gráficos generados con las medias mensuales se corresponden con: temperatura media, de máximas y de mínimas, precipitación media, horas de insolación media, humedad relativa media, y finalmente evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) media.

Con relación al régimen pluviométrico, se ha tenido en cuenta la precipitación (mm) durante la totalidad del ciclo vegetativo, es decir, entre abril y octubre, de cara a evaluar la influencia de la pluviometría (Gatti y Fregoni, 2009) en la calidad de los mostos y vinos de Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja. Asimismo, se tienen en cuenta otros periodos de precipitación como el de enero-mayo (reserva de agua inicial del suelo y brotación) y el de septiembre-octubre (maduración final) por su posible efecto en el estado nutricional de la vid y en la calidad de las uvas en vendimia.

Asimismo, para completar la caracterización agroclimática se ha aplicado a la zona la Clasificación Climática Multicriterio (Tonietto y Carbonneau, 2004), cuyo objetivo pasa por caracterizar las regiones vitícolas en base a tres índices bioclimáticos:

- Índice Heliotérmico de Huglin (IH)
- Índice de Sequedad (IS)
- Índice de Frescor Nocturno (IF)

El índice IH se calcula con las temperaturas medias mensuales, las temperaturas máximas mensuales y un coeficiente asociado a la duración del día en relación a la latitud (Huglin, 1978).

El IS se obtiene a partir de una adaptación del balance hídrico potencial del suelo, que fue desarrollado para su aplicación en viñedo (Riou *et al.*, 1994).

Finalmente, para determinar el IF se han utilizado las medias de las temperaturas mínimas del mes de septiembre, ya que presentan influencia en el metabolismo secundario (polifenoles, aromas...) de las uvas y en su potencial cualitativo (color y aromas).

### II.1.3. GEOLOGÍA Y LITOLOGÍA

Para la caracterización de la naturaleza geológica y litológica de los materiales originarios de los suelos vitícolas del estudio, se ha revisado la información contenida en el “Mapa Geológico Nacional de España (proyecto MAGNA)”, elaborado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE, 1990). Esta cartografía, a escala 1:50.000, ha permitido caracterizar de forma semidetallada los materiales edafogénicos de las áreas vitícolas donde se localizan las parcelas del estudio. Concretamente, la hoja y memoria cartográfica consultada ha sido 203 (22-10) Nájera.



Figura II.5. Viñedos de Uruñuela con la Sierra de la Demanda al fondo.

Para completar la caracterización geolitológica se utilizó la cartografía edafológica detallada y la leyenda litológica del Mapa de Suelos de Uruñuela (Martínez-Vidaurre *et al.*, 2003).

A nivel de campo, se recogió información geológica y litológica de cada parcela vitícola mediante el estudio de 2 calicatas por parcela, con una profundidad de 150 cm. En estos perfiles se pudieron describir los materiales originarios, su geología y litología, es decir, tipo de empaquetamiento, disposición y calibre de los materiales detríticos sedimentarios presentes, naturaleza de rocas y minerales...

En varias parcelas, la apertura de calicatas permitió muestrear algunos materiales originarios, en general poco alterados, que formaban parte de las secuencias edáficas del perfil. De estos horizontes denominados BC, CB, o C se determinó su granulometría y su composición química.

Tabla II.2. Caracterización geológica y litológica de los materiales originarios.

Código parcela	Periodo y época geológica	Geoforma	Litología de los materiales originarios
P-11	<sup>1</sup> Cuaternario Pleistoceno	Terraza baja (II)	Gravas en matriz arenosa
P-13	Cuaternario Pleistoceno	Terraza baja (II)	Gravas en matriz arenosa
P-14	Cuaternario Pleistoceno	Terraza baja (II)	Gravas en matriz arenosa
P-15	Cuaternario Pleistoceno	Terraza baja (II)	Gravas en matriz arenosa
P-21	Cuaternario Pleistoceno	Abanico aluvial	Arenas, limos y arcillas sobre gravas
P-22	Cuaternario Pleistoceno	Abanico aluvial	Arenas, limos y arcillas sobre gravas
P-23	Cuaternario Pleistoceno	Abanico aluvial	Arenas, limos y arcillas sobre gravas
P-31	Cuaternario Pleistoceno	Terraza media (III)	Gravas en matriz arenosa
P-32	Cuaternario Pleistoceno	Terraza media (III)	Coluvio sobre gravas en matriz arenosa
P-33	Cuaternario Pleistoceno	Terraza media (III)	Gravas en matriz arenosa
P-34	Cuaternario Pleistoceno	Terraza media (III)	Gravas en matriz arenosa
P-41	Cuaternario Pleistoceno	Terraza alta (IV)	Gravas en matriz arenosa
P-42	Cuaternario Pleistoceno	Terraza alta (IV)	Gravas en matriz arenosa
P-43	Cuaternario Pleistoceno	Terraza alta (IV)	Gravas en matriz arenosa
P-51	Cuaternario Pleistoceno	Glacis (IV)	Bloques/Gravas en matriz areno-limosa
P-53	Cuaternario Pleistoceno	Glacis (IV)	Bloques/Gravas en matriz areno-limosa
P-54	Cuaternario Pleistoceno	Glacis (IV)	Bloques/Gravas en matriz areno-limosa

<sup>1</sup>Cuaternario o Neozoico

#### II.1.4. RELIEVE: FORMAS, ORIENTACIÓN Y EXPOSICIÓN

La base para el conocimiento del relieve, la descripción de las formas topográficas, las clases de modelado hídrico, las orientaciones y exposiciones, así como la distribución y cartografía de las mismas, se obtuvo de la tesis “El Relieve de La Rioja. Análisis de Geomorfología estructural” (Gonzalo-Moreno, 1981).

Con esta información geofísica de partida se trabajó sobre modelos digitales del terreno y ortofotos aéreas de gran resolución de la zona, así como con la topografía digital a escala muy detallada 1:5.000 (Gobierno de La Rioja, 2013). La superposición de las capas de información cartográfica citada se realizó utilizando un sistema de información geográfica ARC-GIS v. 9.1 (Esri), obteniéndose dos mapas temáticos, uno de pendientes y otro de orientaciones.

Tabla II.3. Características del relieve según la ubicación de las parcelas.

<b>Código parcela</b>	<b>Forma de relieve</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Orientación de la forma</b>
<b>P-11</b>	Plataforma	455	0-2	T <sup>1</sup>
<b>P-13</b>	Plataforma	472	0-2	T
<b>P-14</b>	Plataforma	465	0-2	T
<b>P-21</b>	Plataforma	467	0-2	T
<b>P-22</b>	Plataforma	475	0-2	T
<b>P-23</b>	Plataforma	476	0-2	T
<b>P-31</b>	Plataforma	508	0-2	T
<b>P-32</b>	Ladera de empalme	515	2-5	NW
<b>P-33</b>	Plataforma	510	0-2	T
<b>P-34</b>	Ladera de empalme	517	2-5	NW
<b>P-41</b>	Plataforma tipo cerro	552	0-2	T
<b>P-42</b>	Plataforma tipo cerro	555	0-2	T
<b>P-43</b>	Plataforma tipo cerro	558	0-2	T
<b>P-51</b>	Plataforma tipo cerro	566	0-2	T
<b>P-53</b>	Plataforma tipo cerro	564	0-2	T
<b>P-54</b>	Plataforma tipo cerro	565	0-2	T

<sup>1</sup> T=Todas las orientaciones

Esta cartografía inicial fue validada por trabajo de campo y se elaboró una leyenda de formas de relieve, que fue utilizada posteriormente para describir la

morfología del paisaje, mediante la pendiente media, y la orientación dominante para cada una de las parcelas vitícolas del estudio.

Para no introducir diferencias en el mesoclima y el topoclima, se realizó una selección de parcelas minimizando los efectos del relieve. Primero, respecto a la inclinación topográfica mediante la selección de parcelas ubicadas en plataformas de 0 a 2° de pendiente. Es decir, superficies que presentan todas las orientaciones o sin orientación definida, excepto las parcelas P-32 y P-34 que presentan orientación NW, ya que son, en su parte de mayor cota, laderas de pendiente muy suave que continúan con una terraza. Segundo, la orientación de las filas en la mayoría de las parcelas es E-W excepto en el área 4 (P-41, P-42 y P-43) que tienen orientación NW-SE y la parcela 5-1 cuyas filas tienen orientación N-S.

Respecto a la altitud, hay dos áreas de menor cota que son el 1 (455-472 m) y el 2 (475-484 m), otras dos plataformas de mayor altitud 4 (552-558 m) y 5 (564-566 m), presentando el área 3 (508-517 m) cotas intermedias. La estación climática del SIAR se encuentra en el entorno del área vitícola 1.

#### II.1.5. LOS SUELOS: TIPOS Y DISTRIBUCIÓN

En primer lugar, se delimitaron cinco áreas vitícolas a partir del proyecto “Cartografía detallada de suelos del término municipal de Uruñuela” (Martínez-Vidaurre *et al.*, 2003). Dicho proyecto (Anexo I, Figura 1), constaba de una cartografía edáfica a escala detallada (E 1:20.000), avalada por una intensa prospección de campo, consistente en la apertura, estudio y muestreo de 85 calicatas y la ejecución de 256 sondeos (10-15% de ellos muestreados).

El estudio y análisis de este mapa edáfico permitió realizar una selección de las principales unidades cartográficas de suelos delineadas (Anexo I, Tabla 1). Estas unidades fueron delineadas como polígonos, siguiendo el criterio del Soil Survey Manual (SSS, 1993) y Van Wambeke y Forbes (1986), cuyos límites y patrones de distribución proporcionaron pautas muy precisas sobre la variabilidad espacial que presentaba la zona de estudio. En dicho trabajo, a nivel taxonómico fueron descritas 29 series de suelos pertenecientes a los órdenes Inceptisoles, Mollisoles, Entisoles y

Alfisoles, que quedaron representadas en el mapa final como 22 unidades cartográficas de suelos: 11 consociaciones (un suelo dominante) y 11 complejos de series (dos suelos principales).

La superficie cartografiada con relación a su pertenencia a un determinado orden de la taxonomía de suelos (SSS, 2006), según dicho estudio, se describe en la Figura II.6.

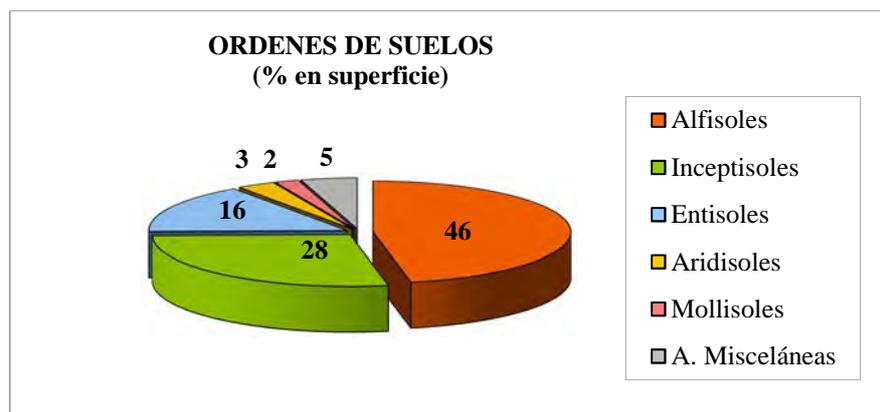


Figura II.6. Distribución de órdenes de suelos (% en superficie).

Para la selección de suelos, se escogieron las unidades cartográficas de suelos C y G como complejos de suelos, y las consociaciones de suelos I, J y V. Los viñedos a seleccionar debían estar ubicados dentro de las unidades o áreas cartográficas de suelos dominadas por los órdenes Alfisoles (U.C. C = área 1) Inceptisoles (U.C. V = área 2), y Mollisoles (U.C. I= área 4). Las áreas 3 (U.C. G) y 5 (U.C. J) presentaron simultáneamente suelos incluidos en los órdenes Inceptisoles y Alfisoles. Esta elección de áreas vitícolas permitió reunir los tipos de suelos más representativos del entorno estudiado, con la inclusión de 3 órdenes importantes: Inceptisoles (I), Alfisoles (A) y Mollisoles (M). Los dos primeros se seleccionaron por su extensa distribución en la zona y el tercero por sus características edáficas singulares.

Dentro de los órdenes de suelos, los grandes grupos taxonómicos elegidos fueron: Haploxerepts (H) y Calcixerepts (C) del orden Inceptisoles, Haploxeralfs (H) y Palexeralfs (PA) de los Alfisoles, y Palexerolls (PO) del orden Mollisoles, con sus característicos horizontes de diagnóstico: cámbicos, cálcicos, argílicos y petrocálcicos.

Tabla II.4. Unidades cartográficas seleccionadas del Mapa de Suelos de Uruñuela.

Código U.C.	Unidad cartográfica	Serie de suelos
<b>C</b>	Complejo Torremontalbo-Carrera	<b>Torremontalbo:</b> Haploxeralfs cálcico, esquel.franca, mezclada, mésica <b>Carrera:</b> Palexeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica
<b>G</b>	Complejo Calera-Cenicero	<b>La Calera:</b> Calcixereps típico, franca fina, carbonática, mésica <b>Camino Cenicero:</b> Palexeralfs cálcico, arcillosa, mezclada, mésica
<b>I</b>	Consociación Llano Tricio	<b>LlanoTricio:</b> Palexerolls petrocálcico, esquel.franca, carbonática, mésica
<b>J</b>	Consociación Llanoluengo	<b>Llanoluengo:</b> Calcixereps típico, franca, carbonática, mésica
<b>V</b>	Consociación Yalde	<b>Yalde:</b> Haploxerepts fluvéntico, franca, mezclada, mésica

Tabla II.5. Selección de áreas vitícolas a partir del Mapa de Suelos de Uruñuela.

Unidad Cartográfica	Área vitícola
<b>C</b>	<b>1</b>
<b>V</b>	<b>2</b>
<b>G</b>	<b>3</b>
<b>I</b>	<b>4</b>
<b>J</b>	<b>5</b>

A continuación, en cada área se seleccionaron tres parcelas representativas de su viñedo, según los criterios descritos en el punto II.2.1. Como etapa final, se procedió al estudio de sus suelos mediante prospecciones edáficas tipo calicata. La clasificación final de los perfiles se realizó a nivel de subgrupo, reconociéndose un total de 7 subgrupos en las 17 parcelas vitícolas prospectadas.



Figura II.7. Terrazas del río Najerilla.

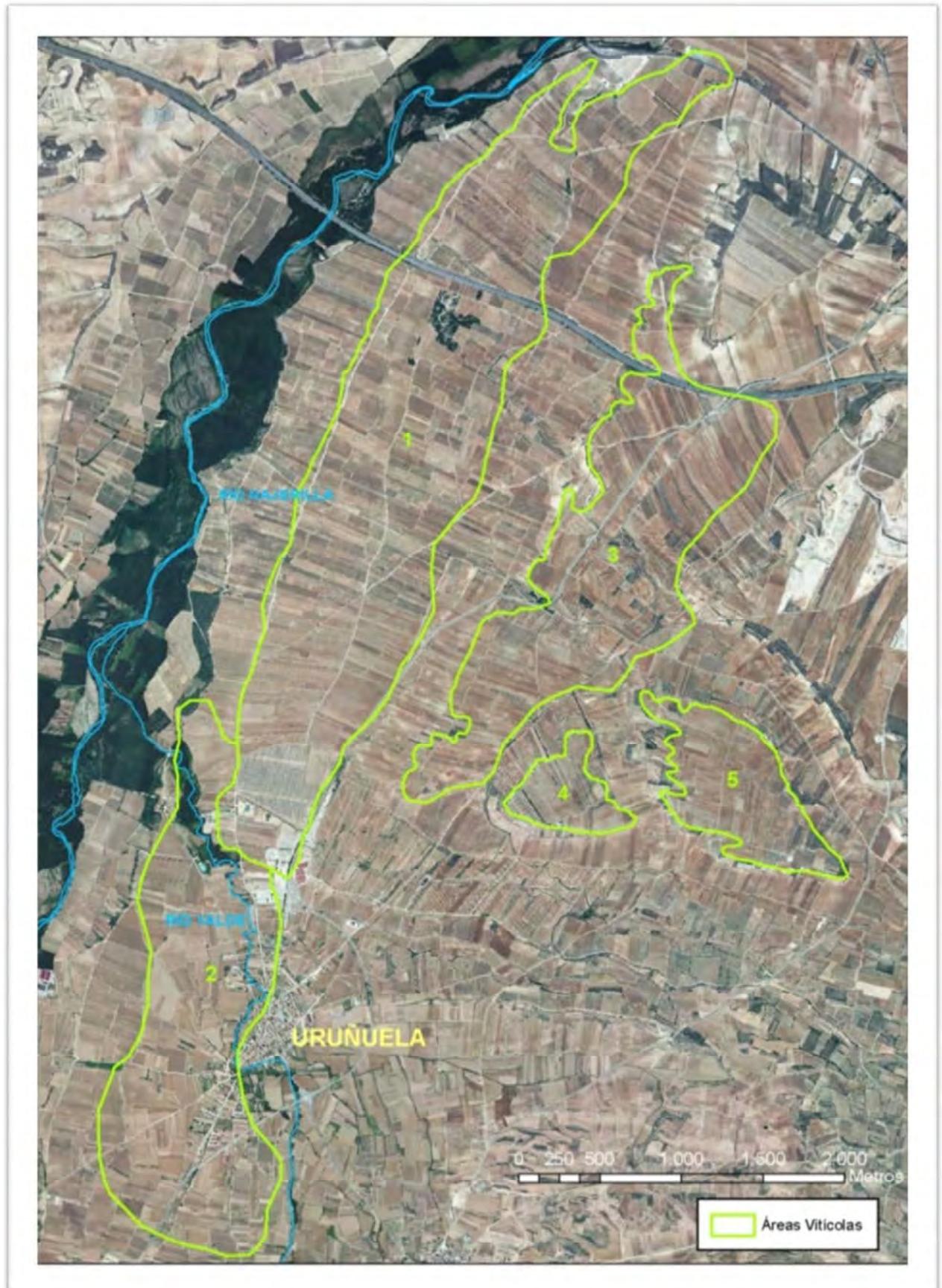


Figura II.8. Delimitación de las Áreas vitícolas del estudio en el valle del Najerilla.

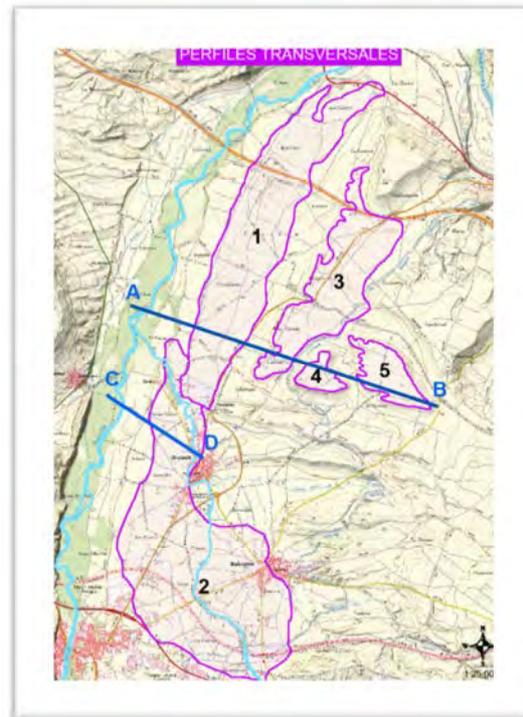


Figura II.9. Trazado de los perfiles transversales BA y DC en el paisaje vitícola.

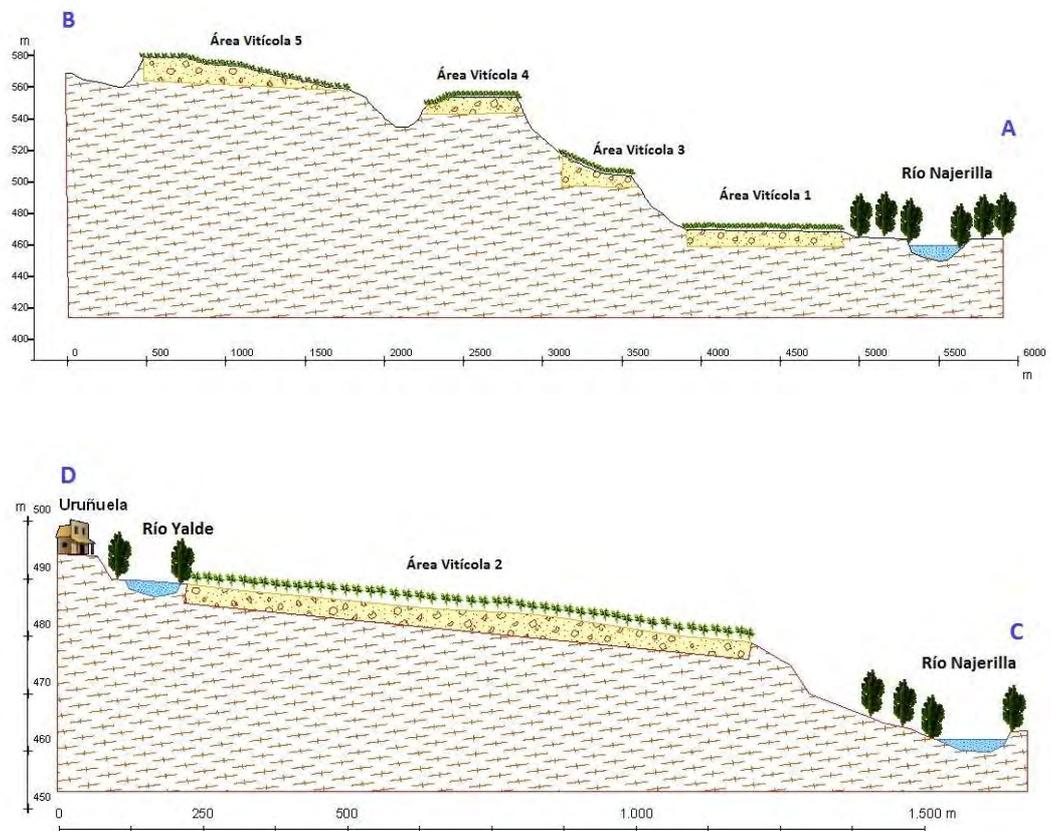


Figura II.10. Secciones trasversales del paisaje: áreas vitícolas 1, 2, 3, 4 y 5 (Arc-info v. 9.0).

## II.1.6. MATERIAL VEGETAL: PORTAINJERTO Y VARIEDAD DE VID

Con objeto de estudiar la influencia del factor tipo de suelo y del factor clima en la composición y calidad de mostos y vinos, fue preciso realizar una selección homogénea con relación al material vegetal. Por ello, se procedió a la elección de la variedad y de su portainjerto teniendo en cuenta la importancia y representatividad en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja, y su implantación en la zona de estudio.

Partiendo de estas premisas, se eligió como variedad de *Vitis vinífera* L. el cv. Tempranillo sobre el portainjerto 110 Richter (110R), con importancia y representatividad dentro de los viñedos de la D.O.Ca. Rioja.

El cv. Tempranillo es la variedad tinta autóctona y más característica de la D.O.Ca. Rioja, ocupa más de dos terceras partes de la superficie vitícola (referencia del Consejo Regulador) y constituye la base principal de los vinos tintos de Rioja.

Por su parte, el portainjerto 110R es con diferencia el patrón más empleado para el injerto de Tempranillo. Su adaptación a situaciones diversas, su aptitud para suelos arenosos, o con abundancia de elementos gruesos, y su resistencia a la caliza activa (17%) son condiciones que han hecho que predomine en esta denominación.

### II.1.6.1. Características generales de la variedad Tempranillo

Como su propio nombre indica, una de sus características es la de ser una uva de maduración temprana. Respecto a su comportamiento agronómico, es muy segura en el cuajado, muy sensible a plagas y enfermedades criptogámicas, poco resistente a la sequía y a las temperaturas altas. Tiene el porte erguido y es sensible al viento. Su potencial productivo es medio-alto en función del terreno.

En cata, las bayas destacan por su hollejo fino y herbáceo. Produce un mosto equilibrado en azúcar, color y acidez, aunque ésta última a veces es escasa, presentando pH algo elevados. Estos últimos valores son debidos a su alto contenido en potasio y ácido málico (> 2,5 g/l).

En la siguiente tabla, se describen los principales rasgos de esta variedad tinta (MAPAMA, 2010):

Tabla II.6. Ampelografía general y aptitudes de la variedad Tempranillo.

<b>Sinonimias</b>	Cencibel, Tinto fino, Tinto de Toro, Tinto del País, Ull de Llebre
<b>Fenología</b>	Desborre medio; Brotación temprana (finales de marzo o primeros de abril); Floración en junio, Envero a mitad de agosto; Maduración segunda quincena de agosto y septiembre; Vendimia final de septiembre hasta primera quincena de octubre.
<b>Hoja</b>	Hoja joven con vellosidad color verde amarillento y bordes rojizos. Hoja adulta de gran tamaño y color verde azulado. Limbo pentalobulado con el lóbulo central alargado. En el envés posee una vellosidad característica con una densidad media de pelos tumbados.
<b>Racimo</b>	De tamaño mediano-grande, compacto, alargado, estrecho, cilíndrico y con doble hombro muy marcado. Pedúnculo mediano-corto.
<b>Baya</b>	Las uvas son de tamaño pequeño a mediano, esféricas, pulpa blanda y muy jugosa de pigmentación muy débil o ausente. Piel gruesa. Epidermis negra azulada cuando están maduras. Pepitas bien formadas.
<b>Aptitudes agronómicas</b>	Rústica, variedad bien adaptada al entorno meridional. Su precocidad permite incluso cultivarla en zonas frescas. Su fertilidad permite tanto la poda larga como la corta.
<b>Resistencia a plagas</b>	Poco sensible a <i>Botrytis cinerea</i> y a <i>Uncinula necator</i> , pero muy sensible a eutipiosis y a ciertas virosis.
<b>Aptitudes enológicas</b>	En condiciones favorables, permite obtener vinos de calidad, con un grado alcohólico equilibrado y buenas características de color, aroma y estructura. Admite muy bien la crianza en bodega y posee una aptitud muy adecuada para el envejecimiento. Como inconveniente, presenta una acidez baja.

Su potencial enológico depende de los rendimientos. En general, produce vinos no excesivamente alcohólicos. Con producciones limitadas da óptimos productos, con acidez media-baja y alto en taninos. Da lugar a vinos jóvenes muy aromáticos y elegantes, tanto en elaboración tradicional como en maceración carbónica.

En general, versátil, capaz de producir vinos tintos para un largo envejecimiento (crianzas y reservas), muy equilibrados en grado alcohólico, colores intensos, acideces medias y graduaciones alcohólicas medias altas (Cabello *et al.*, 2003). En cata, paladar franco y aroma a fruta, positivo en vino joven, y que cambia a aterciopelado cuando envejece. Admite muy bien la mezcla con otras variedades, mejorando acidez, aroma y tanino.

Con relación al portainjerto 110R, decir que tiene su origen en un cruce entre *Berlandieri Resseguier n° 2 x Rupestris Martin*. Es el más difundido en la viticultura española, ya que es capaz de adaptarse a situaciones muy diversas. Sus características más destacables (MAPAMA, 2010) con respecto al cultivo son las siguientes:

- Óptimo desarrollo en suelos con gravas y arenosos.
- Resistente a la sequía y sensible a suelos con exceso de humedad.
- Umbral elevado de tolerancia a la caliza activa (17%).
- Nula resistencia a la salinidad.
- Sistema radicular no demasiado penetrante.
- Es muy potente, favoreciendo una producción abundante y comunicando un gran vigor a los injertos, aunque el desarrollo del primer año es algo débil. En terrenos muy fértiles tiende a retrasar la maduración de la uva.
- Es medianamente resistente a nematodos (*Meloidogyne sp*).

#### II.1.6.2. Fenología

El estudio de la fenología de la vid constituye un indicador muy adecuado para advertir las posibles respuestas de la planta ante factores como el clima, y/o suelo.

Cada una de las fases por las que pasa la planta, a lo largo de su ciclo anual, constituye un estado fenológico. Estos estados se advierten visualmente y sirven, en muchas ocasiones, de referencia a la hora de tomar decisiones en el cultivo o de la realización de ciertas prácticas.

En el presente estudio, el diseño experimental se basó en la ausencia de variaciones climáticas significativas respecto a la localización de los suelos en las diferentes parcelas vitícolas, y por lo tanto, se asumen los mismos parámetros climáticos para la totalidad del viñedo en el entorno estudiado. Para comprobar que la presencia o ausencia de un efecto mesoclimático diferenciador debido al relieve (exposición, orientación y altitud), se realizó el seguimiento de los principales estados fenológicos de la planta, desde abril hasta octubre durante el año 2013. Para ello, en las tres hileras marcadas en cada parcela, se seleccionaron y marcaron cuatro cepas representativas, uniformes en cuanto a carga y distribución de yemas, presentando una poda equilibrada

y sin la existencia de brazos ni pulgares muertos. El seguimiento de todas las yemas, brotes o pámpanos se efectuó manteniendo una periodicidad media de observación de 4 a 7 días, con mayor frecuencia a inicio de ciclo para describir la brotación, yema algodonosa, hojas extendidas...



Figura II.11. Estado de salida de las hojas (D) a hojas extendidas (E).

Para realizar la fenología de la vid se empleó la propuesta realizada por Baggiolini (1952), modificada y ampliada (Baillod y Baggiolini, 1993). Se han descrito y fechado los estados fenológicos más importantes con relación a los muestreos y análisis realizados, es decir, brotación, floración, envero y maduración (vendimia).

#### II.1.7 Características de los viñedos: gestión del suelo y prácticas agronómicas

Se trata de viñedos en plena producción, con edades comprendidas entre 10 y 35 años. Respecto al marco de plantación, presentan un ancho de calle entre 2,55 y 2,80 m y una distancia entre cepas de 1,10 a 1,25 m, resultando parcelas entre 2800 y 3000 cepas·ha<sup>-1</sup> de media. La orientación dominante de las filas es E-W. En unas parcelas las plantas se conducen bien en espaldera, con poda en cordón bilateral Royat, con una carga aproximada de 12 yemas·planta<sup>-1</sup>, distribuidas en seis pulgares de dos yemas, y en otras, con un sistema libre en vaso, con 5 o 6 pulgares por cepa, con una carga entre

10 y 12 yemas-planta-1. Las áreas con plantaciones más recientes (1 y 2) presentan mayoritariamente espaldera y las áreas más tradicionales se mantienen con un 50% al menos en conducción libre (3, 4 y 5).

En los años 2010 y 2011, se llevaron a cabo las encuestas agronómicas a los viticultores colaboradores para conocer con detalle el material vegetal seleccionado, año de plantación, rendimientos, prácticas de abonado, dosis, frecuencia, producciones, vigor, rendimientos factores limitantes, desarrollo vegetativo y maduración, enfermedades más frecuentes...

Estos viticultores, son socios de la bodega colaboradora, disponen de un técnico de campo que les establece las prácticas o labores (tipo, dosis, fecha...) a ejecutar con relación al desarrollo del cultivo. A continuación, se realiza una descripción general de las prácticas agronómicas que tienen lugar en los viñedos del entorno estudiado.

Existen parcelas con infraestructura de regadío, concretamente en las áreas 1 y 2, realizándose riegos de apoyo en determinados momentos del ciclo, dependientes del año climático. Para el resto de parcelas el régimen hídrico ha sido seco.

El mantenimiento del suelo se lleva a cabo mediante aplicación de herbicida en la línea y laboreo de la calle. El programa de tratamientos fitosanitarios responde a una estrategia convencional de la zona. En cuanto a las operaciones en verde, el viñedo fue espergurado y despuntado, cuando así se estimó necesario, en la totalidad de las parcelas.

No se realizaron prácticas de abonado orgánico de mantenimiento, excepto la incorporación al suelo de material picado procedente de la prepoda. En general, los abonados minerales, mediante aporte de nitrógeno, fósforo y potasio, se llevan a cabo con periodicidad entre 2 y 4 años, dependiendo del viticultor, del área vitícola y del tipo de suelo.

Las prácticas agronómicas en la masa vegetal fueron similares en todas las parcelas: espergurado, desnietado, despuntes manuales y/o a máquina, deshojados manual o mecánico a un lado de la espaldera (en la umbría). Los aclareos son

excepcionales, dependiendo del año climático y del tipo de suelo. La recolección de la uva se realiza manualmente en 15 de las 17 parcelas, siendo con vendimiadora en las restantes. Finalmente, la pre poda es mecanizada tanto para vasos como espalderas, y la poda se realiza de forma manual.

Tabla II.7. Material vegetal, sistema de conducción y prácticas agronómicas en las parcelas de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos.

Material y prácticas	CT	HC	HF	CTC	PC	PO	PA
Portainjerto	110R	110R	110R	110R	110R	110R	110R
Marco de plantación	2,70x1,25	2,75x1,25	2,70x1,20	2,55x1,25	2,80x1,10	2,70x1,20	2,75x1,25
Densidad (pl/ha)	2.850	3.000	3.000	3.000	2.850	2.900	2.800
Orientación	E-W	SE-NW	E-W	E-W	E-W	E-W	E-W
Conducción	Espaldera	Espaldera	Espaldera	Libre	Libre	Libre	Libre
Poda	Cordón doble	Cordón doble	Cordón doble	Vaso	Vaso	Vaso	Vaso
Abonado de fondo	No	Viticultor	No	No	No	No	No
Abonado mantenim.	K, Mg	Ca, Mg, K	2-4 años	2-4 años	2-4 años	2-4 años	2-4 años
Régimen hídrico	Regadío	Regadío	Secano	Secano	Secano	Secano	Secano
Tipo de riego	Goteo	Goteo	-	-	-	-	-
Mnto. suelo-calle	Laboreo	Laboreo	Laboreo	Laboreo	Laboreo	Laboreo	Laboreo
Mnto. suelo-hilera	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Herbicida
Espergura-desniete	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Despunte	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Deshojado	Si	Viticultor	Si	-	Si	Viticultor	-
Aclareo	No	No	Añada	No	No	No	No
Producción (Tn/ha)	7-9,5	5,0-7,0	10,0	5,0-7,5	5,0-7,5	5,0-7,5	5,0-7,5

CT- *Calcixerepts típico*; HC- *Haploxeralfs cálcico*; HF- *Haploxerepts fluvéntico*; CTC- *Calcixerepts típico fase Carbonática*; PC- *Palixeralfs cálcico*; PO- *Palixerolls petrocálcico*; PA- *Palixeralfs petrocálcico*.

## II.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

### II.2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS PARCELAS VITÍCOLAS

Inicialmente, el diseño experimental se realizó con el objetivo general de evaluar la influencia del tipo de suelo y de sus parámetros físico-químicos, en la composición y calidad de la uva y de los vinos de *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo. El estudio se desarrolló en un ecosistema vitícola natural dentro de la D.O.Ca. Rioja. En estas condiciones, fue necesario introducir el clima (añada) como factor, estudiando los elementos o parámetros climáticos más relevantes, así como varios índices agroclimáticos aplicados al medio natural del estudio.

Por lo tanto, el diseño experimental final constaba de dos variables explicativas: tipo de suelo y clima o efecto añada. Para llevarlo a cabo, fue necesario controlar otros factores físicos y de producción, que pudieran ser fuentes de variabilidad adicional como los elementos del relieve (pendiente, orientación y exposición), la naturaleza geológica y litológica de los materiales edáficos y el material vegetal. A partir de la cartografía detallada de suelos de la zona de estudio, se seleccionaron viñedos en áreas de baja o nula pendiente, concretamente sobre plataformas de pendiente llana o casi llana (0-2%), y en laderas muy suaves (2-5%). Además, este tipo de formas de relieve procedían de modelados hídricos muy similares, procediendo la totalidad de los materiales del desmantelamiento del Sistema Ibérico riojano (Anexo I, Tabla 2).

Además, estas áreas debían presentar pautas de distribución de suelos conocidas, con mínima variabilidad. Por ello en primer lugar, se seleccionaron áreas con unidades de suelos formadas por un tipo o subgrupo dominante (consociación) frente a las delineaciones de unidades cartográficas formadas por complejos de suelos. No obstante, esta última condición no la cumplen todas las áreas (1 y 3).

En la fase final del planteamiento experimental, y dentro de cada área vitícola se seleccionaron las parcelas con las siguientes características agronómicas:

Especie: *Vitis vinifera* L.

Variedad: Tempranillo

Portainjerto: 110 Richter (110 R)

Edad de plantación: entre 10 y 35 años (plena producción)

Densidad de plantación: 3.000 +/- 200 plantas

Sistema de conducción: espaldera y libre, según área vitícola y parcela.

Tipo de poda: cordón bilateral Royat o vaso, según área vitícola y parcela.

A nivel de campo, la última fase consistió en un recorrido pormenorizado de la totalidad de parcelas preseleccionadas en cada área vitícola. Se concedió especial relevancia al desarrollo vegetativo, al sistema de conducción, al tipo de poda,...Se Eligiendo los viñedos más idóneos para el estudio. Estos no debían presentar problemas nutricionales, fisiológicos, o de tipo fitosanitario. Debían ser representativas de la masa vegetal del área en cuestión, y tener un desarrollo homogéneo. En la selección, se valoró el perfil del viticultor y se intentó maximizar la relación número de parcelas/viticultor. En concreto, tres viticultores gestionaban 13 parcelas. Las prácticas agronómicas, llevadas a cabo por cada viticultor, se consideraron estándar ya que eran supervisadas por el departamento técnico de la bodega colaboradora.

Para completar el diseño, en cada parcela vitícola se marcaron tres filas de plantación adyacentes de 50 vides cada una. Así se dispuso de tres repeticiones de cada tipo de suelo.



Figura II.12. Parcela vitícola seleccionada del subgrupo de suelos PO.

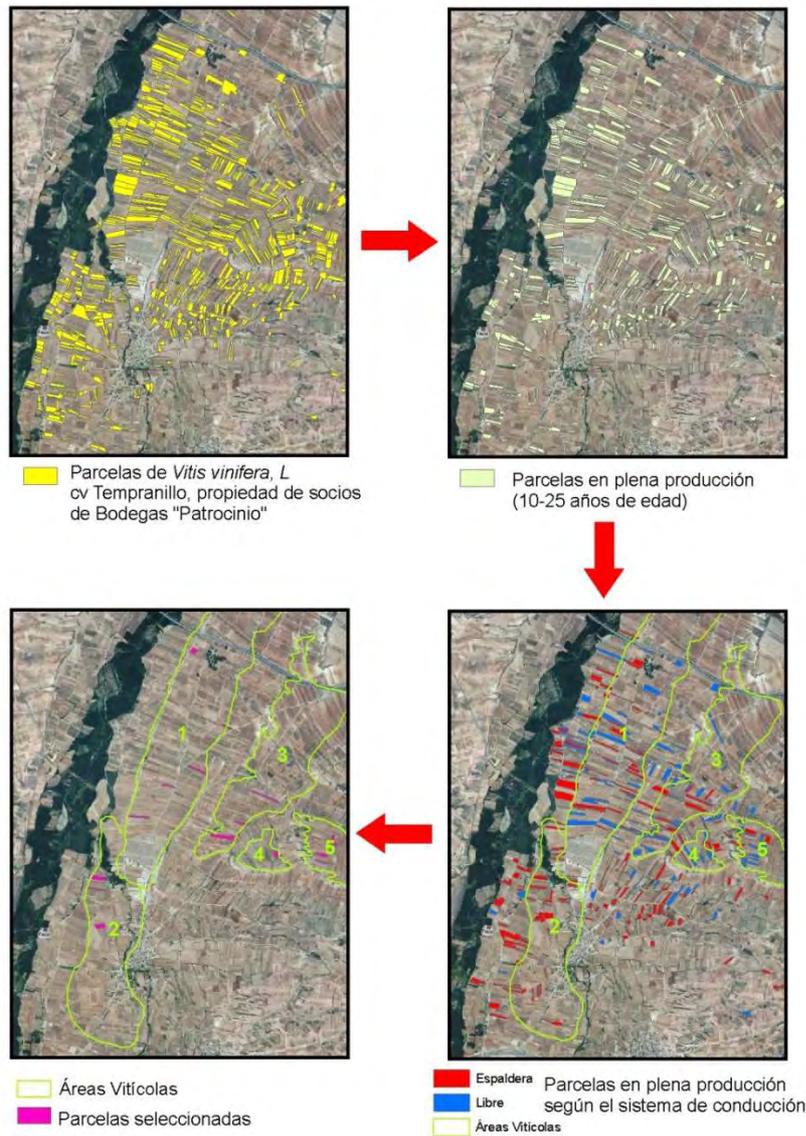


Figura II.13. Proceso de selección de parcelas vitícolas.

En el año 2011, manteniendo la red básica de parcelas, se incorporaron dos parcelas, una en el área 1 (P-15) y otra en la 3 (P-34), habida cuenta de que estas presentaban una mayor variabilidad edáfica respecto al resto de áreas. En este contexto, la red definitiva de parcelas quedó constituida por 15 parcelas en el año 2010, que se incrementó a 17 parcelas vitícolas en el periodo 2011-2013. En resumen, se aumentó el número de parcelas, y de observaciones en las áreas 1 y 3, de cara a obtener resultados más robustos e interpretables.

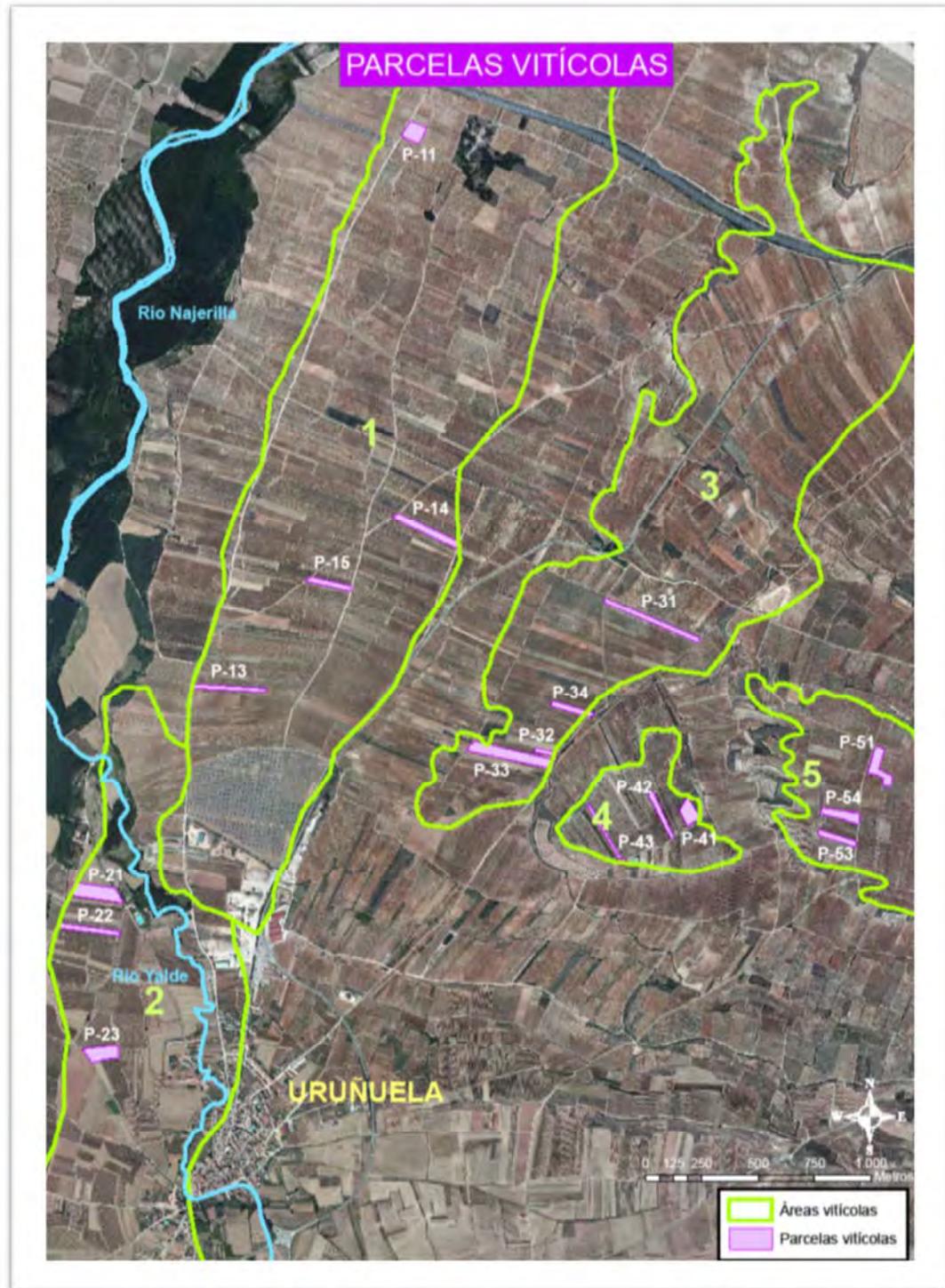


Figura II.14. Áreas vitícolas y parcelas seleccionadas.

## II.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental de este estudio se estructuró a partir de un factor principal el tipo de suelo a nivel de parcela. La complejidad de este análisis con 17 tipos de suelos (familias) derivó en un nuevo enfoque agrupando parcelas con relación al

factor suelo a nivel de un taxón de mayor jerarquía, de forma que, de 17 parcelas o tipos de suelos se pasó a 7 subgrupos de suelos.

El paquete estadístico seleccionado para realizar el análisis de datos fue el programa SPSS v.22 (IBM, 1989-2013).

En primer lugar, con la totalidad de los datos ordenados en tablas Excel (Office v. 2010 de Microsoft), se realizó un análisis factorial aplicando el modelo lineal general univariado, seleccionando dos variables explicativas el tipo de suelo a nivel de parcela (17) o bien estos agrupados taxonómicamente en 7 subgrupos, y por otra parte, el factor clima (añada) en un periodo de 4 años (2010-2013). Las variables dependientes se obtuvieron de parámetros y datos recogidos en cada parcela, por triplicado (3 filas de 50 cepas), considerando la composición mineral de la hoja y por tanto su nivel nutricional, el estado hídrico de la planta, los componentes físico-químicos de la uva, los componentes del rendimiento y vigor, y las características de los vinos elaborados. De este primer análisis estadístico, se obtuvieron los valores del estadístico F ratio y el p-valor para cada variable dependiente respecto al factor suelo (parcela y subgrupo), al factor clima, y a la interacción de ambos.

Factor explicativo 1: 17 tipos de suelos a nivel de parcela o bien 7 subgrupos de suelos (CT, HC, HF, CTC, PC, PO y PA).

Factor explicativo 2: Clima (añada) de estudio interanual (2010-2013) para cada tipo o subgrupo de suelos. El efecto de este factor se conoce analizando su influencia en un subgrupo de suelos entre los años del estudio.

El análisis estadístico de los datos experimentales, continuó con la aplicación generalizada de técnicas de ANOVA a los tipos de suelo (subgrupos de suelos) para cada año. La influencia del suelo a nivel de subgrupo de suelos se estudió año a año, de forma independiente.

El efecto del clima para cada subgrupo de suelos se estudió mediante ANOVA entre años. Para ello, se empleó el listado de variables dependientes mencionadas anteriormente, y adicionalmente también se utilizaron datos del análisis organoléptico

(cata) y de la cuantificación de los aromas secundarios para la comparación de añadas. Simultáneamente, se comprobó que los datos cumplían los supuestos de normalidad mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov y de homogeneidad de varianzas con el estadístico de Levene, para contrastar la igualdad de las varianzas de grupo.

Las diferencias estadísticas entre subgrupos de suelo y entre añadas, se han estimado con el test *post-hoc* de separación de medias de Duncan ( $p < 0,05$ ), mediante el cual se establecieron procedimientos de comparaciones múltiples, entre todas las parejas de medias que presentaban los distintos tratamientos.

Los resultados del análisis organoléptico han recibido un tratamiento estadístico diferenciado. Los datos obtenidos mediante las puntuaciones en cata de cada uno de los vinos resultantes han sido estudiados mediante técnicas de análisis de la varianza y test *post-hoc* de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Se aplicó el análisis discriminante a los parámetros edafológicos de las 34 calicatas y su distribución en 7 subgrupos de suelos. Asimismo, se aplicó el análisis discriminante global con la totalidad de los datos del estudio para conocer si era posible obtener funciones a partir de las variables dependientes que pudieran separar los 7 subgrupos de suelos. A su vez, se llevó a cabo el mismo tipo de análisis utilizando como variable de agrupación el año climático.

En una fase posterior, se definieron las propiedades y parámetros edáficos, de mayor peso específico, con relación a su posible efecto en la producción y calidad de mostos y vinos. Se seleccionaron los elementos climáticos estudiados y las características de los subgrupos de suelos más relevantes desde el punto de vista edafogenético y agronómico. A continuación, se realizó la búsqueda de correlaciones entre los parámetros edafoclimáticos seleccionados y la totalidad de los datos de las variables dependientes relacionadas con el material vegetal: hojas, mostos, vinos y componentes del vigor y de rendimiento. Se aplicó un análisis de regresión lineal calculando los coeficientes de correlación de Pearson, así como su significación, entre los valores de los elementos climáticos y edafológicos con relación a la composición mineral de hojas, los valores de las determinaciones en la uva y el vino de la variedad Tempranillo.

Finalmente, se acometió un análisis de componentes principales global con los valores de los parámetros o variables dependientes tomados durante el estudio, seleccionando como variables de agrupación, bien el subgrupo de suelos o bien el factor añada.

### II.3. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS SUELOS

#### II.3.1. ESTUDIO Y DESCRIPCIÓN DE PERFILES EDÁFICOS

Para el estudio de suelos, se procedió a la apertura de dos calicatas (SSS, 2003; Porta *et al.*, 2003) por parcela vitícola, una por cada calle que definen las filas marcadas. Se estudiaron en total 34 perfiles edafológicos. Las calicatas se abrieron con una máquina miniretroexcavadora mixta, que pudo maniobrar adecuadamente en la anchura de la calle entre las líneas de plantación. Este tipo de prospecciones, cuyas dimensiones fueron de 80-90 cm de ancho y una profundidad máxima 150 cm, ó hasta la visualización del material original de los suelos (capas de gravas débilmente alteradas), permitieron realizar un estudio detallado del suelo por horizontes.



Figura II.15. Apertura de calicata con retroexcavadora.

La descripción edafológica del perfil (USDA, 1993; SSS, 2003; Porta *et al*, 2003), así como la clasificación provisional de los suelos (SSS, 2006) se almacenaron a tiempo real en una base de datos de suelos.

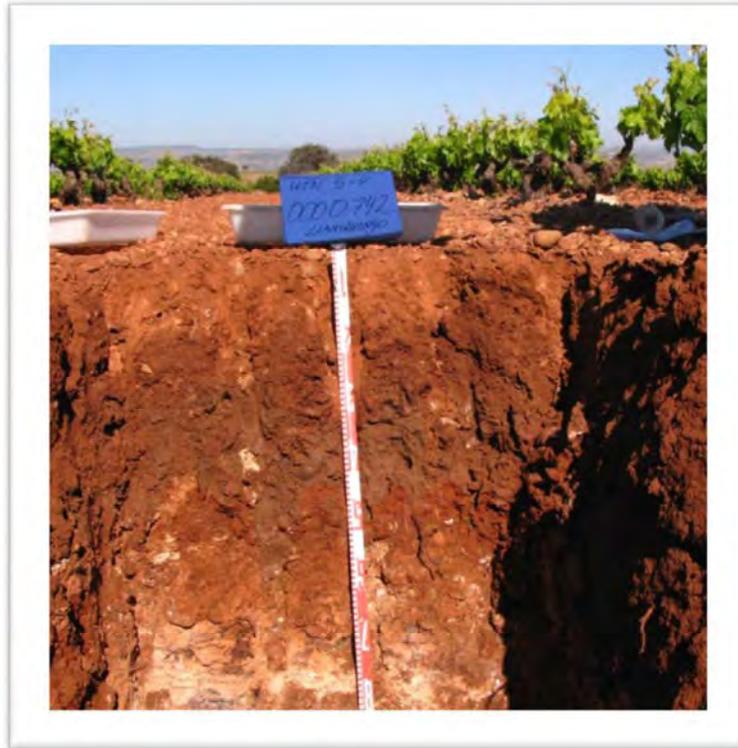


Figura II.16. Perfil del subgrupo de suelos PA.

A nivel de campo, se procedió al levantamiento topográfico GPS GeoXH (Trimble), la captura de imágenes del paisaje, del perfil y detalles o rasgos edafológicos significativos, así como el muestreo de cada uno de los horizontes observados en las calicatas (Porta y López-Acevedo, 2005). Se describieron 30 perfiles edáficos en el año 2010, correspondientes a las calicatas abiertas en 15 parcelas vitícolas, así como las 4 calicatas de las dos parcelas incorporadas al estudio, y cuya descripción se realizó en el año 2011.

### II.3.2. PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS

Se recogieron muestras de 1 kg de peso de los horizontes descritos en cada calicata para el análisis físico-químico y de fertilidad general. Las muestras se introdujeron y transportaron en bolsas de plástico debidamente identificadas.

Al mismo tiempo, se realizó un muestreo adicional de materia edáfica sin perturbar en los horizontes superficiales y en los horizontes de la sección control. Este consistió en la extracción de muestras edáficas por duplicado de la zona central de cada horizonte edáfico utilizando cilindros metálicos (Eijkelkamp), de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro. Los datos de peso y volumen de los cilindros se utilizaron para determinar la densidad aparente (Grossman y Reisch, 2002), que a su vez se utilizó para estimar la reserva útil del suelo (Saxton *et al.*, 1986).

La totalidad de los perfiles de suelos se estudiaron y evaluaron utilizando el Sistema de Información de Suelos de La Rioja (Martínez-Vidaurre, 2001), una base de datos relacional Oracle (IBM). A esta base se incorporaron los análisis físico-químicos de los horizontes, y se integró la totalidad de la información para realizar la clasificación definitiva de los perfiles de suelos a nivel de orden, grupo, subgrupo y familia de suelos, según la taxonomía americana (SSS, 2006).



Figura II.17. Perfil del subgrupo de suelos PO.

Para establecer posibles pautas en la dinámica del nitrógeno con relación al tipo de suelo, se tomaron muestras edáficas en el estado fenológico de floración (junio) en la totalidad de las parcelas a lo largo del periodo 2010-2013. En dichas muestras, se determinó el nitrógeno inorgánico ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$ ) extraíble del suelo. La prospección se realizó empleando un ahoyador BT121 (Stihl), equipado con una barrena Edelman de 4 cm de diámetro. Se obtuvo una muestra compuesta para cada profundidad a partir de la mezcla de tres muestras simples por parcela. Las profundidades seleccionadas fueron de 0-15, 15-30 y 30-45 cm. Las muestras compuestas se guardaron en bolsas de plástico identificadas para su traslado al laboratorio.

### II.3.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS SUELOS

#### II.3.3.1. Preparación de muestras

Las muestras de suelos, tanto las procedentes de los horizontes edáficos como las obtenidas de los sondeos con barrena Edelman, se procesaron de idéntica forma. En ambos casos, las muestras fueron transportadas al laboratorio del Servicio de Investigación Vitivinícola en bolsas de plástico etiquetadas, y se colocaron extendidas sobre bandejas de plástico para su secado al aire. Una vez secas, transcurridos 30 días al menos, se procedió a la homogeneización de las mismas mediante la disgregación o rotura de agregados, y retirada manual de elementos gruesos voluminosos. Las muestras en tarrinas de plástico se transportaron al Laboratorio Regional para su paso por un tamizador de suelos Pulverisette 8 (Fritsch) dotado con tamiz de 2 mm de diámetro de poro. La fracción que atraviesa este tamiz, denominada tierra fina, es la muestra que se empleó para el análisis físico-químico de suelos.

#### II 3.3.2. Determinaciones de parámetros físico-químicos

La metodología analítica empleada fue la aprobada por la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis y Laboratorios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994), adaptada al formato de normas ISO, UNE y AFNOR. Los métodos físico-químicos aplicados a muestras edáficas se llevaron a cabo en el Laboratorio Regional de la CAR.

Por otra parte, para el cálculo de la reserva hídrica se empleó el modelo SPAW (Saxton, 2006) y para la determinación de las formas de nitrógeno inorgánico en el suelo el método de Mulvaney (1996).

#### 3.3.2.1. Granulometría

Determinada por difracción láser, con analizador de tamaño de partículas LS 13320 (Beckman Coulter), equipado con módulo de análisis universal de líquidos y automuestreador. Las fracciones analizadas se expresan en %: arena USDA (2-0,05 mm), limo USDA (0,05-0,002 mm), limo SI (0,02-0,002 mm) y arcilla USDA (<0,002 mm).

#### 3.3.2.2. Materia orgánica oxidable

Determinada por el Método Walkley-Black (MAPA, 1994), que consiste en una volumetría por retroceso con sal de Mohr para valorar, con autovalorador Metrohm, el exceso de dicromato no utilizado en la reacción de oxidación del C orgánico. Multiplicando por el factor de recuperación (1,4), se obtiene la estimación del % de materia orgánica total. El resultado se expresa en % materia orgánica oxidable.

#### 3.3.2.3. Nitrógeno total

Determinado por el método Dumas con analizador elemental Truspec CNS (Leco), basado en la norma EN 16168:2012. El equipo quema la muestra a 950°C y determina el nitrógeno como N<sub>2</sub>, después de haber reducido los NO<sub>x</sub> con cobre caliente, mediante una célula de termoconductividad. Los resultados se expresan como p.mil N, es decir, g N/Kg de suelo.

#### 3.3.2.4. Carbonatos totales

Determinados según el método EN 15936:2012, con analizador de carbono inorgánico CO-202 (Equilab), que permite efectuar un ataque de la muestra con ácido a 100°C, y cuantificar con celda de infrarrojos el CO<sub>2</sub> liberado. Los resultados se expresan

en % de  $\text{CaCO}_3$ , es decir, los carbonatos existentes (cálcicos y magnésicos, cuando los hay) se expresan como carbonato cálcico.

#### 3.3.2.5. Caliza activa

Se realizó mediante el método Nijelsohn (MAPA, 1994), que consiste en la determinación del carbonato disuelto al agitar la muestra durante 2 h con oxalato amónico 0.2 N (en relación suelo:extractante 1:20). La valoración del carbonato disuelto se efectúa con el analizador de carbono inorgánico CO-202 (Equilab), sobre una alícuota del extracto filtrado. La caliza activa se expresa en % de  $\text{CaCO}_3$ .

3.3.2.6. Conductividad eléctrica (prueba previa de salinidad) y pH en suspensión suelo:agua (1:5).

Determinados, según el método EN 15933:2012 para pH, y EN 13038:2011 para conductividad eléctrica, empleando un autovalorador Metrohm dotado de potenciómetro con pH-metro y conductímetro. La conductividad se expresa en dS/m a 25°C (1dS/m = 1 mmho/cm).

#### 3.3.2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y cationes asimilables

Determinado según el método ISO 23470 (AFNOR NFX 31 130), basado en la extracción con Cohex al pH del suelo. Sobre el extracto se determina la capacidad de cambio real por colorimetría con AutoAnalyzer 3 (Seal Analytical), y los cationes asimilables (Ca, Mg, Na, K, Al, Fe y Mn) por ICP-AES con equipo Optima 8300 y 3300 DV (Perkin Elmer). Los resultados se expresan en  $\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$  de suelo.

#### 3.3.2.8. Fósforo asimilable

Se utiliza el método de Olsen-Watanabe (MAPA, 1994). Es una extracción mediante bicarbonato sódico,  $\text{NaHCO}_3$  0,5 M. a pH 8,5 (Kuo, 1996), en relación 1:20 (suelo/solución). Posteriormente, el análisis del fósforo inorgánico extraído se realizó usando el método del ácido ascórbico mediante reducción por fosfomolibdato, por colorimetría ácida (880 nm) (Murphy y Raley, 1962), empleando espectrofotómetro

UV-Visible Cary Varian 50 (Agilent T). El fósforo de las muestras se expresa en mg P kg<sup>-1</sup> de suelo.

#### 3.3.2.9. Elementos extraíbles con solución Mehlich 3

Se determinan mediante extracción, empleando el extractante universal Mehlich III de pH 2.5 (Zhang *et al.*, 2009). En el extracto se determinan los elementos extraíbles (Al, Ca, Cu, P, Fe, Mg, Mn, K, Na y S,) mediante ICP-AES con equipo Optima 8300 ó 3300 DV (Perkin-Elmer). Los resultados se expresan en mg kg<sup>-1</sup> suelo.

#### 3.3.2.10. Formas nitrogenadas (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) extraíbles del suelo

El método se inicia pesando 5 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm en un bote de plástico, al que se añaden 25 ml de 2 M KCl, se agita 1 hora, y se centrifuga a 3500 rpm, durante 5 minutos según Mulvaney (1996). En un paso posterior, del sobrenadante se pipetea con cuidado 10 ml a otro tubo de ensayo de plástico. El nitrógeno amoniacal y el nitrógeno nítrico se determinan por colorimetría a 660 nm y 550 nm respectivamente, empleando un autoanalizador de flujo segmentado 3HR (Seal).

Para expresar en kg ha<sup>-1</sup>, el contenido en N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, se empleó la densidad aparente del suelo y el porcentaje en elementos gruesos (> 2 mm) calculados para los espesores de suelo 0-15, 15-30 y 30-45 cm.

#### 3.3.2.11. Reserva de agua útil del perfil

Se ha estimado la reserva útil de agua del suelo, en cada parcela, empleando el modelo SPAW (Saxton, 2006). El modelo seleccionado permite, calcular la reserva potencial de agua útil de cada horizonte de un perfil edáfico dado, introduciendo el espesor del horizonte, la granulometría, el porcentaje de elementos gruesos, la compactidad, el contenido en materia orgánica y en sales solubles. Para estimar la reserva del perfil se suman las reservas de sus horizontes. Los valores obtenidos se expresan en mm de agua por cm (mm cm<sup>-1</sup>) de espesor del suelo.



Figura II.18. Parcela del subgrupo de suelos HC.

#### II.4. COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA

Para conocer el nivel nutricional del viñedo con relación al tipo de suelo, se analizaron las concentraciones de los macronutrientes (N, P, K, Mg y Ca) y los micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B y Na) presentes en el tejido foliar. El contenido de estos elementos puede variar a lo largo del ciclo de la planta y en función del tejido de estudio (limbo o pecíolo) (Romero *et al.*, 2010, 2013). Por ello, se tomaron muestras foliares en el momento de la floración (junio) así como en el envero (agosto).

##### II.4.1. MUESTREO DE MATERIAL FOLIAR

En floración, tan solo se recogieron muestras en el ciclo vegetativo de 2013, mientras que en el estado fenológico de envero se tomaron todos los años de estudio (2010, 2011, 2012 y 2013). Los muestreos de hojas se realizaron en cada una de las tres filas de vides seleccionadas por parcela (repetición), recogándose 30 hojas completas por repetición, normalmente una hoja por cepa de pámpanos de vigor medio, con limbo y pecíolo sanos e íntegros, y sin síntomas de carencias nutricionales.

En floración, se muestreó la hoja opuesta al primer racimo, y en la fase de envero (Champagnol, 1984; Romero *et al.*, 2010), se recogió la hoja opuesta al segundo racimo en pámpanos fructíferos de vigor medio. Se tomaron hojas de todas las orientaciones posibles, especialmente de umbría y solana en las vides conducidas en espaldera.



Figura II.19. Material foliar (limbos y pecíolos) muestreado en envero.

#### II.4.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE HOJAS

En el laboratorio del SIV, se realizó una selección final del material foliar. Una vez separados, los limbos y pecíolos seleccionados se colocaron en diferentes bandejas, lavándose en tres ocasiones con agua corriente más un lavado final con agua destilada. Tras un presecado por centrifugado manual, las muestras colocadas en bandejas debidamente identificadas, se secaron en estufa de aire forzado Dry-Big (Selecta) a 70 °C, durante 48 h. aproximadamente, hasta peso constante.

Finalmente, las muestras fueron picadas y posteriormente molidas utilizando un molino ultracentrífugo ZM1 (Retsch), equipado con un tamiz de 0,5 mm de luz de malla. Las muestras se conservaron a temperatura ambiente, en botes de plástico, hasta su análisis.

### II.4.3. ANÁLISIS DE LIMBOS Y PECÍOLOS

Los análisis foliares (limbos y pecíolos) fueron realizados en el Laboratorio Regional de la C.A.R. Se determinó la concentración de los macroelementos, nitrógeno [N], fósforo [P], potasio [K], calcio [Ca] y magnesio [Mg], expresándose los resultados como  $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  de materia seca. De igual modo, se determinó la concentración de los microelementos, hierro [Fe], manganeso [Mn], cobre [Cu], zinc [Zn] y boro [B], expresándose los resultados en  $\text{mg}\cdot \text{kg}^{-1}$  de materia seca.

Para la determinación de fósforo, potasio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, zinc y molibdeno la muestras de material vegetal se sometieron a digestión húmeda en microondas, con 3 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 95% y 4 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% (Hoenig *et al.*, 1998). A continuación, estos elementos se determinaron por espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) Optima 3000DV (Perkin-Elmer).

La determinación del C y del N (N orgánico +  $\text{N-NH}_4^+$ ) en el material foliar, se realizó directamente con un analizador elemental TruSpec CNS (Leco).

### II.5. EVALUACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE LA VID

Para evaluar el estado hídrico de la planta, se realizaron medidas de potencial hídrico foliar, mediante una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965), con el equipo Plant Moisture Measurement (Skye Instruments), que dispone de un manómetro con precisión de 0,02 MPa. Se efectuaron determinaciones de potencial hídrico de base ( $\Psi_0$ ) en los años 2010 y 2011, concretamente en días en los que no se realizaron riegos de apoyo, y durante el estado fenológico correspondiente a enero.

En el año 2010, los días 26 y 27 de agosto (envero al 80-90%) y el día 18 de agosto en el año 2011, se realizaron las medidas de potencial hídrico antes del amanecer (predawn) con la cámara de presión tipo Scholander. Para ello, se recogieron hojas completamente sanas del tercio medio de los pámpanos principales, a razón de seis hojas por parcela, es decir, dos por repetición o fila. Estas mediciones se llevaron a cabo en la totalidad de las parcelas y repeticiones.

Cuanto mayor sea el estrés hídrico de la planta, mayor será la presión que se debe imprimir a la cámara para vencer la tensión y lograr el reflujó de savia. Por su parte, la lectura tomada representa la tensión a la que se encontraba la savia antes del corte de la hoja y señala el valor del potencial hídrico foliar, el cual se mide en bares o megapascuales (MPa), expresándose siempre en números negativos.

La cámara de Scholander realiza las medidas en bares, si bien los datos se expresan en MPa (1 MPa = 10 ba; 1 bar= 0.1 Mpa).

## **II.6. CARACTERIZACIÓN DE MOSTOS Y VINOS**

### **II.6.1. CONTROLES DE MADURACIÓN DE LA UVA Y VENDIMIA**

En los meses de septiembre y octubre de los años de estudio (2010, 2011, 2012 y 2013), se realizaron controles de maduración para determinar las fechas óptimas de vendimia. Se calculó el grado probable en campo, recogiendo muestras de 60 bayas por repetición, es decir, 3 muestras por parcela, procedentes de racimos de las cepas seleccionadas. Estas bayas, introducidas en bolsas de plástico, se estrujaron mediante presión manual. Del mosto resultante se vertió una gota en la célula de medida del refractómetro digital PAL (Atago). Se utilizaron tablas de conversión que relacionan los grados Brix del refractómetro y el grado alcohólico probable (GAP) del mosto.

La fecha de realización de la vendimia se decidió cuando los muestreos de uva, de las tres repeticiones de cada parcela, conseguían algo más de 22° Brix, equivalente a GAP medio, igual o superior a 13°.

Alcanzado este valor umbral, y previamente a la recolección de la uva, se procedió a recoger las muestras de vendimia para laboratorio. Dichas muestras están constituidas por unas 600 bayas por repetición, que proceden de la totalidad de los racimos de las cepas seleccionadas por fila (10 a 12). De cada racimo se toman cinco bayas, dos de los hombros o alas, dos del cuerpo central y una del ápice. Estas muestras de bayas, contenidas en botes de plástico, se transportaron en cámara isoterma y se depositaron en el laboratorio en un tiempo no superior a 2 horas desde su recogida.

## II.6.2. VENDIMIA

Al día siguiente de recoger las muestras para el análisis físico-químico, se realizó la recolección de la uva en cada parcela. La fecha de vendimia se fijó de forma independiente para cada una de ellas, siempre que superasen los 22° Brix. En la parcela, se vendimiaron separadamente las vides seleccionadas y marcadas en cada fila, entre 10 y 15 cepas, dependiendo de la carga. En dicha operación, se contaron el número de racimos por cepa vendimiada. La uva de vendimia se depositó en cajas de plástico para su transporte a la bodega experimental del Servicio de Investigación Vitivinícola (SIV).



Figura II.20. Recolección de uva por filas.

A la recepción en bodega, se pesaron las cajas y la uva de cada repetición ó fila, entre 55 y 85 kg según el tipo de suelos. La uva pesada se depositó por separado en la tolva de la estrujadora-despalilladora. A partir de este proceso, se realizaron dos elaboraciones a diferente escala: vinificaciones en la bodega experimental del SIV y a pequeña escala, en condiciones de laboratorio. Estas elaboraciones se describen de forma detallada en el apartado II.6.4.

### II.6.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE MOSTOS

Para caracterizar los principales parámetros de calidad de los mostos con relación al suelo de cultivo, se realizó el análisis físico-químico de la uva empleando las muestras de 600 bayas por fila (repetición) recogidas de las vides seleccionadas. Con esta muestra se realizó, por una parte, el análisis físico-químico general del mosto (400 bayas), y con la otra parte (200 bayas) la determinación de los componentes del color. El perfil analítico de los mostos se llevó a cabo en su totalidad en el laboratorio de Enología del Servicio de Investigación Vitivinícola (S.I.V.).

#### II.6.3.1. Determinaciones y métodos de análisis de mostos

La extracción del mosto en la muestra de 400 bayas se realizó mediante trituración mecánica con licuadora Vitamat, posterior filtrado sobre tela sintética y centrifugado final con centrífuga Digicen 20R (Orto Alresa), durante 10 minutos a 4.000 r.p.m. y 20°C. Sobre este mosto se llevaron a cabo los análisis oficiales siguiendo los “Métodos de Análisis Comunitarios en el Sector del Vino” (Reglamento CEE, n° 2676/90), salvo las determinaciones indicadas con otra referencia expresa.

##### II.6.3.1.1. Azúcares (Grado Alcohólico Probable, GAP)

El grado alcohólico probable se determinó por refractometría, mediante refractómetro DBX-55 (Atago), filtrando el mosto previamente a través de papel de filtro y eliminando las primeras gotas del filtrado. El porcentaje en masa de sacarosa (°Brix) se midió y su valor fue corregido en función de la temperatura, según los factores de corrección propuestos en el método oficial. Para conocer el grado alcohólico probable del mosto, se interpoló el resultado de la lectura del °Brix en la siguiente fórmula (válida en el intervalo de 15-25 °Brix):

$$\mathbf{GAP} \text{ (\% vol)} = (0,6757 \cdot \text{°Brix}) - 2,0839$$

##### II.6.3.1.2. Acidez Total

La acidez total es la suma de los ácidos valorables del mosto cuando se lleva a pH 7, añadiendo una solución alcalina valorada. Se determinó mediante valoración

potenciométrica con un pHmetro microPH 2001 (Crison) de 20 ml de muestra, a los que se les adicionó lentamente y con agitación constante, una solución de hidróxido sódico 0,1 N hasta pH 7. El resultado se expresa en g ácido tartárico l<sup>-1</sup>.

#### II.6.3.1.3. pH

Es una medida de la acidez real del mosto, expresada en el momento de la valoración como la concentración de iones hidrógeno libres en disolución. Dicha valoración se realizó mediante medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos sumergidos en la muestra y conectados a un pHmetro microPH 2001 (Crison).

#### II.6.3.1.5. Ácido L(-) Málico

El contenido del mosto en ácido L(-)málico se analizó mediante un kit enzimático comercial (Boheringer-Mannheim). El ácido L(-)málico es oxidado por la enzima L-malato deshidrogenasa (L-MDH) en presencia de nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) y se transforma en oxalacetato. La cantidad de NADH formada en la reacción es estequiométricamente igual a la concentración de L-málico, y se determinó a 340 nm en un espectrofotómetro UV-Visible PU 8625 (Philips). El resultado se expresa en g l<sup>-1</sup>.

#### II.6.3.1.6. Ácido Tartárico

Se determinó según el método Rebelein (Lipka y Tanner, 1974), basándose en la formación de un complejo estable del ácido tartárico con el vanadato amónico de color amarillo-naranja, que se midió a 530 nm con el espectrofotómetro UV-Visible PU 8625 (Philips). El resultado se expresa en g l<sup>-1</sup>.

#### II.6.3.1.7. Potasio (K) y Calcio (Ca)

Se analizaron directamente en el mosto, previa dilución. El K se determinó por espectrofotometría de emisión atómica a 766,5 nm y el Ca por espectroscopía de absorción atómica a 422,7 nm con el equipo SpectrAA-140 (Varian), empleando un

mechero con llama de acetileno/aire. Las concentraciones de potasio y de calcio se calcularon a partir de su recta de calibrado y se expresaron en unidades de  $\text{mg l}^{-1}$ .

#### II.6.3.1.8. Nitrógeno Fácilmente Asimilable (NFA)

Para su cuantificación, se utilizó un método basado en la combinación de la función amínica de los aminoácidos con aldehído fórmico y posterior desacidificación del carboxilo libre por acidimetría (Aerny, 1996). Los datos de NFA se obtuvieron en las campañas 2011, 2012 y 2013.

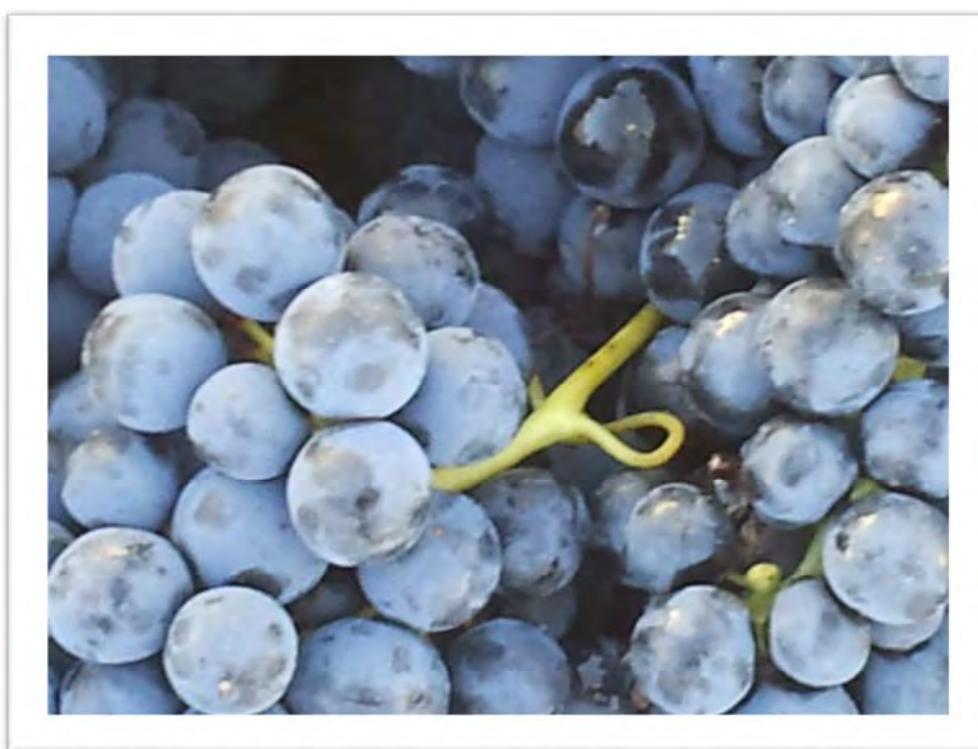


Figura II.21. Uva de vendimia a la entrada de la estrujadora-despalilladora.

#### II.6.3.2. Análisis de los componentes del color

En la submuestra de 200 bayas, que se separó del control de vendimia, se cuantificaron los parámetros del color del mosto. En primer lugar, se obtuvo un extracto mediante la adición de 50 ml de una solución de HCl 1% a dicha muestra. Posteriormente, las bayas se trituraron con batidora, añadiendo otros 50 ml de HCl hasta un volumen final añadido a la muestra de 150 ml de HCl. Tras esta fase, la muestra

primero se calentó a 40°C para enfriarla hasta 10°C a continuación. A partir de este momento, se filtró con una tela sintética, repartiéndose el mosto obtenido en dos tubos de 10 ml para su centrifugación con centrífuga Digicen 20R (Orto Alresa), durante 10 minutos a 4.000 r.p.m. y 20°C. Con el sobrenadante recogido, se realizaron las analíticas que se citan a continuación.

#### II.6.3.2.1. Antocianos

El método utilizado fue el propuesto por Ribéreau-Gayon y Stonestreet (1965), el cual se basa en la decoloración de los antocianos con metabisulfito sódico. La concentración de antocianos se obtiene llevando a una curva patrón la diferencia de absorbancias a 520 nm de la muestra diluida y acidificada añadiendo al mismo mosto metabisulfito sódico para decolorarlo. La valoración se efectuó a 520 nm en cubetas de vidrio de 1 cm de paso óptico con el espectrofotómetro UV-Visible PU8720 (Philips).

$$\text{Antocianos (mg/g)} = (\Delta\text{Abs. 520 nm} + 0,855) / 1,16$$

#### II.6.3.2.2. Índice de Polifenoles Totales (IPT)

El índice de polifenoles totales a 280 nm (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998) permite valorar la absorbancia de los anillos bencénicos de la mayor parte de los fenoles del mosto. La medida de la absorbancia a 280 nm en cubeta de cuarzo de 1 cm de recorrido óptico se efectuó en un espectrofotómetro UV-Visible PU8720 (Philips). Previamente a la lectura, la muestra se diluyó con agua destilada en cantidad suficiente para obtener una absorbancia aproximada a 0,5 unidades.

$$\text{IPT} = \text{Abs. 280} \cdot \text{dilución}$$

#### II.6.3.2.3. Intensidad de Color (IC)

La intensidad de color del mosto es un índice de la cantidad de materia colorante, que equivale a la suma de las absorbancias, en cubetas de 1 cm de trayecto óptico, para las radiaciones de longitudes de onda iguales a 420 nm, 520 nm y 620 nm. Las medidas de absorbancia se efectuaron con un espectrofotómetro UV-Visible

PU8720 (Philips), en cubetas de vidrio de 1 mm de paso óptico, por lo que los resultados se multiplicaron por 10.

$$\mathbf{IC} = (\text{Abs. } 420 \text{ nm} + \text{Abs. } 520 \text{ nm} + \text{Abs. } 620 \text{ nm}) \cdot 10$$

#### II.6.3.2.4. Tonalidad

Es la relación obtenida entre la absorbancia medida a 420 nm y la medida a 520 nm, determinadas mediante espectrofotómetro UV-Visible PU8720 (Philips). Es un parámetro adimensional que valora el matiz del mosto o vino indicando la evolución del color del mismo.

$$\mathbf{Tonalidad} = \text{Abs. } 420 \text{ nm} / \text{Abs. } 520 \text{ nm}$$

### II.6.4. ELABORACIÓN Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VINOS

La uva vendimiada y pesada, se introdujo en la tolva de la despalladora-estrujadora (Zambelli). Con la masa estrujada se realizaron dos tipos de elaboraciones. La primera en la bodega experimental, de cara a obtener un vino por parcela, aplicando las prácticas enológicas estándar de Rioja y empleando depósitos de 100 l, y la segunda para cada fila (repetición), a pequeña escala en condiciones de laboratorio (Sampaio *et al.*, 2007), en botes de vidrio de 4 l de capacidad.

#### II.6.4.1. Vinos de la bodega experimental: elaboración y análisis (parcela)

Las vinificaciones por parcelas se llevaron a cabo en la bodega experimental del SIV. Para las campañas 2010, 2011, 2012 y 2013, se mezclaron las uvas procedentes de las tres filas (repeticiones) marcadas por parcela, con el objeto de simplificar el control de las fermentaciones disminuyendo su número, además de conseguir elaboraciones de mayor volumen y generar vinos con los perfiles típicos de Rioja.

El proceso de vinificación de la uva de cada parcela vitícola, se describe a continuación:

A la salida de la maquina estrujadora-despalilladora (Zambelli), se mezclaron las uvas procedentes de las tres filas (repeticiones) de cada parcela en un depósito de fermentación de 100 l. Estos depósitos de polietileno de alta densidad de uso alimentario, una vez llenos, fueron colocados en la bodega experimental, para su preparación, mediante sulfitado con anhídrido sulfuroso y posterior siembra de levaduras.

La pasta de vendimia se sulfitó con una dosis de 50 mg SO<sub>2</sub>/l y transcurridos 30 minutos, como mínimo, se realizó la siembra con 25 g/hl, de levaduras *Sacharomyces cerevisiae cerevisiae* Uvaferm VRB (SIV-Lallemand) previamente hidratadas (diez veces su peso en agua mineral a 37°C, durante 20 minutos).



Figura II.22. Depósitos de fermentación en la bodega experimental.

El total de depósitos fue de 15 en 2010 y 17 en el resto de años del estudio (2011, 2012 y 2013). En todos ellos, el proceso fermentativo fue monitorizado de forma minuciosa. El seguimiento de la cinética de la fermentación alcohólica se realizó, previo bazuqueo, midiendo cada día la temperatura de fermentación en el depósito y la densidad relativa a 20°C ( $\rho_{20^{\circ}\text{C}}$ ), a partir de la lectura de un aerómetro o densímetro graduado de clase II con rango de medida entre 0,990 y 1,020 g/ml. La medida se efectuó utilizando una probeta graduada de 250 ml sobre la que se dispusieron 200 ml de la muestra a analizar, previamente homogeneizada. Posteriormente se tomó la

temperatura con un termómetro contrastado de 0-35°C, con precisión de 0,5°C, para establecer la oportuna corrección de la densidad en función de la temperatura. El cálculo de la densidad relativa a 20°C se corrige en función de la densidad o masa volumétrica aparente ( $\rho_t$ ) según la fórmula siguiente:

$$\rho_{20^{\circ}\text{C}} = \rho_t + c$$

siendo  $c$  el factor de corrección de la masa volumétrica en función de la temperatura.

Finalizada la fermentación alcohólica, se realizó el prensado con prensa hidráulica. Trasegándose el líquido a un depósito de 50 l de acero inoxidable de uso alimentario. Previo análisis de azúcares reductores para comprobar el final de la fermentación alcohólica, se realizó la siembra (1 g/hl) con bacterias lácticas *Oenococcus oeni* con Uvaferm Alpha (IFV-Lallemand). Las bacterias fueron previamente hidratadas en veinte veces su peso en agua mineral a 20°C durante 15 minutos. Finalizada la fermentación maloláctica de estos vinos, se trasegaron a botella para dar inicio a un periodo de estabilización mínimo de 15 días, antes de proceder a su análisis.

El laboratorio de Enología del S.I.V. analizó estos vinos siguiendo los métodos oficiales del Reglamento CEE, nº 2676/90, excepto si se indica otra referencia expresamente. Los parámetros determinados fueron: Grado Alcohólico Adquirido, Extracto seco, pH, Acidez total, Ácido tartárico, Potasio, Ácido L-málico, Ácido láctico, Acidez volátil, Calcio, Sulfuroso libre y total, Absorbancia 420 nm, Absorbancia 520 nm, Absorbancia 620 nm, Intensidad de color (IC), Índice de Polifenoles Totales (IPT), Tonalidad, Antocianos, y coordenadas de color CIELAB.

#### II.6.4.1.1. Grado Alcohólico Adquirido

Es el número de litros de etanol contenidos en 100 litros de vino, medidos ambos volúmenes a temperatura de 20° C. La determinación se realiza mediante destilación del vino alcalinizado con una solución de hidróxido cálcico utilizando un destilador-extractor DE2000 (TDIbérica). Posteriormente, se mide el destilado por aerometría. El resultado se expresa en porcentaje en volumen (% v/v).

#### II.6.4.1.2. Extracto seco total

El extracto seco total o materias secas totales es el conjunto de todas las sustancias que no se volatilizan en determinadas condiciones, en las cuales sufran el mínimo de alteraciones. Se calcula indirectamente a partir de la densidad del vino desalcoholizado. Se expresa en g/l.

La masa volúmica y la densidad a 20°C se calculan por aerometría. En una probeta graduada se vierten 250 ml de vino introduciendo posteriormente el termómetro y el aerómetro. Transcurrido un minuto de reposo después de agitar y retirar el termómetro, se realiza la lectura de la masa volúmica aparente a temperatura  $t$  sobre el tallo del aerómetro. Después de la corrección de la lectura respecto a la temperatura, se calcula la densidad a 20°C dividiendo la masa volúmica a 20°C por 0,998203.

#### II.6.4.1.3. Ácido láctico

Se determinó mediante un método enzimático basado en el empleo de kits comerciales (Boehringer-Manhein). Se basa en una serie de reacciones sucesivas en las que se libera u oxida una cantidad proporcional de ácido láctico presente en los vinos, y determinando su concentración midiendo la absorbancia a 340 nm en un espectrofotómetro UV-Visible PU 8625 Philips. El resultado se expresa en  $\text{g l}^{-1}$ .

#### II.6.4.1.4. Acidez volátil

Está constituida por los ácidos grasos de la serie acética libres o en forma de sales. La valoración de los ácidos volátiles, una vez separados del vino por arrastre con vapor de agua y rectificación de los vapores en un destilador-extractor DE2000 (TDIbérica), se realizó con NaOH 0,1 N en presencia de fenofaleína. El resultado se expresa en  $\text{g l}^{-1}$  de ácido acético.

#### II.6.4.1.5. Anhídrido sulfuroso

Se adiciona como antiséptico a los mostos y vinos. Puede encontrarse en forma libre, combinada y molecular, dependiendo de las condiciones de pH y temperatura. Su

determinación se realizó mediante una valoración iodométrica automatizada, con un equipo Iodo M920 (Oeno-Bio). Los resultados se expresan en mg/l.

#### II.6.4.1.6. Coordenadas CIELab

El color es uno de los parámetros de calidad más importantes de un vino tinto. En 1986, la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) adoptó el sistema CIELab como una medida objetiva del color, definiendo cada color por medio de unas coordenadas denominadas L\* (claridad), a\* (proporción rojo/verde) y b\* (componente de color amarillo/azul). Los parámetros C\* (croma o saturación) y H\* (tono) se calculan a partir de a\* y b\*, y junto con L\* definen las coordenadas de un espacio cilíndrico que contiene los tres atributos psico-físicos básicos del color (claridad, saturación y tono) (Cassasa y Sari, 2006). Las coordenadas se han obtenido con un software de color, el programa Colvin v 1.00 (Perkin-Elmer), a partir de los espectros elaborados en el rango de 380 a 780 nm, con un intervalo de 5 nm y una velocidad de barrido de 240 nm/min, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible Lambda 25 (Perkin Elmer). Los parámetros X, Y, Z y a\*, b\*, L\*, C, H\* y S\* están calculados según la norma española UNE 72-031-83 "Magnitudes colorimétricas".

#### II.6.4.2. Vinos elaborados a pequeña escala

Las vinificaciones en condiciones de laboratorio se realizaron empleando el método a pequeña escala descrito por Sampaio *et al.* (2007). En este tipo de elaboraciones, el envase de fermentación utilizado fue un bote de vidrio para uso alimentario, de 4 litros de capacidad, con tapa roscada y perforada en el centro, para la introducción de una válvula de burbujeo. A la salida de la estrujadora-despalilladora (Zambelli), se recogió la uva de cada fila (repetición) cuyo proceso de elaboración fue el siguiente.

El procedimiento empleado partió de pasta de uva, separándose la procedente de cada una de las tres filas de cada parcela. Después de mezclar, con una jarra de acero inoxidable se tomó un volumen de 3 l de pasta de vendimia y se vertió en el recipiente de vidrio de 4 l de capacidad. Con este volumen se deja un espacio libre de cabeza para las emisiones de dióxido de carbono. Durante el llenado de los tarros se ajustó la

proporción hollejo/mosto para la totalidad de los envases de fermentación. Llenado el envase (75% v) con la pasta de uva estrujada y despalillada, se sulfitó con 1 ml de meta 10% (100 g de metabisulfito potásico en 1000 ml). Después de sulfitar (30 minutos), se procedió a la siembra con levadura comercial de *Saccharomyces cerevisiae cerevisiae* VRB Uvaferm (SIV-Lallemand) 25 g/hl o 25 g/100 kg. La activación de las levaduras deshidratadas se realizó mediante la preparación de una suspensión en agua según indicaciones del producto.

Para evitar en parte, la formación y movimiento ascendente del sombrero se colocó en el interior del envase una lámina de plástico perforada. Los tarros se cerraron con una tapa roscada que presentaba un orificio para la inserción de una válvula que permite la salida de CO<sub>2</sub> al exterior. El interior de la válvula se llena parcialmente con metabisulfito al 10%. La función de la válvula es asegurar la estanqueidad para evitar la entrada de microorganismos que podrían alterar el desarrollo normal de la fermentación.

Finalizada la fase de preparación de los envases, estos llevaron a una cámara con temperatura controlada a 26° C en la cual permanecieron 14 días hasta el final de la fermentación alcohólica. Transcurrido este tiempo y previo seguimiento de la ausencia de burbujeo en la válvula, se abrieron los botes de cristal para realizar el descubado de la pasta fermentada.



Figura II.23. Cámara de fermentación con envases de 4 l.

Finalmente, se elaboraron por este método 45 vinos (15 parcelas) en el año 2010 y 51 vinos (17 parcelas) en los siguientes años (2011, 2012 y 2013) del estudio.

Los hollejos, una vez separados del vino por filtración, se sometieron a un prensado. Después de un segundo filtrado con tela de fibra sintética, se tomó muestra para la determinación de azúcares reductores. Finalmente, el volumen de vino elaborado, 2 l por tarro, se sulfitó a dosis de 1 ml/l, se embotelló y se colocó en una cámara frigorífica a 5°C, durante 7 días para su estabilización.

Transcurrido este periodo y tras un desfangado, se realizó el embotellado final y cerrado de la botella con corcho. Se almacenaron los vinos en cámara a 5°C hasta su análisis (mínimo 30 días de estabilización en frío). Normalmente, el periodo de estabilización se prolongó hasta los 60 días, y pasado este tiempo los vinos se enviaron al laboratorio de la Estación Enológica de Haro para su caracterización composicional.

Los parámetros determinados fueron los siguientes: Grado Alcohólico Adquirido (% alcohol v/v), pH, Densidad relativa, Extracto seco, Acidez total, Ácido tartárico, Ácido L-málico, Ácido láctico, Ácido cítrico, Potasio, Acidez volátil, Sulfuroso libre y total, Intensidad de color (IC), Tonalidad, coordenadas de color CIELAB, Antocianos, Índice de Polifenoles Totales (IPT), Taninos, Absorbancia 420 nm, Absorbancia 520 nm, Absorbancia 620 nm, Calcio, y Nitrógeno Fácilmente Asimilable (NFA).

Los análisis se realizaron siguiendo los “Métodos de Análisis Comunitarios en el Sector del Vino” (Reglamento CEE, nº 2676/90), ya descritos en los apartados de análisis de mostos y de vinos. Para las determinaciones que se especifican a continuación se aplicaron otras metodologías algunas de ellas incluidas en el Reglamento CE, nº 355/2005.

#### II.6.4.2.1. Masa volúmica y densidad a 20°C

La densidad absoluta del vino (Reglamento CE, nº 355/2005) se mide por densimetría electrónica mediante un resonador de flexión. El principio consiste en medir el período de oscilación de un tubo que contenga una muestra sometida a una excitación

electromagnética. Entonces, se calcula la densidad absoluta, que se relaciona con el período de oscilación. El resultado se expresa en g/ml.

El extracto seco se obtiene por cálculo densimétrico. El resultado se expresa en g/l.

#### II.6.4.2.2. Grado alcohólico adquirido

Se determinó por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) según el Reglamento CEE 355/2005. La primera fase del método consiste en destilar el vino de volumen a volumen. Esta destilación permite eliminar las sustancias no volátiles. El etanol, sus homólogos y los ésteres de ambos están comprendidos en el grado alcohólico, puesto que se encuentran en el destilado. En una segunda etapa se mide la densidad absoluta del destilado obtenido. La densidad absoluta de un líquido a una temperatura determinada es igual al cociente de su masa por su volumen. En el caso de una solución hidroalcohólica como un destilado, si se conoce la temperatura, unas tablas permiten hallar la equivalencia entre densidad absoluta y grado alcohólico. Éste corresponde al del vino (destilación de volumen a volumen). En el presente método, la densidad absoluta del destilado se mide en el infrarrojo cercano. El grado alcohólico adquirido se expresa en % v/v.

Los parámetros analíticos como, acidez total, ácidos orgánicos, acidez volátil, sulfuroso libre y sulfuroso total se cuantificaron mediante espectroscopía infrarroja, utilizando un autoanalizador multiparamétrico Wine Scan FT120 (Foss).

#### II.6.5. DETERMINACIÓN DE AROMAS EN VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL

Se han caracterizado los compuestos aromáticos de los vinos de la bodega experimental, mediante un método que permitió identificar y cuantificar, al mismo tiempo, componentes volátiles mayoritarios y minoritarios, es decir: acetaldehído, alcoholes superiores (1-propanol, isobutanol y alcoholes amílicos), 2-fenil etanol, acetato de etilo, hexanol, ésteres de ácidos grasos, lactato de etilo, succinato de dietilo, propionato de etilo, etil 3-hidroxibutirato, isobutirato de etilo y butirato de etilo, ácidos

isobutírico, butírico e isovalérico, compuestos carbonílicos acetoina y diacetilo y finalmente lactonas como la butirolactona.

La técnica empleada ha sido una adaptación (López, 2009) al método rápido propuesto por Ortega *et al* (2001). El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases HP6890 serie II (Hewlet Pakard) equipado con un detector FID. Cada compuesto se cuantificó respecto al patrón interno con el cual obtuvo mejor factor de respuesta.

## **II.7. COMPONENTES DE VIGOR Y DEL RENDIMIENTO**

### **II.7.1. PRODUCCIÓN UNITARIA (kg uva/ cepa)**

Se determinó por fila o repetición de cada parcela, para ello, se seleccionaron entre 10 y 15 cepas representativas, ya que dependiendo del año fue necesario variar este número para obtener una cantidad suficiente de uva. Al mismo tiempo que se procedía al corte de racimos se realizaba su conteo por cepa. Los racimos recolectados se depositaron en cajas de vendimia convenientemente identificadas por parcela y repetición. Estas se pesaron en bodega utilizando una báscula digital con una precisión de 100 g. Finalmente, se calculó el peso de uva por cepa, expresado en  $\text{kg cepa}^{-1}$ .

### **II.7.2. PESO MEDIO DEL RACIMO**

Con la producción total de uva de las 10-15 cepas vendimiadas por repetición y el número total de racimos producidos por cada una de estas cepas, se calculó el peso medio de cada racimo, a partir de la relación entre ambos valores. El resultado se expresó en gramos.

### **II.7.3. PESO MEDIO DE 100 BAYAS**

Se determinó previamente a la vendimia, mediante el muestreo aleatorio de 600 bayas por repetición. Dichas bayas se pesaron empleando una balanza de 0,01 g de precisión. Se expresó el resultado en gramos por 100 bayas.

#### II.7.4. PESO DE MADERA DE PODAY P. UNITARIO DEL SARMIENTO

Una vez seleccionadas entre 8 y 10 cepas por repetición y previamente a la poda, se procedió al recuento de pulgares, del nº de sarmientos y del nº de esperguras por planta. Realizadas las labores de poda, se recogió el material y se pesó utilizando una balanza electrónica portátil OCS2 (Token). Esta operación permitió calcular el peso de la madera exportada en la poda. El peso de madera por cepa se obtuvo, dividiendo el peso total de la madera obtenida de las cepas podadas por repetición entre el número de cepas. Se expresó en kg de madera cepa<sup>-1</sup>.

El peso medio del sarmiento se calculó como la relación entre el peso de madera de poda por repetición y el número de sarmientos. El peso unitario del sarmiento se dió en gramos.

#### II.7.5 INDICE DE RAVAZ

El índice de Ravaz, calculado como el cociente entre la producción de uva por cepa (kg uva cepa<sup>-1</sup>) y el peso de madera de poda por cepa (kg madera cepa<sup>-1</sup>), constituye un índice que ayuda a valorar el equilibrio entre la producción y el desarrollo vegetativo.



Figura II.24. Parcela en labores de poda.

## II.8. VALORACIÓN ORGANOLÉCTICA DE LOS VINOS: CATA

El objetivo inicial de la cata fue poder diferenciar con los sentidos en un panel de cata los vinos procedentes de diferentes áreas de cultivo. Sin embargo, al redefinir nuevos objetivos se ha tenido en cuenta cual es o cuales son los subgrupos mayoritarios de suelos dentro de cada área vitícola.

Análisis de la cata de vinos de *Vitis vinífera* L. cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos para las añadas del 2010, 2011, 2012 y 2013.

Las catas se diseñaron para el análisis organoléptico de 10 vinos en total ciclo anual, 5 de vinificación a pequeña escala y 5 vinos elaborados en la bodega experimental. Estos se obtuvieron mediante diferentes mezclas según su procedencia, empleando inicialmente como posibles los 51 vinos a escala de laboratorio, por una parte, y por otra, los 17 vinos de la bodega experimental elaborados en cada campaña.

El criterio que se estableció para entrar a formar parte de uno de los vinos, es su localización en un área vitícola o forma de relieve, como factor de peso en la génesis de los suelos vitícolas. Sin embargo, los resultados de las catas tratados estadísticamente se presentan con relación al subgrupo o subgrupos de suelos que se describe en cada zona vitícola.

Los vinos elaborados en cada campaña, previa comprobación mediante precata que no presentaban defectos, siendo retirados en este caso, se mezclaron para dar lugar a un único vino a catar por área vitícola, Es decir, se obtuvieron cinco vinos experimentales y cinco vinos elaborados a escala de laboratorio de cada añada, que estaban formados por vinos procedentes de diferentes parcelas y tipos de suelos.

Tabla II.8. Relación entre los vinos presentados en la cata y los subgrupos de suelos de cultivo.

Vinos de cata	Subgrupo principal	Subgrupo segundo	Subgrupo tercero
1	HC (3/4)	CT (1/4)	
2	HF (2/3)	CT (1/3)	
3	PC (1/2)	CTC (1/4)	CT (1/4)
4	PO (1)		
5	PA (2/3)	CTC (1/3)	

Estos vinos, estabilizados en frío durante varios meses, fueron preparados para una cata a ciegas y se presentaron a los catadores en orden aleatorio para su valoración comparativa.

El análisis organoléptico de los vinos fue realizado por un panel de catadores, entre 8 y 10 según años, formado por investigadores y técnicos experimentados pertenecientes al ICVV y a la bodega colaboradora. En la cata, se empleó una ficha adaptada de la ficha oficial de cata propuesta por el Instituto Nacional de Denominaciones de Origen (I.N.D.O). En esta nueva ficha se evalúan las fases visual, olfativa y gustativa del vino, así como su armonía o equilibrio y el nivel de preferencia de los vinos por parte de los catadores, con puntuaciones crecientes al aumentar la percepción sensitiva (Figura II.26).



Figura II.25 Botellas de vino preparadas para la cata.



### FICHA DE CATA VINOS 2013

PROYECTO: **URUÑUELA-SUELOS-VINO**

FECHA: **8-MAYO-2014**

BLOQUE:

CATADOR:

VINO CÓDIGO:	MUY BIEN				BIEN					REGULAR							DEFECTUOSO				
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	3
FASE VISUAL																					
FASE OLFATIVA																					
FASE GUSTATIVA																					
EQUILIBRIO																					

OBSERVACIONES:

VINO CÓDIGO:	MUY BIEN				BIEN					REGULAR							DEFECTUOSO				
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	3
FASE VISUAL																					
FASE OLFATIVA																					
FASE GUSTATIVA																					
EQUILIBRIO																					

OBSERVACIONES:

VINO CÓDIGO:	MUY BIEN				BIEN					REGULAR							DEFECTUOSO				
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	3
FASE VISUAL																					
FASE OLFATIVA																					
FASE GUSTATIVA																					
EQUILIBRIO																					

OBSERVACIONES:

VINO CÓDIGO:	MUY BIEN				BIEN					REGULAR							DEFECTUOSO				
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	3
FASE VISUAL																					
FASE OLFATIVA																					
FASE GUSTATIVA																					
EQUILIBRIO																					

OBSERVACIONES:

VINO CÓDIGO:	MUY BIEN				BIEN					REGULAR							DEFECTUOSO				
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	3
FASE VISUAL																					
FASE OLFATIVA																					
FASE GUSTATIVA																					
EQUILIBRIO																					

OBSERVACIONES:

**SU ORDEN DE PREFERENCIA:** \_\_\_\_\_

Figura II.26. Ficha de cata empleada en la valoración organoléptica de los vinos.



## **CAPITULO III**

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



### **III.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Los parámetros climáticos varían espacialmente (variaciones climáticas regionales) y en el tiempo (efecto añada). La selección de parcelas ha sido realizada de tal forma que delimitando un paisaje vitícola con diversidad de suelos, las distancias entre ellas se encuentran en un intervalo que varía entre unas decenas de metros a algo más de un kilómetro. Las condiciones climáticas se han considerado homogéneas para todas ellas en un ciclo anual dado. Además de su proximidad, presentan las mismas características topográficas con relación a orientación y pendiente, variando ligeramente su altitud.

Por lo tanto, se parte de un conjunto diverso de tipos de suelos que se encuentran bajo la influencia de las mismas condiciones mesoclimáticas. Este diseño experimental que incluye el estudio de los factores ambientales, clima y suelo, es similar al empleado por otros autores (Choné *et al.*, 2001; Tregoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004; Coipel *et al.*, 2006; Ubalde *et al.*, 2007, 2010; Zamboni *et al.*, 2008; De Andrés-de Prado *et al.*, 2010).

El macroclima de la zona de estudio se considera Mediterráneo continental, con ligeras influencias oceánicas.

Según la clasificación climática de Köppen (Köppen y Geiger, 1930), la D.O.Ca. Rioja se etiqueta climáticamente como Csb, es decir, clima templado con verano seco y temperaturas suaves (media del mes más cálido inferior a 22° C), y constituyendo una transición entre Csa, de verano seco y cálido (mediterráneo) hacia el este de la D.O.Ca. Rioja y Cfb (oceánico) hacia el noroeste de dicha denominación.

#### **III.1.1. ESTUDIO DEL RÉGIMEN TERMOMÉTRICO**

Se representan las temperaturas medias, media de las máximas y media de las mínimas mensuales con los datos de las estaciones de AEMET-Cenicero y SIAR-Uruñuela.

Se observa que el régimen termométrico anual, tanto en las series climáticas como en el periodo 2010-2013, ha sido bastante similar. Únicamente se detectaron variaciones durante el periodo primaveral, en los meses de abril, mayo y junio. Se puede considerar uniforme para todas las añadas el periodo comprendido para los meses de julio, agosto y septiembre.

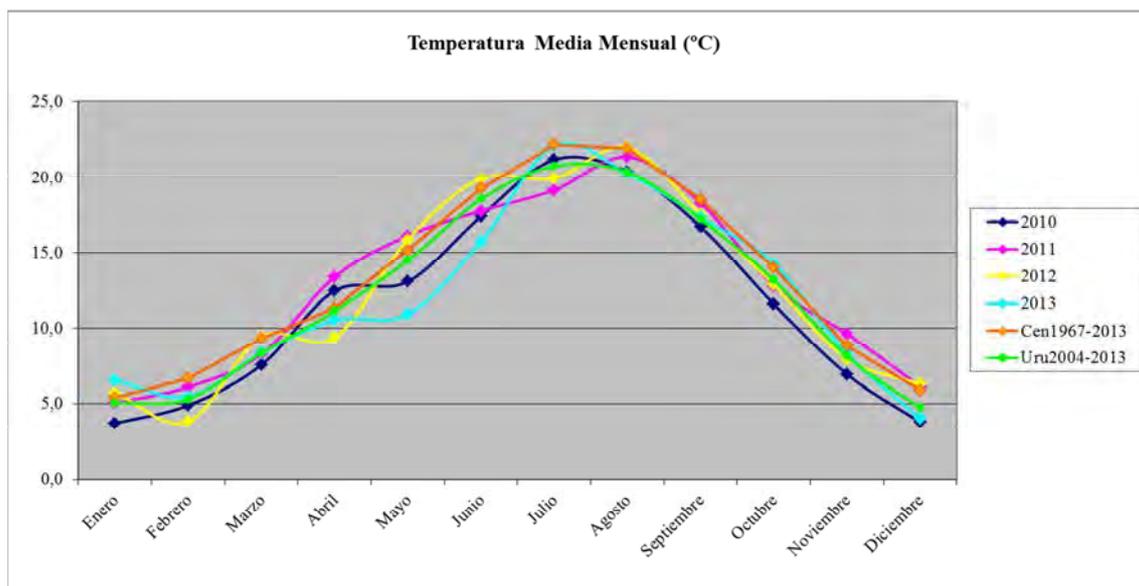


Figura III.1. Temperaturas medias mensuales (° C) en la zona de estudio.

En el mes de abril del año 2012, al inicio del ciclo, destacó la baja temperatura media (9,3°C). Sin embargo, fue el más térmico en los meses de mayo y junio (15,9° y 19,9°C). En esta parte inicial del ciclo, el año 2013 fue con diferencia el más frío, especialmente en mayo y junio (10,9° y 15,7°). Para el año 2010 se obtuvieron registros intermedios en los meses primaverales de abril, mayo y junio (12,4°, 13,0° y 17,4°).

Respecto a las temperatura media de mínimas, los años 2013 y 2010 presentaron una primavera con las mínimas más bajas, especialmente en el mes de mayo (6,1° y 7,2°C), con respecto a 2012 (9,0°) y 2011 (9,7°). El comportamiento térmico en junio fue similar, pero la magnitud de las diferencias fue menor (9,9° en 2013; 11,4° en 2010; 11,6° en 2011 y 12,3° en 2012). En la fase de maduración destacaron los años 2011 y 2010 por sus mínimas en el mes de octubre durante la vendimia, 5,0° y 5,8° C respectivamente.

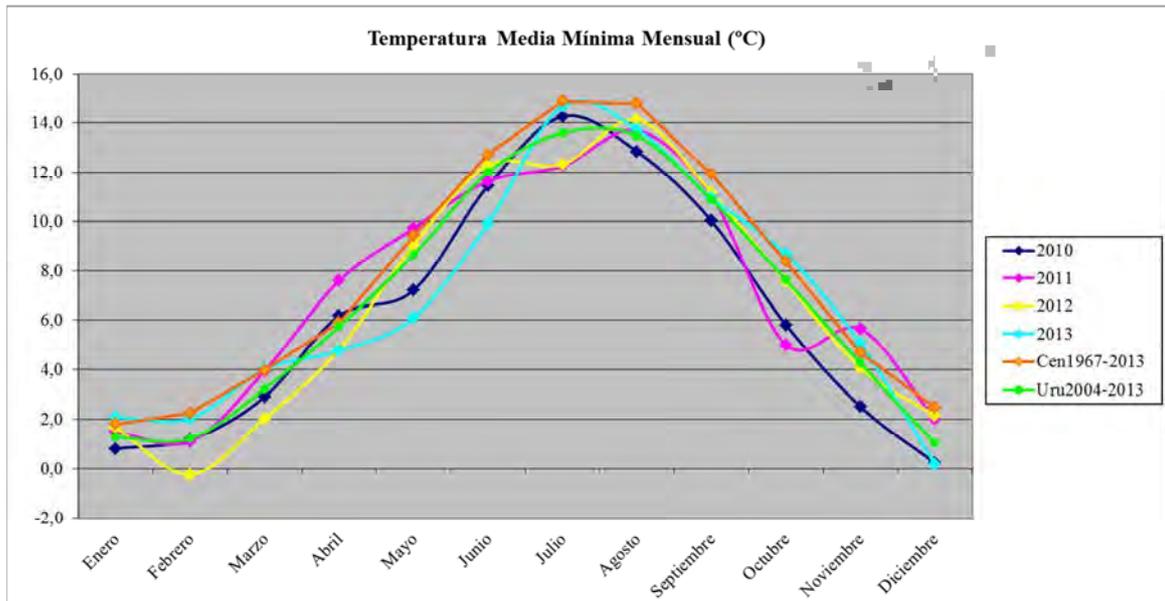


Figura III.2. Temperaturas medias de mínimas mensuales (° C) en la zona de estudio.

Con relación a las temperaturas medias de máximas, se observó un patrón muy similar respecto a las temperaturas medias mensuales, es decir, para los meses de abril, mayo y junio. Los años climáticos del 2010 y 2013 presentaron valores menores en las máximas de los meses de mayo ( $19,0^{\circ}$  y  $16,4^{\circ}$  C respectivamente) y junio ( $24,0^{\circ}$  y  $22,10^{\circ}$ C). El año 2012, presentó la menor temperatura máxima en abril ( $14,7^{\circ}$  C) y las temperaturas más elevados para los meses de mayo y junio ( $23,3^{\circ}$  y  $28,5^{\circ}$  C).

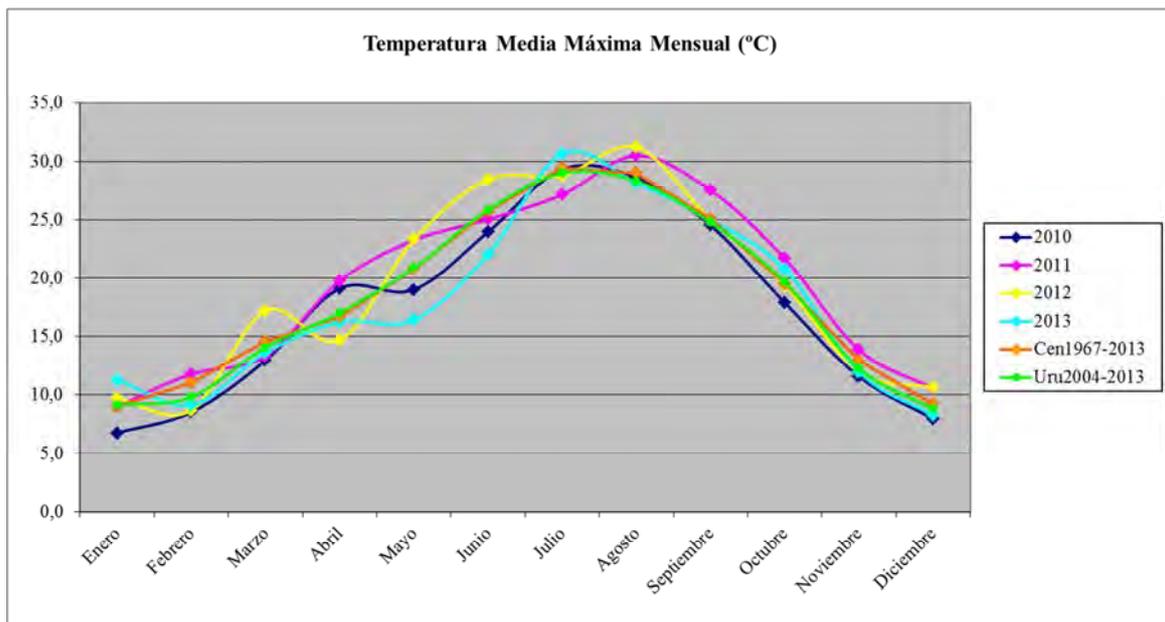


Figura III.3. Temperaturas medias de máximas mensuales (° C) en la zona de estudio.

En general, no se observaron diferencias importantes en el régimen de temperaturas entre los años 2010, 2011, 2012 y 2013. Todos ellos se comportan siguiendo un patrón que coincide con las series termométricas más largas, como la registrada en la estación de Uruñuela o la de Cenicero. Únicamente se han detectado variaciones apreciables en los primeros meses del ciclo (abril, mayo y junio) vegetativo de la vid, durante el periodo de crecimiento, en concreto para los años 2010 y 2013, que presentaron temperaturas medias, media de mínimas y temperaturas media de máximas más bajas en mayo.

### III.1.2. ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES Y SU DISTRIBUCIÓN

El régimen de precipitaciones (Figura III.4), a diferencia de lo que ocurre con el régimen termométrico, presenta grandes variaciones a lo largo del ciclo vegetativo de la vid (abril-octubre) en la zona de estudio, dentro del año y entre años.

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año, así como la magnitud de las mismas fueron muy dispares para los cuatro años en los que se desarrolló el estudio. Diferencias que acontecieron fundamentalmente en los meses de primavera, abril, mayo y junio. Respecto al año, se podría calificar el 2013 como muy lluvioso (677,6 mm) doblando prácticamente las precipitaciones de los años 2010 (383,6 mm) y 2011 (345,4 mm) que pueden calificarse como secos.

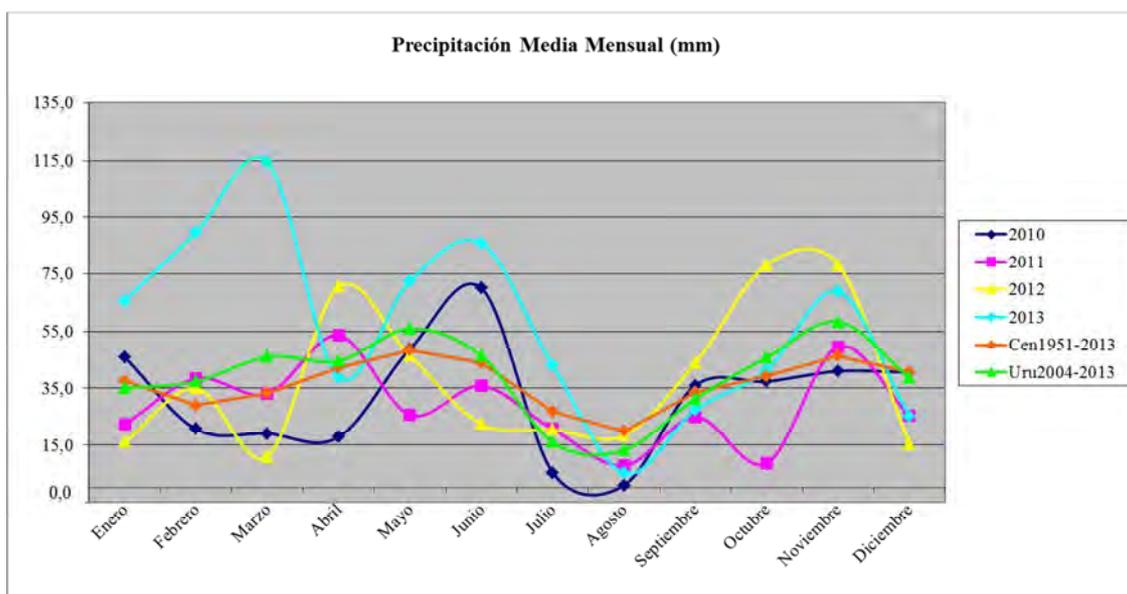


Figura III.4. Precipitaciones medias mensuales (mm) en la zona de estudio.

El año 2012 se recogió un volumen de precipitaciones intermedio (455,8 mm), más acorde con las medias de precipitación procedentes de los observatorios de Cenicero (440,8 mm) y Uruñuela (468,9 mm). El año 2013 presentó dos grandes eventos de precipitación, uno en invierno (269,6 mm) y otro en primavera (197,0 mm). En año 2012, se sucedieron dos eventos relevantes, uno al inicio de la primavera (139,4 mm) y otro en otoño (156,4 mm). Finalmente, en el año 2010 tuvo lugar una precipitación importante en primavera (118,8 mm).

Por otra parte, todos los años tienen en común un verano por lo general seco o muy seco. En los meses de julio y agosto tuvo lugar el mínimo pluviométrico, donde destacó el año 2010 con 6,4 mm.

### III.1.3. RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

La radiación solar incidente anual fue bastante similar en los años 2011 (5261,7 MJ/m<sup>2</sup>) y 2012 (5283,7 MJ/m<sup>2</sup>), algo menor en el 2010 (5089,3 MJ/m<sup>2</sup>), y descendió de forma significativa en el año 2013 (4909,3 MJ/m<sup>2</sup>).

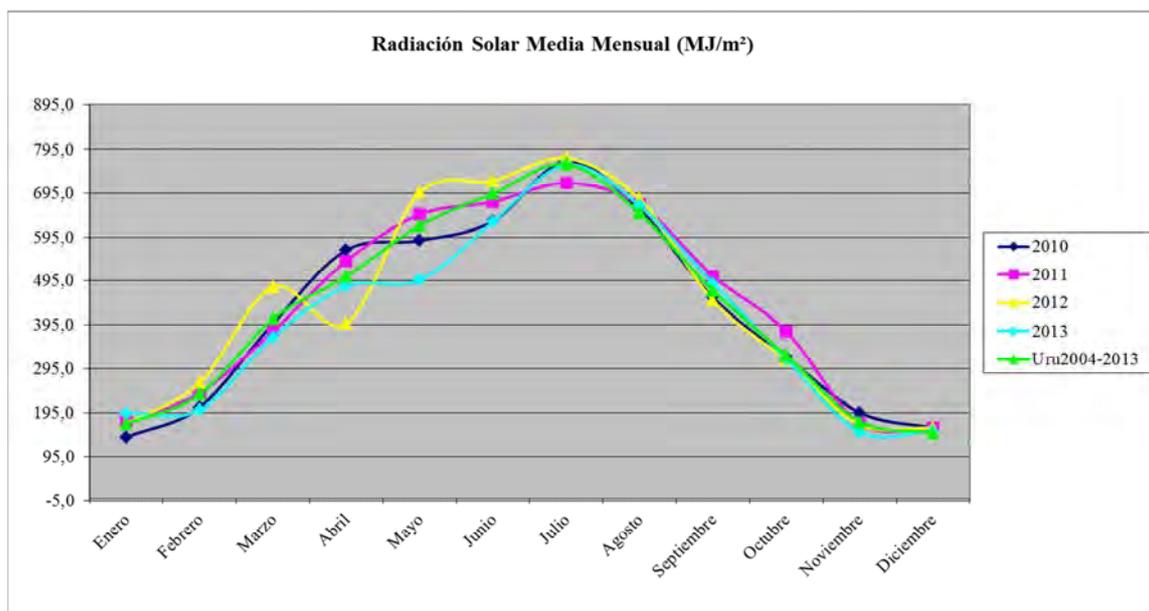


Figura III.5. Radiación solar ( $R_g$ ) mensual (MJ/m<sup>2</sup>) en la zona de estudio.

En relación a la insolación anual representada en la Figura III.5, se observan fuertes variaciones en los meses de abril, mayo y junio, mientras que el resto del año, es

decir, de enero a marzo y de julio a diciembre, las medidas de radiación son bastante uniformes y coincidentes entre los años del mencionado periodo. Las añadas del 2010 y 2011 fueron los que más se acercaron a la media proporcionada por la estación de referencia (Uruñuela, 2004-2013). En el año 2012, hubo un valor mínimo en el mes de abril (397,8 MJ/m<sup>2</sup>) y un máximo en mayo (696,3 MJ/m<sup>2</sup>), y en el año 2013 sucedió un mínimo en el mes de mayo (496,8 MJ/m<sup>2</sup>).

En lo que se refiere a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), los valores fueron por lo general muy parecidos los tres primeros años de estudio, 2010 (946,1 mm), 2011 (976,5 mm), 2012 (998,2 mm), observándose un descenso considerable en el año 2013 (880,0 mm).

Las ET<sub>o</sub> mensuales a lo largo del ciclo, representadas en la Figura III.6, se comportaron de forma similar al patrón descrito en el caso de la radiación solar incidente, es decir, valores similares en los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo para los diferentes años. Los años 2010 y 2011 proporcionaron valores de ET<sub>o</sub> próximos a la media proporcionada por la estación de referencia (Uruñuela, 2004-2013). En el año 2012, se registró un valor mínimo en el mes de abril (71,3 mm) y un máximo en mayo (131,3 mm), y para el año 2013 sucedió un mínimo en el mes de mayo (83,7 mm).

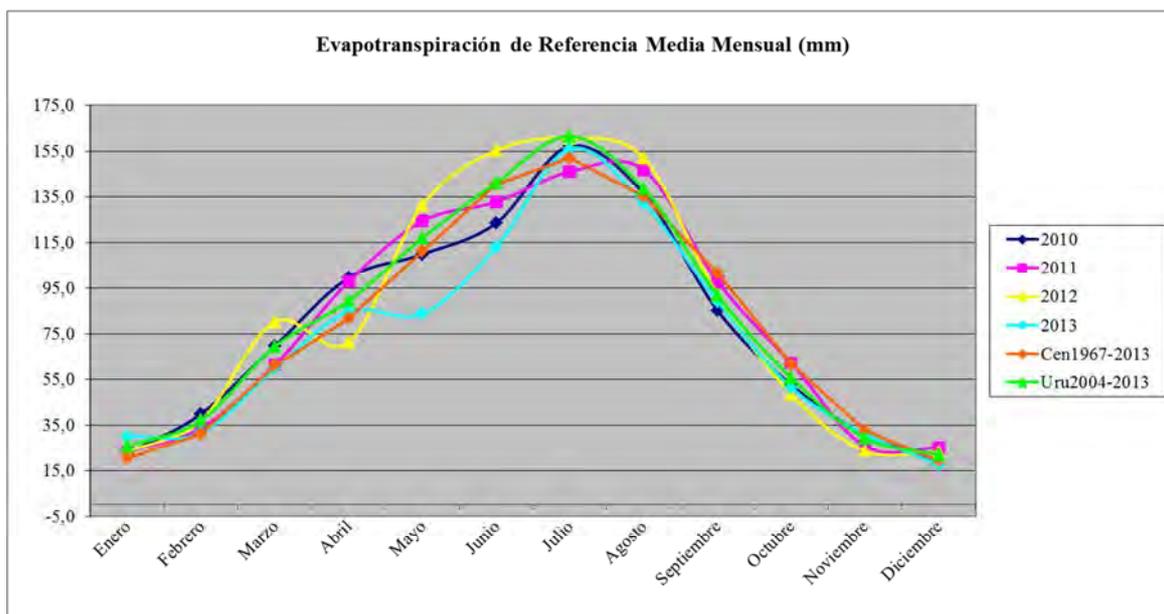


Figura III.6. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mensual en la zona de estudio.

### III.1.4 ELEMENTOS CLIMÁTICOS DEL ESTUDIO

A partir de la caracterización mesoclimática del área de estudio, se consideraron como elementos climáticos más importantes, tanto los que tienen un peso específico elevado como aquellos que experimentaron grandes variaciones a lo largo del periodo estudiado, en un ciclo anual o bien de forma interanual. Los elementos elegidos como relevantes del clima en el agroecosistema vitícola (Dumas et al., 1997; Gladstones, 1999, 2000; Smart, 2001; Jones *et al.*, 2004; van Leeuwen *et al.*, 2007; Gladstones, 2011) en este ámbito, han sido: temperatura media anual ( $T^a$  m), precipitación media anual (Pr\_m), precipitación enero-mayo (Pr\_ene-may), precipitación abril-octubre (Pr\_abr-oct), precipitación septiembre-octubre (Pr\_sept-oct), radiación solar anual (R solar) y evapotranspiración de referencia (ETo).

Los valores de estos elementos climáticos seleccionados serán utilizados para obtener interpretaciones y correlaciones respecto a las variaciones cuantificadas en los niveles nutricionales de hojas, en parámetros físico-químicos de mostos y vinos, así como en los valores de producción y vigor en los diferentes años del estudio.

Respecto a los elementos climáticos, las añadas se calificaron de la siguiente forma: el año 2010 como seco y fresco, el 2011 como seco y cálido, el 2012 como normal respecto a la precipitación y cálido, y el 2013 como lluvioso y fresco.

Tabla III.1. Elementos climáticos relevantes en el área de estudio en el periodo 2009-2013.

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>T<sup>a</sup> m (°C)</b>	12,6	11,6	12,8	12,5	12,0
<b>Pr_m (mm)</b>	409,4	383,6	345,4	455,8	677,6
<b>Pr_ene-may (mm)</b>	156,6	152,2	172,8	179,0	380,8
<b>Pr_abr-oct (mm)</b>	166,8	209,4	176,8	300,4	314,0
<b>P_sept-oct (mm)</b>	61,2	73,4	33,4	122,2	68,8
<b>R solar (MJ.m<sup>-2</sup>)</b>	5415	5089	5262	5284	4909
<b>ETo (mm)</b>	1000	945	977	998	880

Calificación de añadas DOCa Rioja: excelente 2010 y 2011, muy buena en 2012 y buena en 2013

Asimismo, se han incluido los principales elementos climáticos del año 2009, que precede al inicio del estudio. Esto podría aportar información de cara a la interpretar la añada de 2010, ya que es conocida su influencia sobre la carga de yemas, las reservas acumuladas en el periodo invernal...(Hidalgo, 1999; Reynier, 2005). Asimismo, se han incluido las calificaciones otorgadas por el Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja a las cuatro añadas del estudio, como información adicional.

### III.1.5. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA MULTICRITERIO (CCM)

El clima, desde un punto de vista vitícola, es templado (IH<sub>3</sub>), con noches muy frescas (IF<sub>4</sub>), y moderadamente seco (IS<sub>1</sub>), según los valores de los índices de la CCM (Tonietto y Carbonneau, 2004) aplicados a la zona de estudio, utilizando la serie completa de la estación de Uruñuela.

Según el valor del IH, 2010 y 2013 fueron años templados, mientras que 2011 y 2012 se comportaron como templados cálidos.

Con relación a los valores del IF, que representan la temperatura media de mínima del mes de septiembre, el clima es de noches muy frescas para el periodo 2010-2013.

Finalmente, la clase de clima definida por el valor del IS, es de sequía moderada para el periodo 2010-2012. Sin embargo, el año 2013 presentó un clima subhúmedo.

Tabla III.2. Índices de la Clasificación Climática Multicriterio (Tonietto y Carbonneau, 2004).

	2010	2011	2012	2013
<b>Indice Heliotérmico de Huglin (IH)</b>	1971	2192	2145	1818
<b>Indice de Frescor nocturno (IF)</b>	10,2	11,0	11,2	11,0
<b>Indice de Sequía (IS)</b>	8,6	-23,8	-6,8	82,5

### III.1.6. EL CLIMA DEL SUELO: HUMEDAD Y TEMPERATURA

El régimen de humedad de los suelos del estudio es Xérico. Este régimen es el típico en los suelos de clima mediterráneo, donde los inviernos son fríos y húmedos, y los veranos cálidos y secos. El régimen de humedad fue establecido para clasificar los suelos en el rango taxonómico de suborden en la taxonomía americana de suelos (SSS, 2003; Porta *et al.*, 2003; SSS, 2006). En este estudio para los órdenes seleccionados, los correspondieron 3 subórdenes: Xeralfs del orden Alfisoles, Xerepts de los Inceptisoles y Xerolls para el orden Mollisoles.

El régimen de temperatura del suelo es Métrico, en el cual la temperatura anual del suelo es igual o mayor a 8°C pero menor de 15°C, y la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano y en invierno es mayor de 5°C. Los regímenes de temperatura del suelo se utilizan para definir las categorías más bajas (familias y series) de la clasificación (SSS, 2003; Porta *et al.*, 2003; SSS, 2006).

### III.1.7. FENOLOGÍA DE TEMPRANILLO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El desarrollo de la vid puede ser descrito por la sucesión de estados fenológicos debido al efecto del clima (Jones y Davis, 2000). El seguimiento fenológico se ha llevado a cabo para conocer la duración de las fases de crecimiento y de maduración, así como para verificar la sincronía en el tiempo en la totalidad de la masa vegetal estudiada y muestreada. Ha sido necesario comprobar cierta homogeneidad cronológica en los estados fenológicos para apoyar una de las premisas de partida, como era la existencia de las mismas condiciones mesoclimáticas y topoclimáticas.

El objeto era constatar que el mesoclima no producía diferencias apreciables en la fenología respecto a la distancia entre parcelas o por diferencia de cota entre las mismas.

En primer lugar, se solicitó el estudio histórico de estados fenológicos por áreas, a los servicios técnicos de la bodega colaboradora. Del estudio de la información global sobre las fechas medias en que se observan los diferentes estados fenológicos de la vid, se desprende que los principales estados fenológicos en diferentes ciclos anuales, no

muestran diferencias superiores a los diez días entre la totalidad de parcelas vitícolas del estudio.

Además, a nivel de campo se relizaron observaciones sobre las diferentes fases fenológicas en varias parcelas vitícolas durante el 2013, que figuran en la Tabla III.3. En dicho año, la brotación tuvo lugar con una diferencia de 4-5 días entre los subgrupos de suelos, y la recolección de la uva en la totalidad de las parcelas se realizó en intervalo de 10 días. Las más tempranas son las vides del subgrupo HC, y la vendimia finaliza en las parcelas del subgrupo HF.

Es posible afirmar que existen escasas diferencias a nivel de parcela con relación a la sucesión cronológica (valores medios) de los principales estados fenológicos de la vid en las diferentes parcelas del estudio. Por lo tanto, se confirma la no existencia de diferencias mesoclimáticas entre las parcelas, y además añadir que el tipo de suelo tiene una influencia ligera en la fenología de la vid. Esto explicaría que las fechas de vendimia, aunque varían según añadas, para un ciclo dado se realizan de forma simultánea (van Leeuwen *et al.*, 2004). El tipo de suelo, y en particular, la temperatura del suelo ha sido catalogado como el factor intra-regional que más afecta a la fenología de las vides (Barbeau *et al.*, 1998; Tesic *et al.*, 2001).

Tabla III.3. Estados fenológicos (fecha y días desde el inicio del ciclo) de *Vitis vinífera* L. cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos de cultivo (2013).

Código* subgrupo	Brotación	Plena floración	Cuajado	Inicio envero	Pleno envero	Vendimia
<b>CT</b>	12/4 (1)	30/6 (80)	22/7 (102)	13/8 (124)	28/8 (139)	15/10 (187)
<b>HC</b>	11/4 (1)	28/6 (79)	17/7 (98)	10/8 (122)	22/8 (134)	10/10 (184)
<b>HF</b>	12/4 (1)	30/6 (80)	22/7 (102)	13/8 (124)	30/8 (141)	18/10 (190)
<b>CTC</b>	13/4 (1)	28/6 (77)	17/7 (96)	14/8 (124)	22/8 (132)	10/10 (181)
<b>PC</b>	14/4 (1)	28/6 (76)	17/7 (95)	10/8 (119)	22/8 (131)	8/10 (179)
<b>PO</b>	12/4 (1)	30/6 (80)	17/7 (97)	13/8 (124)	27/8 (138)	10/10 (182)
<b>PA</b>	15/4 (1)	30/6 (77)	17/7 (94)	14/8 (122)	28/8 (136)	8/10 (178)

\* CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

## III.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS VITÍCOLAS

Antes de iniciar el estudio detallado de los suelos, es preciso observar que los elementos climáticos temperatura, insolación y especialmente la precipitación, presentan una gran variabilidad interanual. Respecto a los suelos, con la selección de 17 parcelas vitícolas, con 3 órdenes de suelos y 7 subgrupos, se ha pretendido disponer de una amplia abanico de parámetros edáficos.

### III.2.1. SUBGRUPOS DE SUELOS: CLASIFICACIÓN

El estudio y clasificación de los suelos se realizó a partir de cada una de las calicatas practicadas en la parcela, una en cada calle dentro del marco formado por 3 filas contiguas de 50 vides.

El análisis de la información recogida en campo, junto con la interpretación de los parámetros físico-químicos, permitió la clasificación taxonómica (SSS, 2006) definitiva de los 34 perfiles estudiados.

En la totalidad de las parcelas, la clasificación final de ambos perfiles resultó similar, detectándose muy ligeras variaciones en el espesor de los horizontes, así como en los valores de algunos parámetros edáficos, especialmente en los porcentajes de las fracciones texturales, C.I.C., contenidos en carbonatos totales o caliza activa, entre otros.

En la Tabla III.5 figura la clasificación de los perfiles a nivel taxonómico de familia (SSS, 2006). Una categoría taxonómica básica de suelos, que ofrece una información detallada para diferenciar los suelos de cada parcela, pero que resultó de una enorme complejidad en el análisis estadístico. Por tanto, se buscó una categoría de rango superior, que englobase las diferentes familias de suelos, eligiéndose el nivel de subgrupo (SSS, 2006) para la clasificación definitiva de los suelos.

Este nuevo rango taxonómica agrupa suelos con idénticos horizontes de diagnóstico, que únicamente difieren dentro de un intervalo en su fase textural, como en el caso del subgrupo CTC y su contenido en gravas. Los 34 perfiles de suelos estudiados

en las 17 parcelas quedaron finalmente agrupados en siete subgrupos de suelos, siguiendo la taxonomía americana, tal como figura en la Tabla III.4

Tabla III.4. Ordenes y subgrupos de suelos clasificados (SSS, 2006).

<b>Orden</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Código subgrupo</b>
Inceptisol	Calcixerepts típico	<b>CT</b>
Alfisol	Haploxeralfs cálcico	<b>HC</b>
Inceptisol	Haploxerepts fluvéntico	<b>HF</b>
Inceptisol	Calcixerepts típico (fase carbonática)	<b>CTC</b>
Alfisol	Palexeralfs cálcico	<b>PC</b>
Mollisol	Palexerolls petrocálcico	<b>PO</b>
Alfisol	Palexeralfs petrocálcico	<b>PA</b>

De los siete subgrupos, tres pertenecían al orden Inceptisoles: Calcixerepts típico (CT), Haploxerepts fluvéntico (HF), y Calcixerepts típico con fase reactiva-mineralógica Carbonática (CTC). Otros tres subgrupos se incluyeron en el orden Alfisoles: Haploxeralfs cálcico (HC), Palexeralfs cálcico (PC) y Palexeralfs petrocálcico (PA). Finalmente, un único subgrupo Palexerolls petrocálcico (PO) se incluyó en el orden Mollisoles.

De los siete subgrupos, cuatro subgrupos de suelos (HF, CTC, PC y PA) se distribuyen y estudian en dos parcelas vitícolas, mientras que hay tres subgrupos (CT, HC y PO) caracterizados en tres parcelas cada uno.

Con relación al relieve, hay subgrupos que se distribuyen sobre una clase de geoforma: HC en la terraza II, HF en un abanico aluvial, PC en la terraza III, PO en la terraza IV y PA en el glacis IV. Sin embargo, CT se identifica en tres formas de relieve: abanico aluvial, terraza II y terraza III. Por último, CTC se ha descrito en dos áreas diferentes de relieve: terraza III y glacis IV.

Los horizontes genéticos descritos fueron los siguiente. El Ap para los horizontes superficiales sometidos a actividades culturales. Los cuales se describieron en la totalidad de calicatas. Respecto a los horizontes diagnóstico (SSS, 2006) en superficie, se han clasificado todos ellos como ócricos excepto los epipedones del

subgrupo PO que cumplieran los requisitos de para ser móllicos. Con relación a los endopediones, se han descrito horizontes cámbicos en el subgrupo HF, cálcicos en los subgrupos CT, CTC y PC, argílicos en los HC, PC y PA y por último, petrocálcicos en el subgrupo PO.

Tabla III.5. Clasificación de suelos a nivel de familia y de subgrupo (SSS, 2006).

<b>Código parcela</b>	<b>Familia: Subgrupo, fase textural, reactiva-mineralógica, de temperatura</b>	<b>Código subgrupo</b>
11	Calcixerepts típico, franca fina, mezclada, mésica	<b>CT</b>
23	Calcixerepts típico, franca fina, mezclada, mésica	<b>CT</b>
32	Calcixerepts típico, franca fina, mezclada, mésica	<b>CT</b>
13	Haploxeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica	<b>HC</b>
14	Haploxeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica	<b>HC</b>
15	Haploxeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica	<b>HC</b>
21	Haploxerepts fluvéntico, franca fina, mezclada, mésica	<b>HF</b>
22	Haploxerepts fluvéntico, franca fina, mezclada, mésica	<b>HF</b>
31	Calcixerepts típico, franca fina, carbonática, mésica	<b>CTC</b>
53	Calcixerepts típico, esquelético franca, carbonática, mésica	<b>CTC</b>
33	Palixeralfs cálcico, franca fina, mezclada, mésica	<b>PC</b>
34	Palixeralfs cálcico, franca fina, mezclada, mésica	<b>PC</b>
41	Palixerolls petrocálcico, esquelético franca, carbonática,	<b>PO</b>
42	Palixerolls petrocálcico, esquelético franca, carbonática,	<b>PO</b>
43	Palixerolls petrocálcico, esquelético franca, carbonática,	<b>PO</b>
51	Palixeralfs petrocálcico, esquelético franca, carbonática,	<b>PA</b>
54	Palixeralfs petrocálcico, esquelético franca, carbonática,	<b>PA</b>

Los subgrupos CT y CTC están formados por la misma secuencia de horizontes, pero difieren en la acumulación de carbonato cálcico y de caliza activa en sus horizontes cálcicos. Además, en este mismo horizonte del subgrupo CTC se observan cementaciones ligeras por su elevado contenido en carbonatos totales.

A continuación, se describen los siete subgrupos de suelos. Los datos de los perfiles descritos en cada parcela: municipio, referencia catastral, coordenadas UTM, parámetros edáficos relevantes e imágenes (ortofoto de situación e imagen del perfil), figuran en el Anexo II (Fichas de Subgrupos de suelos).

### **Subgrupo Calcixerepts típico (CT)**

Se ha descrito en tres parcelas de las áreas vitícolas, una en la terraza II, otra en el abanico aluvial y la última en la terraza III. Son suelos del orden Inceptisoles, es decir, suelos incipientes, en plena evolución con procesos edafogenéticos muy activos.

En general, son de profundidad efectiva alta, y aspecto uniforme. Su perfil edáfico está formado por un horizonte superficial Ap (ótrico), y un endopedión Bk (cálcico). En los suelos de la parcela 23 se describe, entre los anteriores, un horizonte Bw (cámbico). Son suelos relativamente jóvenes, cuyo horizonte superficial Ap presenta contenidos medios de materia orgánica (1%), con estructura subangular y sometido a laboreo. El horizonte Bk presenta un contenido medio en carbonatos (25%) y caliza activa de moderada a alta (10%). Su textura es franca, con un equilibrio entre las tres fracciones texturales: arcilla, limo y arena.

### **Subgrupo Haploxeralfs cálcico (HC)**

Suelos del orden Alfisoles descritos en la terraza II del Najerilla, y presentes en tres de las parcelas vitícolas. Muestran perfiles con un horizonte Ap diagnosticado como ótrico y un endopedión Bt que cumple para argílico. Su textura, siendo franca, está dominada por la fracción arena (50%), pero también les caracteriza su elevado contenido en gravas (35% v/v) en el perfil, su profundidad efectiva media y reserva de agua útil es baja. Los elementos gruesos son también muy frecuentes en superficie. Por debajo del endopedión argílico, se presenta un horizonte Bk que da para cálcico, ya que contiene abundantes acumulaciones secundarias de carbonatos asociadas a las gravas, en forma de cemento geopetal y revestimientos.

### **Subgrupo Haploxerepts fluvéntico (HF)**

Suelos descritos en dos parcelas del abanico aluvial del Yalde, pertenecen al orden Inceptisoles. Se trata de suelos muy jóvenes, formados por materiales con un equilibrio entre las fracciones texturales, presentando bajo contenido en gravas (10%) en el perfil y alta profundidad efectiva, de tal forma, que la reserva útil de agua es muy elevada. Son suelos de gran fertilidad, con materia orgánica en todo el perfil, destacando

sus elevados niveles de K y Mg. Están formados por un horizonte en superficie A, que cumple como ócrico y el resto del perfil es una sucesión de horizontes subsuperficiales Bw, que han sido caracterizados como cámbicos.

### **Subgrupo Calcixerpts típico fase Carbonática (CTC)**

Suelos del orden Inceptisoles, reconocidos en dos parcelas situadas en diferentes formas de relieve: terraza III del Najerilla y glacis IV. Su perfil está formado por un horizonte Ap (ocrico), presentando como horizonte subyacente un cálcico con acumulación generalizada de carbonatos (60%), en el cual se observaron cementaciones localizadas. Estos Bk, ligeramente cementados, presentan valores de caliza activa muy altos (15%).

### **Subgrupo Palexeralfs cálcico (PC)**

Pediones del orden Alfisoles, descritos en la terraza III del río Najerilla y representado por dos parcelas. Se reconoce una secuencia de horizontes genéticos Ap, Bt y Ck/Ckm, que cumplen para ócrico, argílico y cálcico respectivamente como horizontes de diagnóstico. En algunas zonas localizadas del Ck, se presentan cementaciones moderadas por carbonato cálcico (45%), en forma de rodales. El Bt presenta contenidos en arcilla próximos al 30% y valores de CIC relativamente altos (22  $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ ).

### **Subgrupo Palexerolls petrocálcico (PO)**

Suelos del orden Mollisoles, descritos en la terraza IV del río Najerilla y estudiados en tres parcelas. Estos suelos se caracterizan por tener la menor profundidad efectiva (68 cm). Presentan el único horizonte Ap, que cumple las condiciones para ser un horizonte de diagnóstico móllico, por su estructura mullida y su color oscuro debido a la presencia de materia orgánica. El endopedión petrocálcico, se ha formado por translocación y cementación de carbonatos de calcio y de magnesio (52%), constituyendo una barrera impenetrable para las raíces de la vid, excepto a través de pequeñas grietas.

### **Subgrupo Palexeralfs petrocálcico (PA)**

Representado por dos parcelas situadas en el glacis IV, son suelos del orden Alfisoles. La secuencia observada de horizontes ha sido: Ap, Bt, Ck y Ckm. Destaca por la presencia de un horizonte Bt argílico, enriquecido en la fracción arcilla, y un petrocálcico fuertemente cementado. Asimismo, son suelos con presencia muy frecuente de gravas (30%), profundidad efectiva media, y baja reserva de agua.

#### **II.2.2. PARÁMETROS EDÁFICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS DE LOS SUELOS**

Se presentan en las Figuras III.7 a III.14 y en la Tabla III.6, los valores y las desviaciones estándar de los 25 parámetros físico-químicos empleados para caracterizar los horizontes Ap y los horizontes subsuperficiales (SSS, 2006) de los 34 perfiles descritos. Una vez clasificados, se han organizado con la categoría taxonómica de subgrupo, en 7 clases, como ya se ha comentado.

Los parámetros y determinaciones físico-químicas que más han contribuido a la diferenciación de los subgrupos han sido, por una parte, en los horizontes subsuperficiales (B/C): elementos gruesos, textura (especialmente la fracción arcilla), CIC, y estado y contenido en carbonatos equivalentes. La estructura del horizonte superficial, materia orgánica a lo largo del perfil, aspecto y limitaciones al desarrollo del sistema radicular, es decir, profundidad efectiva, y finalmente la reserva útil de agua.

Entre los subgrupos de suelos se observaron diferencias importantes en parámetros edáficos, como la profundidad efectiva media, la reserva útil de agua, el potasio y magnesio en el horizonte superficial (Ap), los carbonatos y la caliza en horizontes subsuperficiales, así como contenido en arcilla y la CIC de dichos horizontes. Los valores se presentan en forma de gráficos de columnas, comprendiendo desde la Figura III.7 a la III.14.

Los suelos con mayor profundidad efectiva (Pef) son los pertenecientes a los subgrupos HF y CT. Los suelos PO presentan menor profundidad debido a la presencia de un horizonte petrocálcico. Para la capacidad disponible de agua, los subgrupos se ordenan de la misma forma debido a la importancia de la Pef en su estimación.

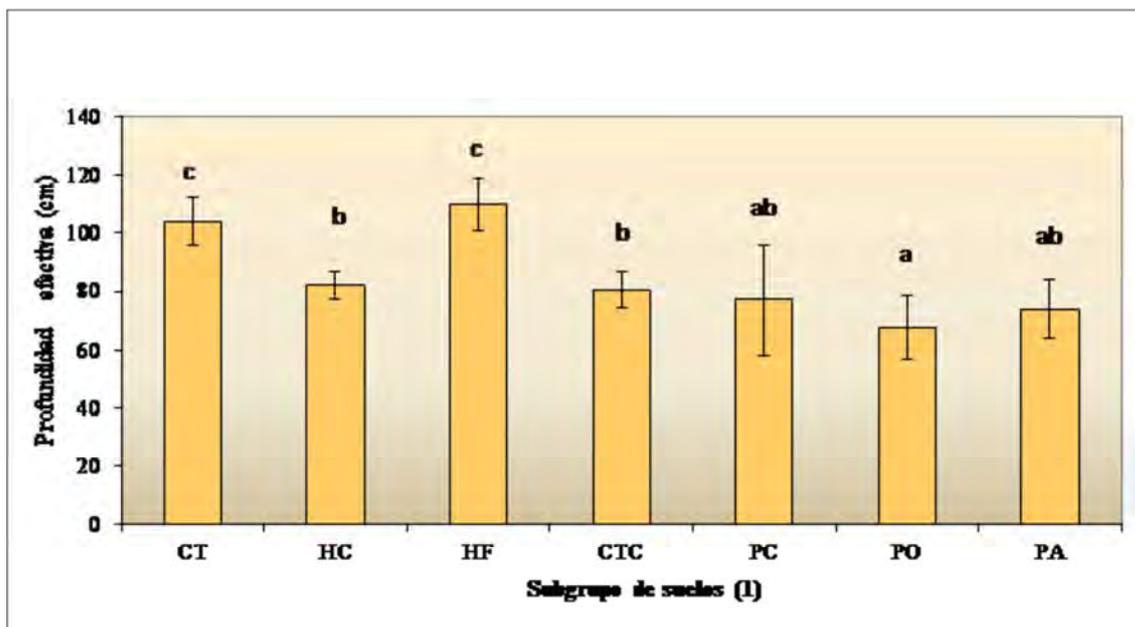


Figura III.7. Profundidad efectiva media (cm) por subgrupo de suelos.

Las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95 % según el test de Duncan. (1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

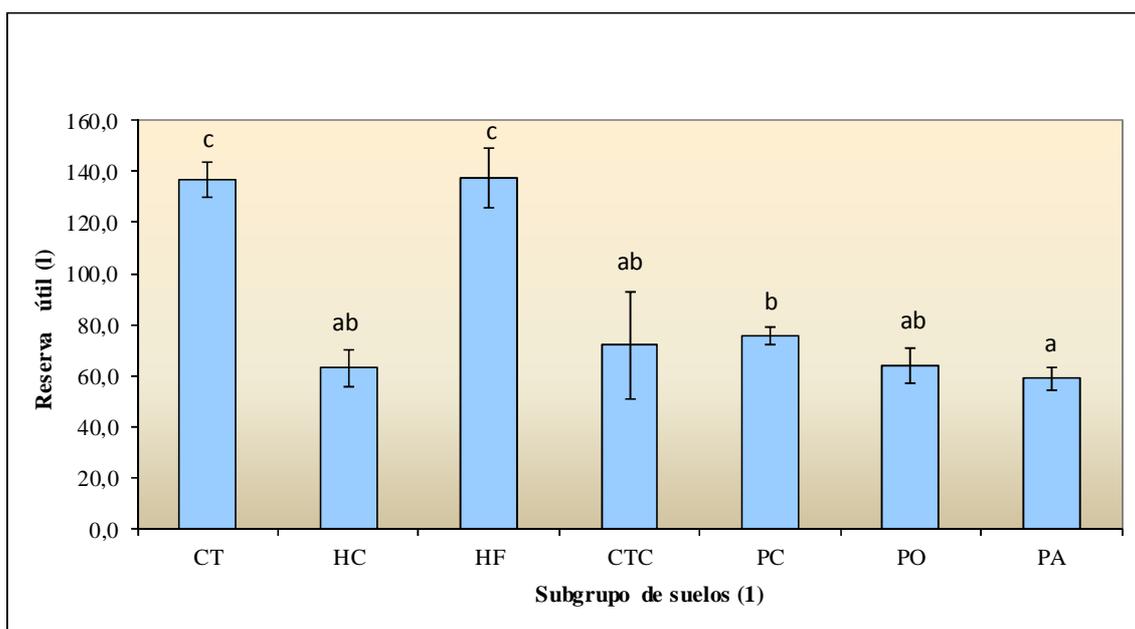


Figura III.8. Reserva de agua útil (l) por subgrupo de suelos.

(1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

El subgrupo HC destaca por su elevado contenido en elementos gruesos (EG) siendo próximo al 35%, siguiéndole el PA y PO con porcentajes del 25% y el 30% respectivamente. Por su escaso volumen de EG, se caracteriza el subgrupo CT.

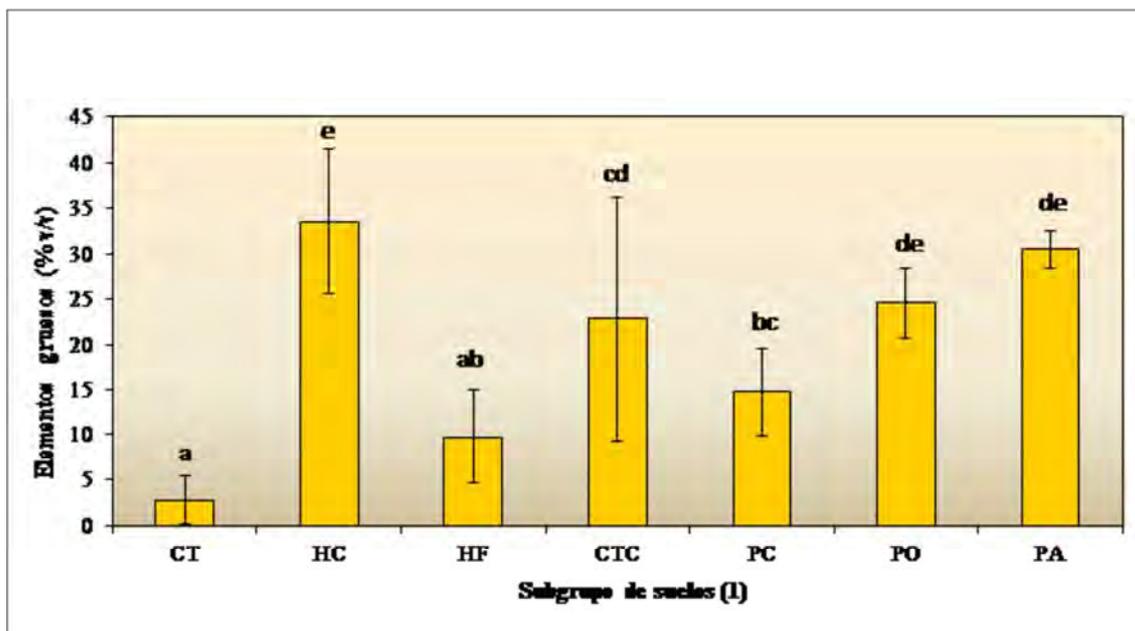


Figura III.9. Elementos gruesos (%) en la profundidad efectiva por subgrupo de suelos.  
 (1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

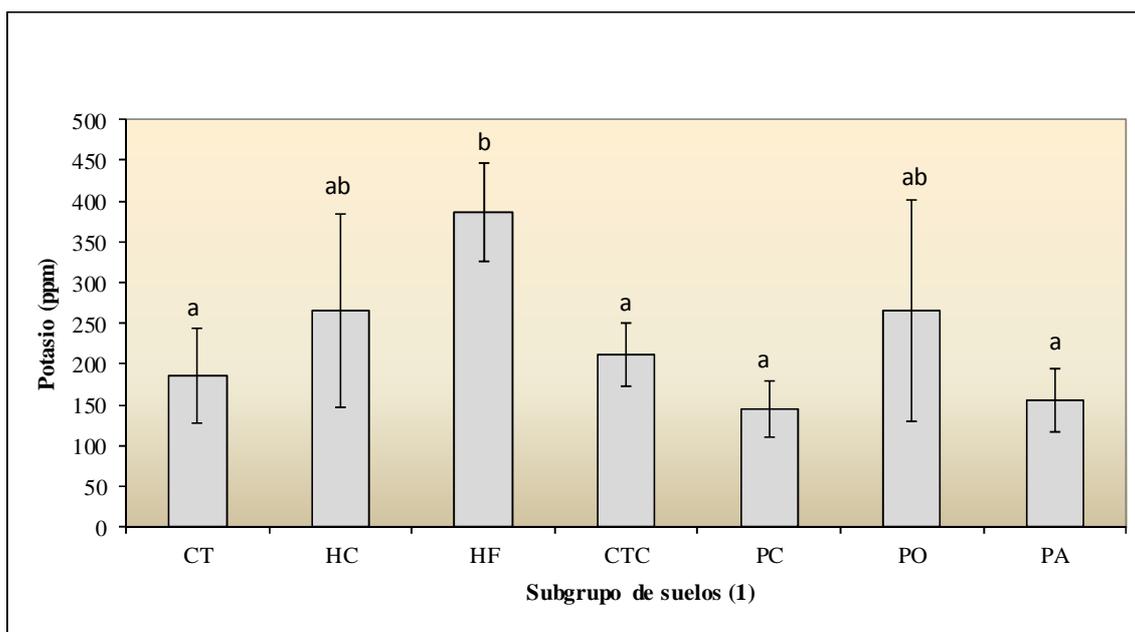


Figura III.10. Potasio (ppm) del horizonte Ap según el subgrupo de suelos.  
 (1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

Los niveles de K en el Ap presentan grandes oscilaciones dentro de subgrupos y entre subgrupos de suelos. Entre todos destaca por sus elevados contenidos el subgrupo HF. El elemento Mg en el suelo sigue pautas muy parecidas al K, pero con menor variabilidad. Se observan dos grupos, HF y CT, con mayores niveles y el resto con contenidos similares (90-100 ppm).

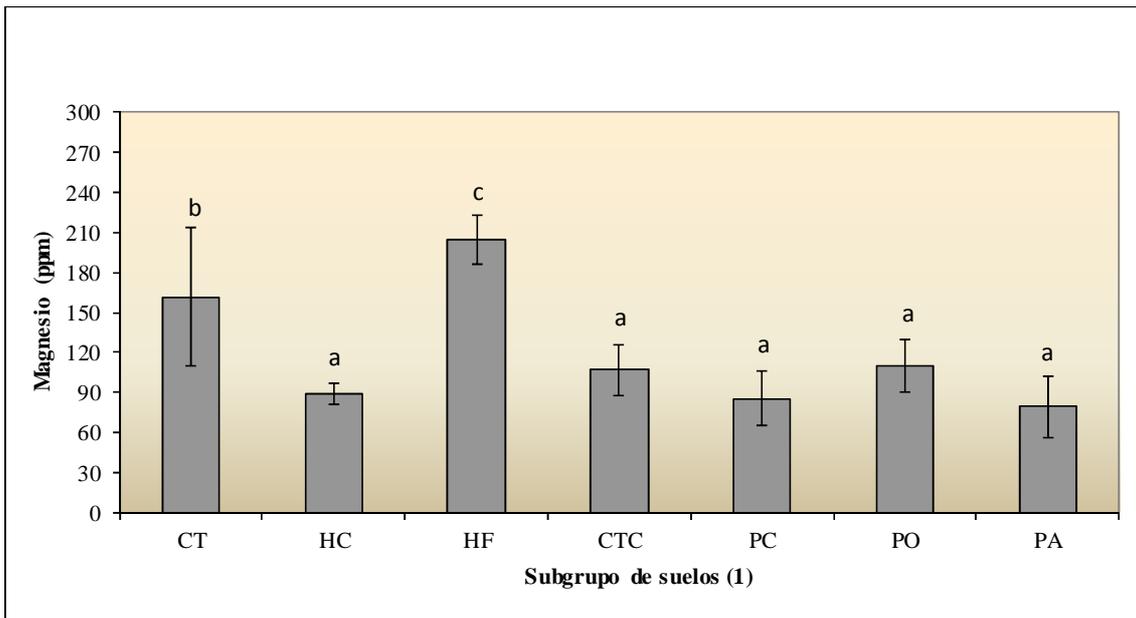


Figura III.11. Magnesio (ppm) en el horizonte Ap por subgrupo de suelos.

(1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

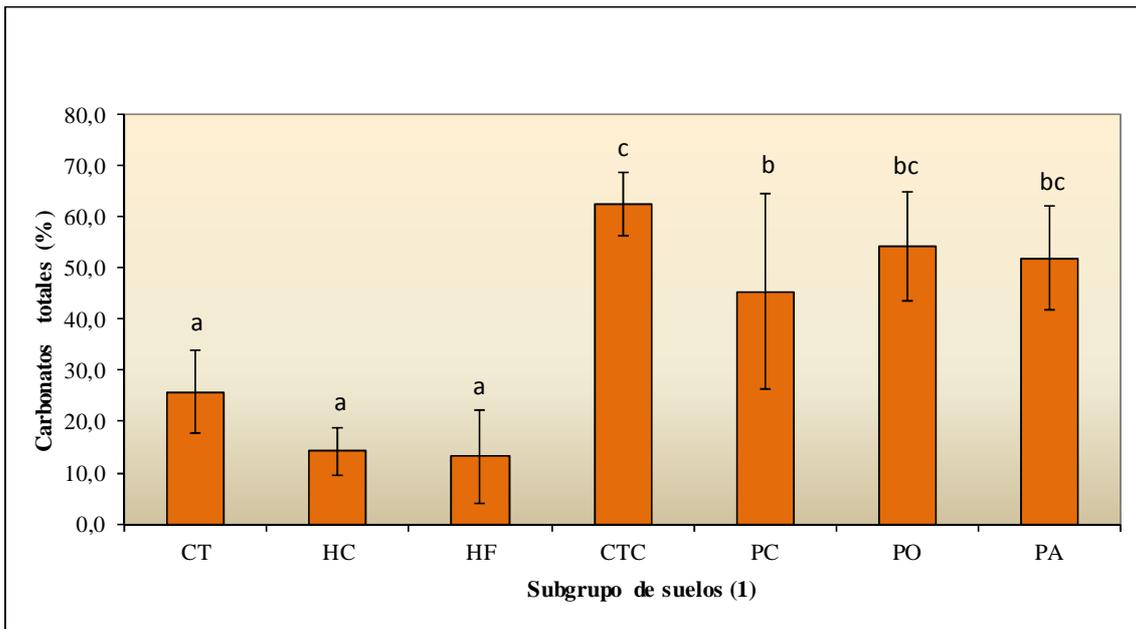


Figura III.12. Carbonatos totales en los horizontes B/C por subgrupo de suelos.

(1) CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

Los carbonatos totales también dividen en dos grupos a los suelos, con bajos % están CT, HC y HF respecto a los CTC, PC, PO y PA, que presentan acumulaciones generalizadas de carbonatos, entre el 45% y el 60%.

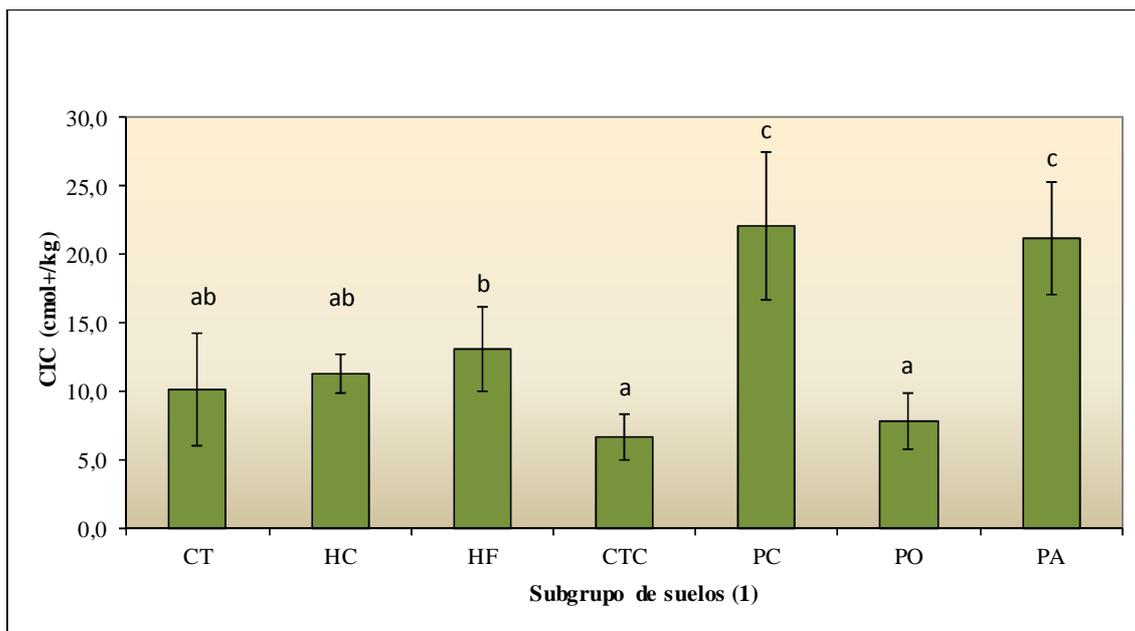


Figura III.13. Capacidad de intercambio catiónico ( $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ ) de los horizontes B/C.  
<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

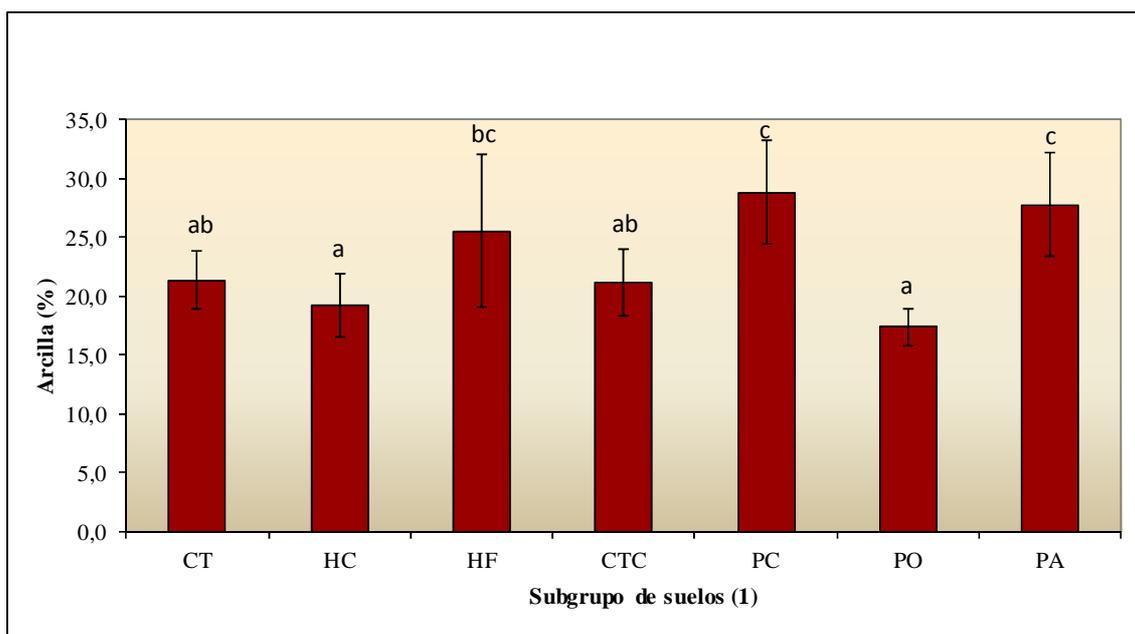


Figura III.14. Arcilla (%) en los horizontes subsuperficiales por subgrupo de suelos.  
<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

Con relación a la distribución de arcilla en el perfil destacan los Palexeralfs, PC y PA, que presentan un cambio textural más fuerte de esta fracción debido al horizonte argílico.

Tabla III.6. Características físico-químicas del horizonte superficial (Ap) y de los horizontes subsuperficiales B/C (Hss) con relación al subgrupo de suelos.

Parámetros edáficos	CT <sup>1</sup>	HC	HF	CTC	PC	PO	PA
Pedregosidad superf.	1 a	21 d	2 a	10 b	12 bc	17 cd	16 cd
MOOx Ap (%)	1,06 b	0,55 a	1,02 b	1,12 b	0,52 a	1,34 b	0,69 a
pH Ap	8,5	8,1	8,2	8,4	8,5	8,5	8,2
Arcilla Ap (%)	21,4 b	17,8 ab	22,3 b	18,1 ab	16,7 a	19,9 ab	18,0 ab
Limo Ap (%)	39,4 c	31,1 ab	44,0 c	27,2 a	27,0 a	33,4 b	27,1 a
Arena Ap (%)	39,2 ab	51,1 c	33,7 a	54,7 c	56,4 c	46,8 bc	55,0 c
CIC Ap (cmol+/Kg)	13,0 b	7,7 a	13,4 b	12,3 b	10,5 ab	12,2 b	10,4 ab
P Mehlich Ap (ppm)	57,6 a	96,6 ab	157,8 b	103,5 ab	50,0 a	55,8 a	79,4 ab
Carbonatos T. Ap (%)	8,5 ab	2,4 a	0,9 a	16,1 b	1,3 a	16,8 b	2,2 a
Caliza activa Ap (%)	4,0 ab	1,0 a	0,2 a	7,1 b	0,6 a	7,4 b	0,6 a
Ca Mehlich Ap (ppm)	9209 ab	4258 a	3857 a	15119 b	4932 a	15340 b	5112 a
MOOx Hss (%)	0,51 ab	0,48 a	0,71 ab	0,89 bc	0,42 a	1,14 c	0,57 ab
pH Hss	8,7 c	8,2 a	8,4 abc	8,7 c	8,3 ab	8,6 bc	8,3 ab
Limo Hss (%)	40,4 b	28,6 a	38,9 b	36,7 b	29,7 a	36,5 b	29,7 a
Arena Hss (%)	38,3 ab	52,2 c	35,6 a	42,2 ab	41,6 ab	46,2 bc	42,5 ab
K Mehlich Hss ppm	80 ab	156 b	159 b	124 ab	128 ab	44 a	118 ab
Mg Mehlich Hss ppm	216 d	105 ab	206 d	174 cd	158 bcd	130 abc	87 a
P Mehlich Hss ppm	7,5 a	29,8 b	10,1 a	0,4 a	2,8 a	0,4 a	4,4 a
Caliza Hss (%)	10,2 b	5,9 a	6,2 a	15,3 c	12,3 bc	14,7 c	14,5 c
Ca Mehlich Hss (ppm)	26690 b	27461 b	18534 a	32284 b	34093 b	32386 b	32498 b

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras diferentes indican variaciones significativas del parámetro edáfico entre subgrupos según la prueba de Duncan (<0,05).

Para conocer la idoneidad en la elección de la categoría taxonómica a nivel de subgrupos de suelos, se realizó un análisis discriminante utilizando los datos del estudio de las dos calicatas por parcela (34 perfiles en total), tratando los datos por tipos de suelos a nivel de subgrupo. Se incluyeron 28 parámetros edáficos de cada perfil, con características y propiedades de los horizontes superficiales y subsuperficiales o endopediones.

Tabla III.7. Autovalores y varianza explicada (%) en el discriminante de subgrupos de suelos.

Función	Autovalor	% de varianza	% varianza acumulada	Correlación canónica
1	178,132	51,5	51,5	0,997
2	125,617	36,3	87,7	0,996
3	31,864	9,2	96,9	0,985
4	5,629	1,6	98,6	0,921
5	3,506	1,0	99,6	0,882
6	1,424	,4	100,0	0,766

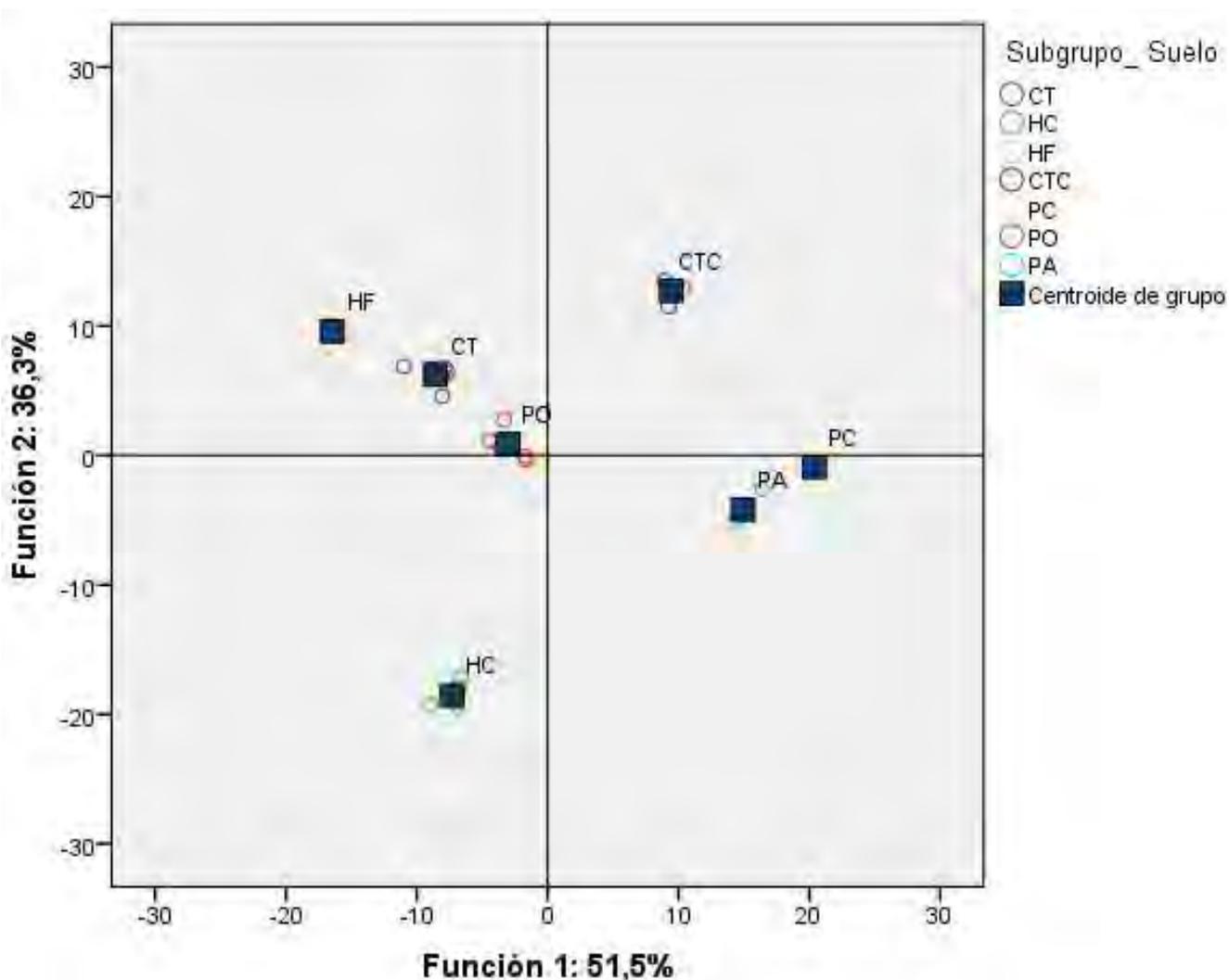


Figura III.15. Análisis discriminante con los parámetros de los 34 perfiles de suelos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

El análisis discriminante nos muestra que el 100% de los tipos de suelos distribuidos en siete subgrupos diferentes se clasifican correctamente. Los resultados obtenidos en el análisis discriminante apoyan en su totalidad la categoría taxonómica empleada (SSS, 2006), ya que este test discrimina los suelos a nivel de la categoría Subgrupo de suelos. Por lo tanto, es posible utilizar los parámetros edáficos seleccionados tratados por subgrupos de suelos para evaluar su influencia sobre el desarrollo vegetativo de la vid (estado nutricional e hídrico), sobre la maduración de la uva, composición del mosto y del vino, sobre el análisis sensorial y el perfil aromático de los vinos.

Tabla III.8. Clasificación de subgrupos según funciones discriminantes<sup>a</sup>

		Cod_Subgrupo_ Suelo	Pertenencia a grupos pronosticada						Total	
			CT	HC	HF	CTC	PC	PO		PA
Original	Recuento	CT	6	0	0	0	0	0	0	6
		HC	0	6	0	0	0	0	0	6
		HF	0	0	4	0	0	0	0	4
		CTC	0	0	0	4	0	0	0	4
		PC	0	0	0	0	4	0	0	4
		PO	0	0	0	0	0	6	0	6
		PA	0	0	0	0	0	0	4	4
%		CT	100,	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		HC	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		HF	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		CTC	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
		PC	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
		PO	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	100,0
		PA	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0

a. 100,0% de casos agrupados originales clasificados correctamente.

### III.2.3. NIVELES DE NITRÓGENO EXTRAÍBLE DEL SUELO (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Se muestran en la Tabla III.9 los contenidos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> extraíble del suelo, en cada año y por subgrupos de suelos. De forma global, es posible considerar que la profundidad de suelo que aportó mayores diferencias de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre los suelos fue la profundidad de 30-45 cm, en la totalidad de los años del estudio. El resto de espesores únicamente suministró información significativa en dos añadas, pero no se observó una pauta reconocible por profundidades de muestreo, que pudiera explicar el comportamiento de los diferentes tipos de suelos.

El subgrupo HF, es el tipo de suelo que presenta mayores niveles de nitrógeno en forma de nitrato a la profundidad de 30-45 cm. Le siguen los subgrupos CT y CTC, por este orden. Únicamente los Alfisoles: HC, PC y PA se acercan a estos últimos en el año 2012. Los suelos PO destacaron por su bajo contenido en N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durante el estudio.

Con relación al factor añada, los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  fueron, en general, más elevados en el año 2012 y mucho más bajos en el 2013. Concretamente en este último año de elevadas precipitaciones (677,6 mm), se registraron niveles más bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  en prácticamente todos los subgrupos de suelos. Sin embargo, en el año 2012 los niveles fueron más elevados, siendo este un año de precipitación considerada como normal (455,8 mm). De forma generalizada, en este último año se duplicaron o triplicaron los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  respecto a los del 2013.

Hay subgrupos de suelos, como PA, que presentaron niveles similares en los años 2010, 2011 y 2013, es decir, contenidos muy parecidos en años tanto de precipitaciones elevadas (2013), como de precipitaciones escasas (2010 y 2011). Finalmente, el subgrupo CTC no fue afectado por las variaciones climáticas en el desarrollo del estudio, ya que no presentó cambios significativos de nitrógeno.

Entre las posibles causas de la disminución en los contenidos de  $\text{N-NO}_3^-$  durante el año 2103 respecto a los niveles medidos en el 2012, se podrían citar varios factores: una baja tasa de mineralización del N orgánico, debido a las menores temperaturas de la primavera (meses de abril-mayo) en el año 2103 respecto del 2012 ó también un mayor lavado de nitratos en el perfil por el aumento significativo de precipitaciones en 2013. Oscilaciones interanuales de la disponibilidad de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo de viñedos con laboreo, próximos a la zona de estudio, han sido encontrados por Pérez-Álvarez *et al.* (2015).

Por lo general, los niveles de nitrógeno mineral medidos a diferentes profundidades y en los siete subgrupos, presentan menor variabilidad, pero son del mismo orden de magnitud a los encontrados por otros autores (Reynard *et al.*, 2011b; Pérez-Álvarez *et al.* 2015).

Respecto al N amónico, la profundidad de muestreo que proporcionó mayores diferencias entre subgrupos fue la de 0-15 cm. En principio, tal circunstancia se puede relacionar al hecho de que es en esta profundidad donde se producen la mayor parte de los procesos de mineralización del N orgánico del suelo, y la liberación del  $\text{N-NO}_3^-$  (White, 2003, 2015; Reynolds, 2010).

Tabla III.9. Niveles de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (kg/ha) según la profundidad de muestreo (cm) y el subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Profundidad (cm)	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
0-15	CT <sup>1</sup>	13,92 AB <sup>2</sup>	11,50 aAB	17,24 aB	7,46 A
	HC	16,34	15,14 a	17,03 a	7,80
	HF	21,70 AB	33,71 bAB	38,09 cB	10,21 A
	CTC	11,40 A	16,41 aAB	22,33 abB	9,43 A
	PC	7,17 <sup>3</sup>	10,36 aA	31,32 bcB	5,64 A
	PO	7,07 A	11,65 aAB	18,99 abB	5,86 A
	PA	4,97 A	8,07 aA	19,92 abB	6,04 A
15-30	CT	6,59	6,19 a	9,77	6,77 ab
	HC	6,62	7,38 a	16,75	5,79 ab
	HF	5,44 A	20,69 bB	12,85 AB	9,48 bA
	CTC	8,27	9,09 a	6,25	8,03 ab
	PC	2,68 <sup>3</sup>	8,25 aB	5,81 AB	5,47 abA
	PO	5,95	7,47 a	5,79	6,37 ab
	PA	3,41	2,82 a	8,26	3,49 a
0-30	CT	20,51 A	17,69 abA	27,01 aB	14,23 A
	HC	22,96 AB	22,53 abAB	33,78 aB	13,59 A
	HF	27,13 AB	54,41 cB	50,94 bAB	19,69 A
	CTC	19,66	25,50 b	28,58 a	17,46
	PC	9,85 <sup>3</sup>	18,61 abA	37,12 abB	11,11 A
	PO	13,02	19,12 ab	24,78 a	12,24
	PA	8,38 A	10,89 aA	28,18 aB	9,53 A
0-45	CT	25,23 AB	25,67 aAB	40,35 aB	21,54 A
	HC	25,64 AB	28,03 aAB	44,24 aB	17,01 A
	HF	35,66 AB	77,00 bB	74,04 bB	29,25 A
	CTC	24,37	32,46 a	36,54 a	22,63
	PC	11,21 <sup>3</sup>	25,45 aA	46,45 aB	15,38 A
	PO	15,96	25,68 a	31,49 a	16,52
	PA	10,92 A	14,66 aA	35,17 aB	13,00 A
30-45	CT	4,73 abA	7,98 aA	13,35 bB	7,31 abA
	HC	2,68 aA	5,51 aAB	10,46 abB	3,43 aA
	HF	8,53 bA	22,59 bB	23,10 cB	9,56 bA
	CTC	4,71 ab	6,95 a	7,96 ab	5,17 ab
	PC	1,36 <sup>3</sup>	6,84 a	9,33 ab	4,27 a
	PO	2,94 a	6,57 a	6,71 a	4,29 a
	PA	2,54 a	3,76 a	6,99 ab	3,47 a
15-45	CT	11,32 A	14,17 aA	23,12 abB	14,08 abA
	HC	9,30	12,89 a	27,22 ab	9,21 ab
	HF	13,96 A	43,28 bC	35,95 bBC	19,04 bAB
	CTC	12,98	16,04 a	14,20 a	13,20 ab
	PC	4,04 <sup>3</sup>	15,10 aB	15,13 aB	9,74 abA
	PO	8,89	14,03 a	12,51 a	10,66 ab
	PA	5,95 A	6,59 aA	15,25 aB	6,96 aA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palxeralfs cálcico; PO, Palxerolls petrocálcico; PA, Palxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas indican diferencias significativas entre subgrupos dentro de un año, y letras mayúsculas muestran diferencias significativas para un subgrupo entre años, según la prueba de Duncan (p<0,05).

<sup>3</sup> PC n=1

Según White (2003), el N se acumula en el horizonte superficial A, los niveles son considerablemente más altos en los 20 cm superiores, disminuyendo el contenido en N total con la profundidad. Los iones de amonio intercambiable son retenidos en el horizonte A, pero los nitratos podrían ser lavados y acumularse en profundidad.

Los contenidos de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíbles se muestran en la Tabla III.10 para cada profundidad, y comparando los siete subgrupos entre sí. En general, los niveles medidos de  $\text{N-NH}_4^+$  en el suelo fueron menores que los de  $\text{N-NO}_3^-$ , consecuencia de la rápida transformación del  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo cuando las condiciones son aeróbicas (Reynolds, 2010).

Se observaron diferencias entre subgrupos respecto a los niveles de  $\text{N-NH}_4^+$  en el año 2011, mientras que en la añada del 2012, solo hubo diferencias entre suelos a la profundidad 0-15 cm. Por el contrario, no se detectaron diferencias en el año 2013. En 2011, se observaron diferencias entre subgrupos en todas las profundidades de muestreo, evidenciándose que las de 30-45 cm y 0-45 cm discriminaban mejor entre los subgrupos de suelos. El resto de sondeos suministró información significativa, pero no permitió separar de forma precisa los siete subgrupos de suelos. Al igual que ocurre con el  $\text{N-NO}_3^-$ , es el subgrupo HF el que presentó mayores niveles de nitrógeno amoniacal en todas las profundidades, excepto en el espesor de 0-15 cm. El subgrupo CT, a pesar de que presentó menores niveles, no pudo diferenciarse significativamente del HF. Con niveles intermedios de  $\text{N-NH}_4^+$  se presentan el resto de subgrupos: CTC, PC, PO y PA. Los suelos HC destacaron por la baja presencia de  $\text{N-NH}_4^+$  a lo largo del estudio.

Con relación al factor año, los niveles de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble fueron más elevados en 2012, mientras que se determinaron concentraciones menores del mismo rango para los años 2011 y 2013. Tal circunstancia es destacable, ya que en el año 2013, con elevadas precipitaciones (677,6 mm), se evaluaron bajos niveles de  $\text{N-NH}_4^+$ , del orden de la mitad o la tercera parte respecto al 2012. Este comportamiento se repitió en el año 2011, en el cual las precipitaciones fueron muy escasas (345,4 mm), es decir, prácticamente la mitad respecto al 2013. En la campaña 2012, con precipitación considerada normal (455,8 mm), se duplicaron y/o triplicaron los niveles de  $\text{N-NH}_4^+$  respecto a los otros dos años. Este comportamiento se observó para la totalidad de subgrupos de suelos, mostrando diferencias significativas entre años (2011 y 2103 respecto a 2012) y en la profundidad de muestreo de 0-15 cm. A profundidades mayores, los subgrupos CT, HC y HF muestran pautas similares a la más superficial.

Tabla III.10. Niveles de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kg/ha) según la profundidad de muestreo (cm) y el subgrupo de suelos en el periodo 2011-2013.

Profundidad (cm)	Código subgrupo	2011	2012	2013
0-15	CT <sup>1</sup>	4,85 bA <sup>2</sup>	12,00 bB	4,72 A
	HC	3,73 abA	7,80 aB	3,92 A
	HF	4,56 abA	12,06 bB	4,54 A
	CTC	3,85 abA	7,26 aB	5,23 A
	PC	3,76 abA	7,96 aB	3,34 A
	PO	3,18 aA	8,97 abB	4,78 A
	PA	3,66 abA	8,88 abB	4,53 A
15-30	CT	4,31 abA	9,06 B	3,80 A
	HC	3,82 abA	13,00 B	3,43 A
	HF	5,54 bA	10,07 B	5,28 A
	CTC	4,24 ab	9,14	4,93
	PC	3,21 a	9,95	3,12
	PO	3,64 abA	9,95 B	5,01 A
	PA	3,68 abA	8,35 B	3,96 A
0-30	CT	9,16 abA	21,06 B	8,52 A
	HC	7,55 abA	20,80 B	7,35 A
	HF	10,10 bA	22,13 B	9,81 A
	CTC	8,09 ab	16,40	10,16
	PC	6,97 abA	17,91 B	6,47 A
	PO	6,83 aA	18,93 B	9,80 A
	PA	7,33 abA	17,24 B	8,49 A
0-45	CT	14,01 bcA	31,71 B	13,69 A
	HC	9,58 aA	30,03 B	9,41 A
	HF	15,38 cA	32,46 B	14,91 A
	CTC	10,88 ab	28,87	13,31
	PC	10,45 abA	28,10 B	9,44 A
	PO	11,23 abA	27,89 B	14,01 A
	PA	10,74 abA	25,27 B	13,00 A
30-45	CT	4,84 bcA	10,65 B	5,17 A
	HC	2,03 aA	9,23 B	2,06 A
	HF	5,28 cA	10,33 B	5,10 A
	CTC	2,79 ab	12,47	3,15
	PC	3,47 abc	10,19	2,97
	PO	4,41 bc	8,97	4,21
	PA	3,40 abc	8,03	4,51
15-45	CT	9,16 abA	19,71 B	8,97 A
	HC	5,85 aA	22,22 B	5,49 A
	HF	10,82 bA	20,40 B	10,38 A
	CTC	7,04 a	21,61	8,08
	PC	6,69 a	20,14	6,09
	PO	8,05 abA	18,92 B	9,23 A
	PA	7,08 aA	16,39 B	8,47 A

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas indican diferencias significativas entre subgrupos dentro de un año, y letras mayúsculas muestran diferencias significativas para un subgrupo entre años, según la prueba de Duncan (p<0,05).

El subgrupo CTC presentó únicamente diferencias entre años a 0-15 cm. Esta dinámica del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> podría indicar que en 2012 se produjo más mineralización del N orgánico que en el 2013, lo que podría estar asociado a mayores temperaturas que

favorecen la actividad de los microorganismos, que mineralizan el N orgánico del suelo (Garnier *et al.*, 2001; Paul *et al.*, 2003).

Respecto a los años de estudio, la profundidad de muestreo que detectó menos diferencias de nitrógeno extraíble entre subgrupos (CTC, PC, PO y PA) y años (2011, 2012 y 2013) fue 30-45 cm, siendo el espesor de 0-15 cm el que proporcionó más diferencias para cada subgrupo entre años. Este mismo resultado se obtuvo para ambas formas de nitrógeno inorgánico: nítrico y amoniacal. En este sentido, es la capa más superficial del suelo donde se producen principalmente los procesos de mineralización del N orgánico del suelo (Reynolds, 2010; White, 2015).

En las Tablas 1 y 2 del Anexo III, figuran las relaciones entre los niveles de N extraíble en forma de ión nitrato y N amoniacal respecto a los parámetros edafoclimáticos. El N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> correlaciona positivamente con la temperatura media anual (T<sup>a</sup> m), la insolación (R solar), la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), el Índice de Huglin (IH) y el índice de Frescor nocturno (IF). Lo hace de forma negativa con la precipitación media anual (Pr<sub>m</sub>), la precipitación entre enero-mayo (Pr<sub>ene-may</sub>), y el índice de Sequedad (IS). El N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se relaciona positivamente con la insolación, la evapotranspiración, el IH y el IF, y de forma negativa con la Pr<sub>ene-may</sub> y el IS. Resalta que se hayan detectado correlaciones positivas muy fuertes entre el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a todas las profundidades con las precipitaciones entre septiembre y octubre ( $r > 0,75$ ), así como con el IF ( $r > 0,74$ ).

El nivel de nitrógeno en la vid están directamente relacionado con la disponibilidad de agua debido a que el N (nitrato o amonio) para ser absorbido por las raíces debe estar en la solución del suelo. Además, Spring *et al.* (2009) encuentran que los niveles de N en frutos son menores en años secos.

Con relación a los parámetros edáficos y el potencial hídrico antes del amanecer, el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no correlaciona con ningún parámetro edáfico, únicamente lo hace y de forma positiva con el potencial hídrico de base, a la profundidad de 15-30 cm. El N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (30-45 cm) correlaciona positivamente con la profundidad efectiva (Pef), la reserva útil del suelo (R útil), el K y el Mg en el horizonte superficial Ap.

### III.2.4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS NIVELES DE NITRÓGENO EXTRAÍBLE DEL SUELO ( $\text{N-NO}_3^-$ y $\text{N-NH}_4^+$ ) CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Por lo general, se han encontrado niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  muy superiores a los de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble en el suelo. Tal observación responde adecuadamente a la mineralización del N orgánico en el suelo mediante la transformación del  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$  en condiciones aeróbicas.

Para la valoración del  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble en el suelo, se ha observado que la profundidad de muestreo que más información aporta al respecto es la de 30-45 cm, que ha permitido obtener diferencias entre los subgrupos de suelos seleccionados. Con relación a los suelos, los valores de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble más elevados se han estimado para el subgrupo HF, cuestión que podría asociarse al carácter fluvéntico de estos suelos, es decir, con la presencia de materia orgánica en profundidad.

Los subgrupos HC, PC, y PA del orden Alfisoles y el PO de los Mollisoles, mostraron los niveles más bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  en la profundidad 30-45 cm. Este comportamiento en el subgrupo PO podría estar relacionado con una profundidad efectiva y una reserva útil bajas, asociadas a la presencia de un horizonte petrocálcico subyacente. En el caso de los Alfisoles, estaría relacionado con los discretos contenidos de materia orgánica en el Ap.

Finalmente, con niveles intermedios de  $\text{N-NO}_3^-$  aparecen los subgrupos Calcixerepts, CT y CTC. Estos aspectos relacionados con suelos ricos en calcio en el suelo se tratan en el apartado III.9.

En el caso del  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble de suelo, para visualizar diferencias entre tipos de suelos, el muestreo debe ser superficial, de 0 a 15 cm, en la que los procesos de mineralización del N orgánico pueden llegar a ser más intensos, y en donde suele presentar un mayor contenido en materia orgánica, como es el caso del horizonte Ap. De nuevo, es el subgrupo HF el que presenta niveles más altos de  $\text{N-NH}_4^+$ , excepto en la profundidad de muestreo 0-15 cm.

Los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo son muy dependientes de su contenido en humedad, fuertemente ligado al volumen de lluvia registrado en una determinada añada. Las precipitaciones superiores a lo que podemos considerar como normales, caso del año 2013, implican contenidos de nitrógeno extraíble en el suelo más bajos, incluso menores que en años más secos de lo normal (2010 y 2011). En nuestro estudio, parece constatarse que el ciclo de nitrógeno en el suelo, y en particular los procesos de mineralización del N orgánico en el horizonte superficial, están favorecidos por volúmenes de precipitaciones consideradas normales (2012).

Los resultados obtenidos indican que los elementos climáticos y los parámetros edáficos en el rango de subgrupo de suelos, tienen una gran influencia en la dinámica del nitrógeno extraíble en el suelo, y por lo tanto, en el estado nitrogenado de la vid (Rankine *et al.*, 1971; Choné *et al.*, 2001, Peyrot des Gachons *et al.*, 2005).

### **III.3. EFECTO GLOBAL DEL SUELO Y DE LA AÑADA SOBRE EL ESTADO HÍDRICO Y NUTRICIONAL DEL TEJIDO FOLIAR, EL RENDIMIENTO Y EL VIGOR, Y LA COMPOSICIÓN Y CALIDAD DEL MOSTO Y DEL VINO**

En las Tablas III.11A, III.11B, III.12A y III.12B, se representan los valores de F-ratio y los p-valores de la prueba de efectos intersujetos del análisis factorial, seleccionando como variables explicativas: el suelo a nivel de parcela (17) o bien por subgrupos (7), y la añada. Las variables dependientes son el potencial hídrico de base y la composición mineral del tejido foliar (envero), parámetros de la uva, componentes del rendimiento y de vigor de la vid, y finalmente la composición del vino.

En primer lugar, se selecciona el suelo a nivel de parcela y cuyos resultados figuran en las Tablas III.11A y III.11B. Si el factor suelo se trata a nivel de parcela, este afecta a la totalidad de los parámetros medidos, los valores del potencial hídrico foliar de base, los niveles nutricionales en hojas, los indicadores de producción y vigor de la vid, así como los parámetros de calidad de la uva y del vino, presentando p-valores inferiores al nivel de significación ( $<0,05$ ,  $<0,01$  y  $<0,001$ ). Es decir, con estos resultados de la prueba intersujetos, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de los parámetros mencionados respecto al factor tipo de suelo a nivel de parcela.

Tabla III.11A. F ratio y p-valor en la prueba de efectos del factor suelo a nivel de parcela y del clima (añada), sobre los elementos minerales y el potencial hídrico de base en hoja y sobre la composición química de la uva (*Análisis factorial: modelo lineal general univariante*).

	Parámetros	Suelo		Clima		Suelo x Clima		
		F	p	F	p	F	p	
Hoja	Pot. de base <sup>1</sup>	43,342	0,000	128,711	0,000	9,564	0,000	
	Nitrógeno (N)	29,632	0,000	122,251	0,000	2,253	0,000	
	Fósforo (P)	26,602	0,000	2,906	0,037	2,607	0,000	
	Potasio (K)	71,448	0,000	4,085	0,008	4,074	0,000	
	Calcio (Ca)	17,721	0,000	18,547	0,000	2,554	0,000	
	Magnesio (Mg)	69,254	0,000	57,516	0,000	2,042	0,001	
	Relación K/Mg	86,633	0,000	16,020	0,000	4,383	0,000	
	Limbo	Carbono (C)	23,566	0,000	66,462	0,000	2,996	0,000
		Hierro (Fe)	5,779	0,000	7,216	0,000	3,014	0,000
		Manganeso(Mn)	38,542	0,000	13,218	0,000	1,481	0,000
		Cinc (Zn)	38,693	0,000	40,896	0,000	3,717	0,000
		Cobre (Cu)	41,668	0,000	115,235	0,000	13,821	0,000
		Boro (B)	28,329	0,000	51,660	0,000	5,618	0,000
		Sodio (Na)	5,119	0,000	22,148	0,000	2,724	0,000
Pecíolo		Nitrógeno (N)	41,665	0,000	3,025	0,032	3,912	0,000
	Fósforo (P)	86,053	0,000	29,153	0,000	4,114	0,000	
	Potasio (K)	164,002	0,000	71,239	0,000	2,760	0,044	
	Calcio (Ca)	32,029	0,000	62,622	0,000	4,657	0,000	
	Magnesio (Mg)	47,132	0,000	2,392	0,071	1,815	0,005	
	Relación K/Mg	151,172	0,000	28,966	0,000	2,730	0,000	
	Carbono (C)	12,209	0,000	127,968	0,000	3,209	0,000	
	Hierro (Fe)	5,267	0,000	8,789	0,000	3,741	0,000	
	Manganeso(Mn)	44,047	0,000	2,477	0,064	0,644	0,956	
	Cinc (Zn)	33,296	0,000	26,024	0,000	1,976	0,001	
	Cobre (Cu)	110,316	0,000	358,927	0,000	57,171	0,000	
	Boro (B)	46,559	0,000	19,842	0,000	4,626	0,000	
Sodio (Na)	12,577	0,000	11,031	0,000	3,556	0,000		
Uva	GAP	16,175	0,000	42,198	0,000	3,959	0,000	
	pH	47,070	0,000	646,164	0,000	5,317	0,000	
	Acidez total	33,370	0,000	716,996	0,000	5,759	0,000	
	Ác. Tartárico	12,681	0,000	13,645	0,000	6,004	0,000	
	Ác. Málico	81,659	0,000	648,237	0,000	8,976	0,000	
	Potasio	85,133	0,000	385,924	0,000	7,119	0,000	
	Calcio <sup>2</sup>	15,036	0,000	213,214	0,000	12,488	0,000	
	Abs. 280	135,889	0,000	9,555	0,000	7,371	0,000	
	I. Colorante	80,942	0,000	197,122	0,000	5,846	0,000	
	Tonalidad	25,923	0,000	290,399	0,000	6,358	0,000	
	IPT	21,608	0,000	13,344	0,000	3,320	0,000	
	Antocianos	40,240	0,000	5,974	0,001	6,170	0,000	
NFA <sup>3</sup>	51,989	0,000	32,588	0,000	10,101	0,000		
Producción y vigor	Pu sarmiento	46,867	0,000	26,252	0,000	2,684	0,000	
	Pm 100 bayas	24,358	0,000	129,074	0,000	9,282	0,000	
	Pm racimo	35,230	0,000	21,687	0,000	7,412	0,000	
	Prod uva x cepa	18,301	0,000	6,263	0,001	5,332	0,000	
	Madera x cepa	54,227	0,000	30,803	0,000	3,204	0,000	
	Indice de Ravaz	16,526	0,000	5,775	0,001	5,775	0,001	

<sup>1</sup> Potencial hídrico de base con medidas en los años 2010 y 2011

<sup>2</sup> Calcio, valores en el periodo 2012-2013 y <sup>3</sup> NFA, valores en el periodo 2011-2013

Tabla III.11B. F ratio y p-valor en la prueba de efectos del factor suelo a nivel de parcela y del clima (añada) sobre parámetros físico-químicos del vino.

		Suelo		Clima		Suelo x Clima	
Parámetros		F	p	F	p	F	p
Vino	Grado alcohólico	5,707	0,000	22,662	0,000	4,185	0,000
	Extracto seco	17,565	0,000	31,942	0,000	6,617	0,000
	Densidad relativa	21,331	0,000	143,568	0,000	7,869	0,000
	pH	59,507	0,000	316,920	0,000	3,884	0,000
	Acidez total	64,272	0,000	1130,488	0,000	7,306	0,000
	Ác. tartárico	62,064	0,000	159,097	0,000	38,324	0,000
	Ác. Cítrico <sup>1</sup>	24,384	0,000	807,874	0,000	8,454	0,000
	Potasio	80,210	0,000	106,482	0,000	5,988	0,000
	Calcio	10,945	0,000	16,232	0,000	6,635	0,000
	A420	42,386	0,000	42,832	0,000	4,513	0,000
	A520	66,833	0,000	29,161	0,000	5,194	0,000
	A620	32,712	0,000	101,741	0,000	4,891	0,000
	Intens. de color	56,153	0,000	31,585	0,000	4,919	0,000
	Tonalidad	48,912	0,000	188,850	0,000	5,909	0,000
	IPT	45,366	0,000	81,029	0,000	6,431	0,000
	Antocianos	29,841	0,000	96,922	0,000	4,651	0,000
	NFA	18,170	0,000	1061,383	0,000	17,324	0,000
	CieLab a	9,071	0,000	66,051	0,000	4,013	0,000
	CieLab b	8,639	0,000	83,361	0,000	4,190	0,000
	CieLab C	9,186	0,000	76,488	0,000	4,159	0,000
Luminosidad L	11,727	0,000	79,688	0,000	5,020	0,000	
Tonalidad H	6,349	0,000	57,419	0,000	3,578	0,000	
Saturación S	6,651	0,000	32,702	0,000	3,056	0,000	

<sup>1</sup> Ác. Cítrico, valores en el periodo 2011-2013

Por otra parte, el factor clima (añada) también influye en una gran parte de los parámetros determinados en hojas, mosto, y vino, aunque para este segundo factor se producen varias excepciones. En principio, el año no influye, de forma significativa, en la concentración de Mg y Mn en pecíolo. El N en pecíolo es significativo ( $p < 0,05$ ) al igual que el P en limbo. El K en limbo también es significativo ( $p < 0,01$ ). Con estos datos, se puede afirmar que la composición mineral del pecíolo es menos sensible que la del limbo a las variaciones climáticas.

Finalmente, las interacciones entre el suelo a nivel de parcela y el clima (añada) son menos importantes, debido a una menor magnitud del estadístico respecto a la influencia de los factores suelo y clima, actuando separadamente. Existen interacciones significativa ( $p < 0,001$ ) entre ambos factores que modifican la totalidad de parámetros estudiados, con una única excepción, el Mn en pecíolo. El K en pecíolo está afectado de forma significativa ( $p < 0,05$ ) por la interacción al igual que el Mg en pecíolo ( $p < 0,01$ ).

Tabla III.12A. Valores de F ratio y p-valor en la prueba de efectos del subgrupo de suelos y de la añada, sobre los elementos minerales y el potencial hídrico de base en hoja y sobre la composición química de la uva (*Análisis factorial: modelo lineal general univariante*).

	Parámetro	Suelo		Clima		Suelo x Clima		
		F	p	F	p	F	p	
Hoja	Pot.de base <sup>1</sup>	18,527	0,000	30,377	0,000	1,918	0,080	
	Nitrógeno (N)	19,133	0,000	48,050	0,000	1,235	0,239	
	Fósforo (P)	34,374	0,000	2,304	0,079	2,499	0,001	
	Potasio (K)	21,126	0,000	1,147	0,332	1,397	0,138	
	Calcio (Ca)	15,106	0,000	10,844	0,000	2,672	0,001	
	Magnesio (Mg)	19,170	0,000	13,646	0,000	0,554	0,927	
	Relación K/Mg	25,097	0,000	3,334	0,020	1,319	0,181	
	Limbo	Carbono (C)	4,473	0,000	17,544	0,000	1,653	0,052
		Hierro (Fe)	3,664	0,002	6,087	0,001	2,083	0,008
		Manganeso(Mn)	3,784	0,001	2,787	0,042	0,950	0,520
		Cinc (Zn)	5,468	0,000	9,823	0,000	1,175	0,287
		Cobre (Cu)	22,543	0,000	31,494	0,000	5,460	0,000
		Boro (B)	17,337	0,000	23,349	0,000	3,409	0,000
		Sodio (Na)	4,507	0,000	16,233	0,000	1,335	0,172
Pecíolo		Nitrógeno (N)	31,706	0,000	1,172	0,322	2,760	0,000
	Fósforo (P)	46,638	0,000	8,841	0,000	1,869	0,021	
	Potasio (K)	25,447	0,000	7,559	0,000	0,257	0,999	
	Calcio (Ca)	15,332	0,000	18,764	0,000	1,804	0,028	
	Magnesio (Mg)	20,306	0,000	0,559	0,643	0,572	0,916	
	Relación K/Mg	26,923	0,000	3,223	0,024	0,281	0,998	
	Carbono (C)	8,324	0,000	69,277	0,000	2,397	0,002	
	Hierro (Fe)	7,566	0,000	4,970	0,002	3,506	0,000	
	Manganeso(Mn)	6,729	0,000	0,781	0,506	0,858	0,630	
	Cinc (Zn)	4,503	0,000	6,767	0,000	0,690	0,818	
	Cobre (Cu)	25,974	0,000	37,315	0,000	10,502	0,000	
	Boro (B)	16,901	0,000	5,257	0,002	1,860	0,022	
Sodio (Na)	1,545	0,166	5,732	0,001	2,302	0,003		
Uva	GAP	11,739	0,000	20,058	0,000	2,691	0,000	
	pH	15,518	0,000	157,709	0,000	2,288	0,003	
	Acidez total	32,374	0,000	331,336	0,000	3,967	0,000	
	Ác. Tartárico	6,452	0,000	6,562	0,000	5,372	0,000	
	Ác. Málico	41,989	0,000	171,885	0,000	3,483	0,000	
	Potasio	18,079	0,000	59,703	0,000	2,094	0,008	
	Calcio <sup>2</sup>	4,566	0,000	53,978	0,000	7,721	0,000	
	Abs. 280	52,664	0,000	2,749	0,044	1,805	0,028	
	Intens. de color	31,178	0,000	44,903	0,000	1,038	0,421	
	Tonalidad	14,856	0,000	97,677	0,000	3,164	0,000	
	IPT	21,153	0,000	7,185	0,000	2,638	0,001	
	Antocianos	19,851	0,000	1,342	0,262	2,916	0,000	
NFA <sup>3</sup>	2,646	0,019	3,191	0,044	1,659	0,083		
Producción y vigor	Pu sarmiento	36,675	0,000	9,064	0,000	1,262	0,218	
	Pm 100 bayas	13,469	0,000	42,899	0,000	6,075	0,000	
	Pm racimo	32,744	0,000	8,518	0,000	6,532	0,000	
	Prod uva x cepa	22,776	0,000	2,255	0,084	5,610	0,000	
	Madera x cepa	37,048	0,000	9,389	0,000	1,269	0,214	
	Indice de Ravaz	11,641	0,000	3,278	0,022	2,382	0,002	

<sup>1</sup> Potencial hídrico de base con medidas en los años 2010 y 2011

<sup>2</sup> Calcio, valores en el periodo 2012-2013 y <sup>3</sup> NFA, valores en el periodo 2011-2013

Tabla III.12B. Valores de F ratio y p-valor en la prueba de efectos del subgrupo de suelos y del clima sobre parámetros físico-químicos del vino. (*Análisis factorial: modelo lineal general univariante*).

	Parámetro	Suelo		Clima		Suelo x clima	
		F	p	F	p	F	p
Vino	Grado alcohólico	6,493	0,000	14,959	0,000	3,579	0,000
	Extracto seco	5,770	0,000	10,782	0,000	2,711	0,000
	Densidad relativa	4,501	0,000	41,041	0,000	1,815	0,027
	pH	13,572	0,000	64,137	0,000	1,213	0,256
	Acidez total	14,083	0,000	220,675	0,000	2,068	0,009
	Ác. tartárico	21,784	0,000	24,707	0,000	12,650	0,000
	Ác. Cítrico <sup>1</sup>	17,997	0,000	345,651	0,000	6,945	0,000
	Potasio	21,717	0,000	18,391	0,000	1,477	0,103
	Calcio	4,722	0,000	7,881	0,000	6,046	0,000
	A420	38,623	0,000	18,720	0,000	1,854	0,023
	A520	39,730	0,000	10,217	0,000	1,402	0,136
	A620	28,826	0,000	44,235	0,000	2,142	0,006
	Intens. de color	40,455	0,000	12,287	0,000	1,546	0,080
	Tonalidad	17,132	0,000	45,615	0,000	2,189	0,005
	IPT	38,338	0,000	31,667	0,000	4,574	0,000
	Antocianos	23,379	0,000	45,120	0,000	3,561	0,000
	NFA	2,552	0,022	208,487	0,000	3,600	0,000
	CieLab a	10,317	0,000	42,136	0,000	3,258	0,000
	CieLab b	9,771	0,000	52,182	0,000	3,387	0,000
	CieLab C	10,313	0,000	47,992	0,000	3,361	0,000
	Luminosidad L	12,424	0,000	46,388	0,000	3,755	0,000
	Tonalidad H	7,717	0,000	38,475	0,000	2,982	0,000
	Saturación S	9,156	0,000	24,246	0,000	2,925	0,000

<sup>1</sup> Ác. Cítrico, valores en el periodo 2011-2013

Si en el modelo el factor suelo se introduce como subgrupo de suelos, que es una categoría taxonómica superior que engloba varios taxones (serie y familia), los resultados son en general muy similares.

El suelo a nivel de subgrupo también afecta (Tablas III.12A y III.12B) a la totalidad de los parámetros medidos desde el potencial hídrico foliar, los niveles nutricionales en hojas, parámetros de producción y vigor de la vid, así como los parámetros indicadores de la calidad de la uva y del vino presentando p-valores inferiores al nivel de significación (<0,05, <0,01 y <0,001). Únicamente el contenido de sodio (Na) en pecíolo (0,166; ns) resulta no significativo.

El NFA, tanto en mosto como en vino, está significativamente afectado ( $p < 0,05$ ) por el subgrupo de suelos. Por lo tanto, y a excepción del Na en pecíolo, se rechaza la

hipótesis nula de igualdad de medias de los parámetros mencionados, siendo significativamente influenciados por el factor suelo a nivel de subgrupo.

Con relación al factor clima, considerado a través de la añada se indica que también influye de forma importante en la casi totalidad de los parámetros determinados. En principio, el año climático no influyó de forma significativa en la concentración de P y K en limbo ni en los elementos N, Mg y Mn en pecíolo. Tampoco afectó de forma sensible al contenido de antocianos en uva. Respecto a los componentes del rendimiento, la producción de uva por cepa no se vio afectada por las condiciones climáticas en el periodo 2010-2013.

Al estudiar la interacción de los factores tipo de suelo a nivel de subgrupo y clima (añada) se obtienen efectos menos importantes que la influencia de los mismos actuando separadamente. Así, se encontraron interacciones significativas para los niveles de P, Ca, Fe, Cu y B en limbo, y del contenido de N, P, Ca, C, Fe, Cu, B y Na en pecíolo. La interacción afectó a la práctica totalidad de los parámetros de la uva como contenido de azúcares, pH, acidez total, ác. tartárico, ác. málico, K, Ca, Abs. 280, tonalidad, IPT y antocianos, no afectando ni a la intensidad de color ni al NFA del mosto. En relación al rendimiento, hubo influencia en el peso de 100 bayas y el Pm del racimo, la producción de uva por cepa, y el índice de Ravaz. Por otra parte, no afectó a parámetros de vigor de la vid, como el peso unitario del sarmiento y la producción de madera por cepa.

Finalmente, también se detectaron interacciones significativas en el vino para gran parte de sus parámetros como grado alcohólico, acidez total, ác. tartárico y ác. cítrico, Ca, A420, A620, tonalidad, IPT, antocianos, NFA, Cielab a, Cielab b, Cielab c, luminosidad L, tonalidad H y saturación S. No existen interacciones entre suelo y clima que puedan influir en los valores de pH, A520 y la intensidad de color de los vinos de Tempranillo.

Estos resultados generados al realizar el análisis factorial mediante un modelo lineal general confirman que el factor suelo tiene una gran influencia en la práctica totalidad de los parámetros estudiados, influyendo en el estado nutricional de la vid, en su desarrollo vegetativo, en la composición del mosto y en la calidad del vino. Similares

resultados han sido reportados por varios autores (Rankine *et al.*, 1971; Duteau *et al.*, 1981; Seguin, 1986; van Leeuwen y Seguin, 1994; van Leeuwen, 1995; Choné *et al.*, 2001; Tregoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004; Sivilotti *et al.*, 2005; De Andrés-Prado *et al.*, 2007; Ubalde *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2011b).

En cuanto al efecto del clima (añada), considerado como el año natural en el que se desarrolla el viñedo, se confirma que las condiciones mesoclimáticas influyen en el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid, y en las características de la uva, lo que se refleja en la composición del mosto y del vino obtenido. La influencia del clima en el viñedo y en la composición del mosto y del vino ha sido previamente descrita con variedades diferentes en diversas regiones vitícolas (Winkler, 1962; Kliewer y Torres; 1972; Huglin, 1978; Duteau, 1990; Hidalgo, 1999; Gladstones, 1992, 2000; Jones y Davis, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004; Deloire *et al.*, 2005).

Respecto la interacción entre grupo de suelo y el clima, esta se establece de forma menos generalizada respecto a ambos factores, actuando separadamente. No obstante indica que la respuesta para algunos de los parámetros determinados en el viñedo, es diferente para unos grupos de suelos respecto a otros. Estas interacciones son las que aportan complejidad al estudio de la influencia del suelo en el viñedo, lo que obliga a considerar varias añadas para poder evaluar de forma más correcta esta incidencia del suelo en el viñedo y en la calidad de su producción.

Por otra parte, los parámetros del estudio que están más influenciados por el suelo a nivel de parcela y por el clima (añada) se visualizan, con mayor detalle, al estudiar el % de la varianza explicada por el factor suelo (parcela), el factor clima y la interacción de ambos, que figuran en las Tablas III.13A y III.13B.

Respecto a los valores de potencial hídrico al amanecer en enero, el factor suelo explicó el 16% de su variabilidad y el clima (añada) lo hizo en el 68%. A la interacción de ambos factores (suelo y clima) se atribuyó el 11% de la varianza de este potencial hídrico foliar. Estos resultados obedecen a similar tendencia, aunque difieren en magnitud a los obtenidos por van Leeuwen *et al.* (2004), en los que los potenciales hídricos de base en preverano y de enero a vendimia están afectados tanto por el clima (44% de la varianza) como por el tipo de suelo (35% del total de la varianza).

Tabla III.13A. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al suelo a nivel de parcela, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Parámetro		Varianza explicada (%)	Suelo (%)	Clima (%)	Suelo x Clima (%)	Residual (%)	
<b>Hoja</b>	Pot. de base <sup>1</sup>	95	16***	68***	11***	5	
	Nitrógeno (N)	88	44***	34***	10***	12	
<b>Limbo</b>	Fósforo (P)	81	62***	2*	17***	19	
	Potasio (K)	91	77***	1**	13***	9	
	Calcio (Ca)	78	48***	9***	21***	22	
	Magnesio (Mg)	91	73***	11***	7**	9	
	Relación K/Mg	92	78***	3***	11***	8	
	Carbono (C)	84	45***	23***	17***	16	
	Hierro (Fe)	66	24***	6***	35***	35	
	Manganeso(Mn)	84	71***	5***	8***	16	
	Cinc (Zn)	87	59***	12***	16***	13	
	Cobre (Cu)	93	37***	19***	36***	7	
	Boro (B)	87	45***	15***	26***	13	
	Sodio (Na)	68	20***	16***	31***	32	
	<b>Pecíolo</b>	Nitrógeno (N)	87	68***	1*	18***	13
		Fósforo (P)	93	77***	5***	11***	7
Potasio (K)		96	85***	7***	4*	4	
Calcio (Ca)		87	49***	18***	21***	13	
Magnesio (Mg)		86	77***	1 ns	9***	14	
Relación K/Mg		96	88***	3***	5***	5	
Carbono (C)		85	23***	45***	17***	15	
Hierro (Fe)		68	20***	6***	42***	32	
Manganeso(Mn)		85	80***	1 ns	3 ns	15	
Cinc (Zn)		84	64***	9***	11**	16	
Cobre (Cu)		98	31***	19***	47***	2	
Boro (B)		88	65***	5***	19***	12	
Sodio (Na)		75	37***	6***	30***	25	
<b>Uva</b>		GAP	81	37***	18***	26***	19
	pH	96	25***	63***	8***	4	
	Acidez total	96	17***	70***	9***	4	
	Ác. Tartárico	80	31***	6***	42***	20	
	Ác. Málico	97	34***	51***	11***	3	
	Potasio	96	46***	39***	11***	4	
	Calcio <sup>2</sup>	91	33***	30***	28***	9	
	Abs. 280	95	81***	1***	13***	5	
	Intens. de color	94	56***	26***	12***	6	
	Tonalidad	92	24***	51***	17***	8	
	IPT	80	52***	6***	23***	20	
	Antocianos	88	60***	2**	26***	12	
	NFA <sup>3</sup>	92	63***	5***	24***	8	
<b>Producción y vigor</b>	Pu sarmiento	88	69***	7***	11***	12	
	Pm 100 bayas	90	29***	29***	32***	10	
	Pm racimo	88	51***	6***	31***	12	
	Prod uva x cepa	81	42***	3**	35***	19	
	Madera x cepa	89	70***	7***	12***	11	
	Indice de Ravaz	77	46***	3**	28***	23	

<sup>1</sup> Potencial hídrico de base con medidas en los años 2010 y 2011. <sup>2</sup> Calcio en el periodo 2012-2013 y <sup>3</sup> NFA en el periodo 2011-2013.

\*, \*\*, \*\*\* indica significancia para  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , ns no significativo al  $p < 0,05$ .

Tabla III.13B. Varianza total explicada por el modelo en los parámetros del vino y varianzas atribuibles al suelo a nivel de parcela, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Parámetro	% varianza explicada	Suelo (%)	Clima (%)	Suelo x Clima (%)	Residual (%)	
<b>Vino</b>	Grado alcohólico	73	19***	14***	39***	27
	Extracto seco	84	34***	12***	37***	16
	Densidad relativa	89	27***	34***	28***	11
	pH	94	43***	43***	8***	6
	Acidez total	97	21***	69***	7***	3
	Ác. tartárico	95	30***	14***	52***	4
	Ác. Cítrico <sup>1</sup>	95	16***	68***	11***	4
	Potasio	93	64***	16***	14***	7
	Calcio	80	26***	7***	46***	20
	A420	88	59***	11***	18***	12
	A520	91	70***	6***	16***	9
	A620	89	44***	26***	19***	11
	Intens. de color	90	66***	7***	17***	10
	Tonalidad	93	44***	32***	15***	8
	IPT	91	52***	17***	21***	9
	Antocianos	88	43***	26***	19***	12
	NFA	97	7***	72***	18***	3
	CieLab a	80	22***	30***	28***	20
	CieLab b	81	19***	35***	27***	19
	CieLab C	81	21***	33***	27***	19
Luminosidad L	83	24***	30***	29***	17	
Tonalidad H	77	18***	30***	29***	23	
Saturación S	72	22***	21***	29***	28	

<sup>1</sup> Ác. Cítrico, valores en el periodo 2011-2013.

\*, \*\*, \*\*\* indica significancia para  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , ns no significativo al  $p < 0,05$ .

van Leeuwen *et al.* (2004) atribuyen una parte importante de la variación de N mineral en peciolo a la añada (35% del total) y al suelo (24%), no interviniendo el factor variedad. Sin embargo, en este estudio con Tempranillo el tipo de suelo aporta mayor variación al N peciolar (68%) que la añada (1%).

El N en limbo si que presenta un comportamiento dependiente de los dos factores, ya que sus niveles se explican tanto por el suelo (44%) como por el clima (34%).

En general, los niveles de P se ven menos afectados por el año que los niveles de N. Se observa como el P es un elemento mineral poco influenciado por el ciclo climático (5%), constatándose que es muy dependiente del tipo de suelo (77%).

La variación de los niveles de P en pecíolo no concuerdan con los valores aportados por van Leeuwen *et al.* (2004), ya que según estos el P peciolar presenta una variación del 24% debido al suelo y del 32% por la añada. Este mismo autor encuentra que el K en pecíolo se ve afectado por el tipo de suelo (42% de la varianza) y por la variedad (32%). En nuestro caso y para Tempranillo, las variaciones en los niveles de K en limbo y en pecíolo son fuertemente dependientes del tipo de suelo (85%), y con una baja influencia el factor climático (7%). También se ha obtenido un efecto de magnitud parecida del suelo para el K en limbo (78%).

Para los niveles de Mg en pecíolo, el factor suelo explicaría el 77% de la variación, resultado plenamente coincidente con van Leeuwen *et al.* (2004) que concluyen que el Mg en pecíolo está fundamentalmente afectado por el tipo de suelo (75% del total de la varianza).

La relación K/Mg (van Leeuwen *et al.*, 2004) está muy influenciada por el tipo de suelo (70% del total de la varianza) . En nuestro caso, se ha obtenido un efecto en el mismo sentido pero algo superior, 88% sobre la variación de la relación K/Mg dependiente del tipo de suelos.

El factor suelo, el clima (añada) y su interacción explicarían el 37%, 18% y 26% respectivamente de la varianza del contenido en azúcares en el mosto. Estos resultados son prácticamente similares a los obtenidos por van Leeuwen *et al.* (2004), para el tipo de suelo (32%) y el clima (15%) como factores que afectan al grado probable, en este sentido son coincidentes con Ubalde *et al.* (2010) para el suelo (30%), pero incrementándose algo el efecto del clima (40%). Por su parte, Reynard *et al.* (2011b) concluyen que el clima es el factor que explicaría (71%) las variaciones en el contenido de azúcares de los mostos.

Los elementos climáticos explican gran parte de la varianza del pH (63%) y de la acidez total (70%) del mosto, siendo por lo general el factor suelo el menos influyente sobre estos parámetros, con el 25 y 17% respectivamente. El pH y la acidez total del mosto dependen del clima, y en menor grado de la variedad y del tipo de suelo (van Leeuwen *et al.*, 2004).

Con relación al ácido málico, resulta altamente dependiente de la añada, que explica el 51% de su varianza, así como del tipo de suelo, con el 34% de la misma. La acidez total está principalmente determinada por el málico, que según van Leeuwen *et al.* (2004), varía intensamente en función de la añada y de la variedad, y en menor medida del ácido tartárico. Los componentes de la acidez de los mostos son altamente dependientes de las variaciones climáticas, especialmente el pH, la acidez total y el ácido málico (Gladstones, 1994; Hidalgo, 1999; van Leeuwen *et al.*, 2004; Ubalde *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2011b).

El suelo (31%) y su interacción con el clima (42%) explican las variaciones en el contenido de ácido tartárico del mosto, no afectándole de forma significativa el factor clima. Según van Leeuwen *et al.* (2004), este ácido es altamente dependiente del clima (41% del total de la varianza). De igual forma, Reynard *et al.* (2011b) comentan que sus valores pueden ser explicados por la evolución del factor clima (71%).

Las variaciones en la concentración de K en mostos de Tempranillo dependen tanto del factor suelo (46%), como del clima (39%). Este resultado no es apoyado por van Leeuwen *et al.* (2004), ya que no observan efecto del tipo de suelo, aunque si del clima. La razón de esta discrepancia puede ser debida a la gran diferencia de contenido de K entre los suelos de nuestro estudio, así como a que la variedad Tempranillo presente mayor capacidad de acumulación de K que las estudiadas por este autor en Burdeos.

La concentración de antocianos en la uva de Tempranillo se ve influida principalmente por el suelo (60%) y por su interacción con el clima (26%). Tal observación en parte es confirmada por van Leeuwen *et al.* (2004) que se encuentran que tanto el suelo (30%) como el clima (41%) explican la variación en el contenido de antocianos en mostos. Sin embargo, Ubalde *et al.* (2010), exponen que las variaciones en el contenido de antocianos en mostos son debidas principalmente al clima (91,9%).

Con relación al NFA, el factor suelo explica las variaciones (63%) en el contenido de nitrógeno en mostos de Tempranillo. Reynard *et al.* (2011b) obtienen un resultado con la misma tendencia (30%), aunque mucho menor.

Otros parámetros del mosto que muestran valores cuya variación puede ser interpretada por el tipo de suelo, han sido aquellos relacionados con los componentes del color, además de antocianos, tales como el IPT (52%) y la intensidad de color (56%). Sin embargo, la tonalidad es un parámetro más dependiente del clima (51%), y en menor grado del suelo (24%).

Respecto a los valores obtenidos para el peso de 100 bayas, se explican por un triple efecto debido al suelo (29%), al clima (29%) y a su interacción (32%). Otros trabajos explican las diferencias de este parámetro de idéntica forma: suelo (31%) y clima (16%) (van Leeuwen *et al*, 2004) o bien por un importante efecto debido al factor suelo (Ubalde *et al*, 2010). Otros trabajos afirman que el peso de la baya no es muy dependiente ni del suelo ni del clima (Reynard *et al*, 2011b). En principio, el tipo de suelo parece tener un efecto moderado sobre el peso de la baya. El peso medio del sarmiento y el peso de madera por cepa, son parámetros relacionados cuya variación es explicada por el factor suelo, 69% y 70% respectivamente. van Leeuwen *et al*. (2004) explican las variaciones de los pesos de madera de poda recurriendo al suelo, al clima y a su interacción.

El índice de Ravaz está afectado tanto por el suelo (63%), como por la interacción suelo y clima (24%), en nuestro caso el caso y para la variedad Tempranillo. Sin embargo, para van Leeuwen *et al*. (2004) es un parámetro altamente dependiente de la variedad (40%), y en menor grado del suelo (15%) y del clima (7%).

Finalmente, comentar que los parámetros del vino tienen un comportamiento similar a los del mosto con relación a la acidez total (69%), explicada por el clima. Los valores del pH de los vinos se interpretan mediante la intervención de ambos factores, suelo (43%) y clima (43%). El ácido cítrico del vino también aparece como un parámetro muy dependiente del clima (68%), por su relación con el ácido málico componente de la acidez del mosto. El contenido de K en los vinos varía fundamentalmente con el factor suelo (63%). El ácido tartárico y el calcio de los vinos de Tempranillo pueden explicarse debido al factor suelo (30 y 26%) y a la interacción suelo y clima (52 y 46%).

Respecto a los componentes del color de los vinos, estos pueden explicarse a través del factor suelo, tal como lo es en el caso de la A420 (59%), la A520 (70%), la intensidad de color (66%) y el IPT (52%). Por otra parte, hay un grupo de parámetros que son dependientes del suelo, del clima y de su interacción: grado alcohólico, A620, tonalidad y antocianos.

Por los general, Ubalde *et al.* (2010) presentan valores (%) para vinos de Cabernet Sauvignon parecidos a los observados en vinos de Tempranillo. Respecto a la acidez total, se observa la misma tendencia y con relación al pH, este se interpreta fundamentalmente debido a las variaciones climáticas. Los resultados concuerdan plenamente en parámetros como la A420, la intensidad de color y el IPT, explicados a través del factor suelo. Sin embargo, no son coincidentes con la fuente de las variaciones en el contenido de antocianos y de la A620 en vinos de Cabernet Sauvignon, ya que obtiene un mayor efecto del suelo (76% y 78% respectivamente) con relación a los vinos de Tempranillo (43% y 44% respectivamente).

Tal y como se muestra en las Tablas III.14A y III.14B, sobre los porcentajes de influencia del factor subgrupo de suelos y clima (añada) sobre la totalidad de parámetros del estudio, estos siguen la misma tendencia que el tratamiento del suelo a nivel de parcela. Sin embargo, el suelo a nivel de subgrupo explica un menor porcentaje de la varianza de las variables. No ocurre lo mismo con la varianza atribuible al clima que apenas se reduce, mientras que la interacción suelo-clima por lógica es menor que utilizando para el análisis los datos de parcela.

Finalmente, este descenso de los porcentajes explicados por el subgrupo de suelos respecto a utilizar el suelo de cada parcela, lleva consigo un incremento del porcentaje atribuible a otros factores que constituyen el residuo o error. Todo esto indica que tratar los parámetros de la vid, la uva y el vino a nivel de parcela vitícola permite detectar una mayor influencia del factor suelo, que tratando los datos de las variables dependientes a nivel taxonómico de subgrupo de suelos, ya que esta agrupación reduce notablemente la varianza atribuible al suelo.

Tabla III.14A. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al subgrupo de suelos, al clima (añada), y a la interacción suelo x clima (%).

Parámetro		Varianza explicada (%)	Suelo (%)	Clima (%)	Suelo x clima (%)	Residual (%)	
<b>Hoja</b>	Pot. de base <sup>1</sup>	51	37***	10***	4 ns	48	
	Nitrógeno (N)	71	25***	31***	5 ns	37	
<b>Limbo</b>	Fósforo (P)	61	48***	2 ns	11**	39	
	Potasio (K)	48	39***	1 ns	8 ns	52	
	Calcio (Ca)	51	27***	10***	14**	49	
	Magnesio (Mg)	50	35***	12***	3 ns	50	
	Relación K/Mg	92	43***	3*	7 ns	47	
	Carbono (C)	53	9***	18***	10 ns	59	
	Hierro (Fe)	32	10**	7**	15**	68	
	Manganeso(Mn)	23	10**	4*	9 ns	77	
	Cinc (Zn)	33	13***	12***	8 ns	67	
	Cobre (Cu)	63	26***	18***	19***	33	
	Boro (B)	57	25***	17***	15***	41	
	Sodio (Na)	27	10***	18***	9 ns	63	
	<b>Pecíolo</b>	Nitrógeno (N)	59	46***	1 ns	12***	41
		Fósforo (P)	67	55***	5***	7**	33
Potasio (K)		50	43***	6***	1 ns	48	
Calcio (Ca)		51	26***	16***	9**	48	
Magnesio (Mg)		44	40***	1 ns	3 ns	56	
Relación K/Mg		50	46***	3*	1 ns	49	
Carbono (C)		62	10***	43***	9**	35	
Hierro (Fe)		43	16***	5**	22***	57	
Manganeso(Mn)		25	17***	1ns	7**	72	
Cinc (Zn)		26	12***	9***	5**	73	
Cobre (Cu)		70	24***	17***	29***	26	
Boro (B)		47	32***	5**	10**	53	
Sodio (Na)		28	4 ns	7**	17***	71	
<b>Uva</b>		GAP	49	19***	17***	13***	47
	pH	73	11***	57***	5**	21	
	Acidez total	88	14***	69***	5***	12	
	Ác. Tartárico	48	12***	6***	30***	52	
	Ác. Málico	82	25***	52***	6***	17	
	Potasio	62	21***	34***	7**	33	
	Calcio <sup>2</sup>	56	12	24***	20***	38	
	Abs. 280	68	60***	2 ns	6*	32	
	Intens. de color	66	36***	26***	4 ns	33	
	Tonalidad	68	14***	45***	9***	26	
	IPT	53	34***	6*	13**	46	
	Antocianos	50	34***	1 ns	15***	48	
	NFA <sup>3</sup>	24	9	4	11	75	
	<b>Producción y vigor</b>	Pu sarmiento	61	50***	6***	5 ns	38
Pm 100 bayas		62	16***	25***	21***	33	
Pm racimo		64	37***	5***	22***	32	
Prod uva x cepa		58	32***	2 ns	24***	40	
Madera x cepa		61	50***	6	5 ns	38	
Indice de Ravaz		42	24***	3*	15**	58	

<sup>1</sup> Potencial hídrico de base medidas en los años 2010 y 2011. <sup>2</sup> Calcio en el periodo 2012-2013 y <sup>3</sup> NFA en el periodo 2011-2013.

\*, \*\*, \*\*\* indica significancia para  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , ns no significativo al  $p < 0,05$ .

Tabla III.14B. Varianza total explicada por el modelo y varianzas atribuibles al subgrupo de suelos, al clima, y a la interacción suelo x clima (%).

Parámetro	% varianza explicada	Suelo (%)	Clima (%)	Suelo x clima (%)	Residual (%)	
Vino	Grado alcohólico	46	12***	14***	19***	51
	Extracto seco	40	12***	11***	17***	59
	Densidad relativa	52	8***	35***	9*	48
	pH	62	17***	40***	5 ns	36
	Acidez total	83	9***	70***	4**	17
	Ác. tartárico	69	21***	12***	36***	27
	Ác. Cítrico <sup>1</sup>	88	11***	69***	8	12
	Potasio	55	34***	14***	7 ns	44
	Calcio	48	8***	7***	33***	51
	A420	64	46***	11***	7*	34
	A520	63	51***	7***	5 ns	37
	A620	63	33***	25***	7**	33
	Intens. de color	65	51***	8***	6 ns	34
	Tonalidad	61	22***	30***	9**	37
	IPT	68	38***	16***	14***	28
	Antocianos	65	27***	26***	12***	33
	NFA	100	1*	97***	2 ns	0
	CieLab a	59	15***	30***	14***	41
	CieLab b	62	13***	35***	14***	38
	CieLab C	61	14***	33***	14***	39
	Luminosidad L	63	17***	31***	15***	37
	Tonalidad H	56	12***	30***	14***	44
	Saturación S	52	16***	21***	15***	48

<sup>1</sup> Ác. Cítrico, valores en el periodo 2011-2013.

\*, \*\*, \*\*\* indica significancia para  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , ns no significativo al  $p < 0,05$ .

#### III.4. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA. ANÁLISIS DE LIMBO Y PECÍOLO EN ENVERO

Con el objeto de comparar el estado nutricional de las vides en cada una de las campañas del estudio y su relación a los efectos provocados por el tipo de suelo, se utilizó el método de análisis mineral de tejidos foliares (limbo y pecíolo). Para ello, se analizó la concentración en peso seco (% sms) de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio, y el contenido de micronutrientes (ppm): hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y sodio, presentes en ambos tejidos foliares en el estado fenológico de envero. Además se añadió el carbono (% sms) en limbo y pecíolo.

La composición mineral de limbos y pecíolos, que se expresa con relación al subgrupo de suelo de cultivo de la vid, corresponde a hojas muestreadas durante los

cuatro años de estudio (2010, 2011, 2012 y 2013). Estos resultados se presentan en las Tablas III.15 a III.27 en los siguientes apartados.

#### III.4.1. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE NITRÓGENO

Los niveles de nitrógeno (N) mineral, tanto en limbo como en pecíolo en el estado fenológico de enero, mostraron diferencias significativas entre subgrupos de suelos vitícolas (Tabla III.15).

El subgrupo HF fue el que presentó los niveles más elevados, en limbo y pecíolo, siendo estos valores catalogados como altos según los datos nutricionales de referencia para la variedad Tempranillo en Rioja (García-Escudero *et al.*, 2013) (Anexo I, Tablas 3 y 4).

Los subgrupos CT, PC, PA se movieron en el nivel óptimo alto, excepto en el año 2013 que pasó a bajo en limbos, y en el caso de pecíolos entre óptimo y óptimo bajo. Por su parte, los subgrupos HC, CTC y PO mostraron niveles entre óptimos y óptimos bajos, excepto en el año 2013 que fueron bajos.

Con relación al análisis entre añadas, se encontró una mayor fluctuación de los niveles de N en limbos respecto a los de pecíolos. Comparando los ciclos anuales, se observó que en el año 2013 se daban niveles más bajos de nitrógeno, especialmente en limbos, y para la totalidad de subgrupos de suelos, excepto para el HF. Este subgrupo de suelos, con mayor fertilidad, reserva de agua alta y profundidad efectiva elevada, se ha manifestado menos sensible a las variaciones climáticas entre años, pasando de niveles altos en 2010, 2011 y 2012 a niveles óptimos en el año 2013.

Los contenidos algo menores de N foliar en el año 2013 coinciden con una reducción del  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble para esta campaña, lo que parece indicar que el efecto del año en la composición mineral de N en hojas en parte sería debido a los cambios de la disponibilidad de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble del suelo.

Tabla III.15. Contenido de Nitrógeno (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

NITRÓGENO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	2,31 abB <sup>2</sup>	2,31 abB	2,37 cdB	1,97 abA
	HC	2,21 aB	2,32 abC	2,38 cdC	2,10 bA
	HF	2,46 b	2,54 c	2,47 d	2,23 c
	CTC	2,21 aB	2,15 aB	2,19 abB	1,99 abA
	PC	2,34 abB	2,35 bB	2,39 cdB	2,06 bA
	PO	2,20 aB	2,17 abB	2,12 aB	1,89 aA
	PA	2,30 aB	2,19 abAB	2,30 bcB	2,08 bA
Pecíolo	CT	0,50 b	0,49 bc	0,47 ab	0,49 bc
	HC	0,50 b	0,48 abc	0,47 ab	0,49 bc
	HF	0,58 cB	0,59 dBC	0,52 bA	0,64 dC
	CTC	0,47 abAB	0,48 abcB	0,45 aA	0,46 bcAB
	PC	0,47 ab	0,51 c	0,50 ab	0,51 c
	PO	0,43 aAB	0,45 aB	0,45 aB	0,39 aA
	PA	0,45 abA	0,46 abA	0,51 bB	0,44 bA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los subgrupos de suelos CT, HC, CTC, PC, PO y PA presentan el mismo comportamiento en años secos (2010, 2011) o de precipitación considerada normal (2012) respecto al N mineral en limbo. Sin embargo, en un año lluvioso como el 2013 los niveles encontrados en limbo disminuyen de forma muy significativa, no detectándose este comportamiento en los niveles de N en pecíolo.

Los niveles de N en limbo para Tempranillo en enero resultan del mismo orden de magnitud respecto a los encontrados por Reynard *et al.* (2011b) en la variedad Doral (Chasselas x Chardonnay), cultivada en suelos de morrenas. Decir que los niveles de N en limbo en suelos de morrenas de fondo y en materiales aluviales y coluviales, varían en un intervalo de 1,90 a 2,55% sms, siendo más elevados en los últimos.

Los niveles de N en pecíolo, medidos en enero para la variedad Tempranillo, comparados con referencias de otros cultivares presentan similitudes con algunos y diferencias significativas con otros. En concreto, no difieren al ser comparados con los de la variedad Shiraz en la región de Yarra Valley en Australia (White, 2015), ó con Cabernet Sauvignon en Sudáfrica (Shange y Conradie, 2012). Sin embargo, son significativamente menores respecto a los niveles de N en pecíolo indicados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (0,47-1,32%).

En ciertos estudios, no se han detectado variaciones significativas en los niveles de N peciolar (Shange y Conradie, 2012) para diferentes materiales originarios de los suelos: graníticos y esquistos. Sin embargo, en este trabajo con Tempranillo se indican diferencias significativas respecto al N en pecíolos entre los subgrupos de suelos: HF, PO, CT y HC.

Nuestros resultados con la variedad Tempranillo guardan paralelismo con los obtenidos por van Leeuwen *et al.* (2004), que determinan el N en pecíolo en las variedades Merlot, Cabernet Sauvignon y Cabernet franc en tres tipos de suelos (arenosos, arcillosos y con gravas) y en cuatro añadas (1997-2000). Los niveles obtenidos en el estudio citado sitúan el N en pecíolo entre 0,45% y 0,62% sms, es decir, similares a los determinados en Tempranillo, que han sido entre 0,39% y 0,64% sms.

El N mineral es un elemento muy dinámico, dependiente del tipo de suelo (contenido de materia orgánica, textura,...) pero también de las variaciones climáticas interanuales, ya que la mineralización del N orgánico del suelo está influenciada por la humedad y temperatura del suelo, así como por la mayor o menor posibilidad de ser lavado según el régimen de precipitaciones.

En la Tabla 3 del Anexo III, puede observarse como el N en limbo correlaciona ( $n= 198$ ,  $p < 0,01$ ) de forma positiva con los parámetros climáticos, como la radiación solar ( $r= 0,525$ ), la ETo ( $r = 0,547$ ) y el IH ( $r= 0,499$ ), y negativamente con la precipitación media ( $r= -0,532$ ), la precipitación entre enero-mayo ( $r= -0,570$ ) y el IS ( $r= -0,555$ ). Asimismo, en la Tabla 4 del Anexo III, se presentan las correlaciones con los parámetros del suelo, el N en limbo presenta correlaciones positivas con la Pef, la R útil, el K en el Ap, y negativas con los carbonatos y la caliza activa, pero sus valores solo indican tendencias (menores de 0,4 en valor absoluto). El N en pecíolo presenta las mismas pautas que el N en limbo, pero las correlaciones con la Pef ( $r= 0,477$ ) y la R útil ( $r= 0,424$ ) tienen mayor significación ( $p<0,01$ ). Se han encontrado relaciones entre el N extraíble del suelo y el N del tejido foliar (Anexo III, Tabla 9), como el N en pecíolo se corresponde positivamente con el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> extraíble del suelo a varias profundidades: 0-15 cm ( $r= 0,566$ ), y 30-45 cm ( $r= 0,477$ ) entre otras. También, el N en limbo con el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> extraíble del suelo a 30-45 cm ( $r= 0,409$ )

En la Tabla 12 del Anexo III, se muestra como el N en limbo y el N en pecíolo se relacionan significativamente de forma positiva ( $r= 0,491$ ). El N foliar también se corresponde positivamente con el K foliar.

Con los resultados obtenidos, es posible formular que el N en limbo es dependiente tanto del clima (añada) como del tipo de suelo, mientras que el N peciolar presenta variaciones dependientes fundamentalmente del tipo de suelo.

#### III.4.2. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE FÓSFORO

Con relación al fósforo (P), se han observado niveles significativamente diferentes entre subgrupos de suelos como figura en la Tabla III.16, destacando tanto en limbo como en pecíolo los subgrupos HF y PA por sus elevados contenidos.

Para el subgrupo PO (Mollisol), se encontraron los niveles más bajos de P en tejido foliar. Los años con menores precipitaciones, discrimina mejor el P en pecíolo que el P en limbo a la hora de diferenciar entre subgrupos de suelos. Sin embargo, las precipitaciones en años normales y lluviosos, los niveles de P tanto en limbo como en pecíolo son muy diferentes entre los distintos subgrupos. Los niveles P mostraron mayor estabilidad entre años, tanto en limbo como en pecíolo, si los comparamos a los de N. En relación al tipo de suelo, no hubo variaciones de P entre ciclos anuales para los subgrupos: CT, CTC, PC y PO en limbos, y para los subgrupos CT, PC, PO y PA en el caso de pecíolos.

Los subgrupos que han presentado cambios significativos en los niveles de P han sido HC y HF, incrementándose especialmente en el año con mayor precipitación (2013), en limbo y pecíolo. Esta dinámica no se reprodujo en los niveles de P en limbo para el subgrupo PA (nivel más elevado en 2011), ni en el caso del subgrupo CTC en pecíolo (nivel más alto en 2012).

Los niveles de P en limbo y pecíolo fueron altos para todos los subgrupos, excepto para el subgrupo PO con un nivel nutricional óptimo en limbos (García-Escudero *et al.*, 2013). Respecto a los niveles de P en pecíolos, son elevados por lo

general excepto para el subgrupo PO, que se sitúa entre niveles de óptimos a óptimos altos. Para el subgrupo HC en limbo, se detectaron niveles óptimos para los años 2010 y 2011.

Tabla III.16. Contenido de Fósforo (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

FÓSFORO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	0,200 a <sup>2</sup>	0,225 a	0,221 bc	0,233 b
	HC	0,160 aA	0,167 aA	0,198 abB	0,231 bC
	HF	0,293 bA	0,238 aA	0,271 cA	0,395 dB
	CTC	0,210 a	0,203 a	0,223 bc	0,220 ab
	PC	0,204 a	0,253 a	0,247 bc	0,227 ab
	PO	0,158 a	0,156 a	0,150 a	0,153 a
	PA	0,306 bA	0,442 bB	0,410 dAB	0,310 cA
Pecíolo	CT	0,174 bc	0,180 abc	0,235 bc	0,226 b
	HC	0,129 abA	0,125 aA	0,193 abB	0,220 bB
	HF	0,287 dAB	0,259 cA	0,318 cB	0,474 dC
	CTC	0,213 cAB	0,164 abA	0,249 bcB	0,210 bAB
	PC	0,210 c	0,227 bc	0,284 bc	0,234 b
	PO	0,098 a	0,105 a	0,135 a	0,117 a
	PA	0,371 e	0,374 d	0,421 d	0,347 c

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

A pesar de que los niveles de P peciolar en enero para Tempranillo son por lo general altos, difieren de forma significativa con los estimados para Shiraz en la región de Yarra Valley en Australia (White, 2015), que resultan dos o tres veces superiores (0,62% sms).

En Tempranillo, los niveles de P en pecíolo son significativamente más altos respecto a los indicados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (0,08-0,18%). Con el N en pecíolo ocurría justo lo contrario al comportamiento observado para P en pecíolo.

van Leeuwen *et al.* (2004) no encontraron diferencias del contenido P en pecíolo entre tipos de suelos, variedades y añadas. Sin embargo, en el presente trabajo se han puesto de manifiesto diferencias significativas entre varios subgrupos de suelos como HF (Inceptisol), PO (Mollisol), PA (Alfisol) y entre añadas.

El P en pecíolos de la variedad Cabernet Sauvignon (Shange y Conradie, 2012) presenta niveles altos, como en Tempranillo, siendo los primeros de 2 a 3 veces superiores en orden de magnitud (0,35-0,93% sms). Los niveles de P en tejido foliar, son indicativos de que la disponibilidad del P, depende en parte, de las características del tipo de suelo, que podrían modificar la solubilidad del  $\text{PO}_4^{-2}$ . En nuestros suelos con pH mayores de 7, ligeramente básicos, su solubilidad está controlada por la presencia de  $\text{Ca}^{+2}$  en la solución del suelo que favorece la precipitación de  $\text{PO}_4\text{Ca}$ .

Se observa en la Tabla 4 del Anexo III, como los niveles de P en limbo y en pecíolo correlacionan ( $n= 198$ ,  $p < 0,01$ ) de forma positiva con parámetros edáficos, como la CIC ( $r= 0,529$  y  $r= 0,562$ ) y la arcilla ( $r= 0,529$  y  $r= 0,576$ ) de los horizontes subsuperficiales de los suelos respectivamente. En este estudio de Tempranillo, en la Tabla 12 del Anexo III, se muestra que el nivel de P en pecíolo se relaciona positivamente con el P en limbo ( $r= 0,867$ ). Este resultado ha sido indicado también por Lambert *et al.* (2010) en Cabernet Sauvignon.

En referencia a la correlación negativa entre los niveles de P y de N en pecíolo descrita por van Leeuwen *et al.* (2004), en nuestro estudio no se ha encontrado. En cierto modo, se ha puesto de manifiesto en nuestro estudio que el P y el N en pecíolo presentan una relación positiva ( $r= 0,357$ ,  $n= 198$ ,  $p < 0,01$ ) en la variedad Tempranillo (Anexo III, Tabla 14), así como el P en limbo con el N en pecíolo ( $r=0,315$ ).

#### III.4.3. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE POTASIO (K)

Respecto de los niveles de K, el análisis del comportamiento por subgrupos evidenció como el HF presentó los niveles más elevados en pecíolo con respecto al resto de subgrupos, pauta observada para los cuatro años del estudio (Tabla III.17).

Este mismo subgrupo HF mostró los niveles más altos de K en limbo respecto al resto de subgrupos, siendo en 2013 cuando se detectaron mayores diferencias significativas entre subgrupos.

Los niveles de K presentaron escasas diferencias entre años, especialmente en el limbo. Únicamente los subgrupos HC y PO presentaron diferencias significativas. El primero presentó niveles más elevados en el limbo con el aumento de la precipitación (2012 y 2013), y en el segundo los niveles disminuyeron significativamente en 2013. En el pecíolo, se observó un comportamiento más uniforme con relación al clima. Cinco de los subgrupos: HC, CTC, PC, PO y PA, presentaron niveles más altos el año 2012, de precipitación normal respecto a los años más secos (2010 y 2011) y a la campaña 2013 que fue más lluviosa.

Tabla III.17. Contenido de Potasio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

POTASIO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	0,84 bc <sup>2</sup>	0,88 a	0,83 a	0,85 c
	HC	0,62 abA	0,66 aA	0,79 aB	0,87 cB
	HF	1,03 c	1,12 b	1,12 b	1,21 d
	CTC	0,74 ab	0,69 a	0,71 a	0,75 bc
	PC	0,73 ab	0,81 a	0,82 a	0,69 abc
	PO	0,74 abB	0,76 aB	0,73 aB	0,60 abA
	PA	0,60 a	0,74 a	0,72 a	0,53 a
Pecíolo	CT	0,90 a	1,06 a	1,35 a	0,73 a
	HC	0,54 aA	0,59 aA	0,95 aB	0,68 aA
	HF	1,77 b	1,84 b	2,15 b	1,88 b
	CTC	0,79 aA	0,67 aA	1,05 aB	0,65 aA
	PC	0,67 aA	0,56 aA	0,90 aB	0,50 aA
	PO	0,77 aB	0,76 aB	1,01 aC	0,51 aA
	PA	0,48 aAB	0,51 aAB	0,76 aB	0,29 aA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los niveles nutricionales de K para el subgrupo CT pueden considerarse óptimos en el limbo y óptimos-altos en pecíolo, excepto en el año 2013 que pasa a óptimo bajo. El subgrupo CTC presenta niveles óptimos bajos en limbo, y bajos y óptimos bajos en pecíolo (García-Escudero *et al.* 2013). El subgrupo HF no mostró variaciones significativas en los niveles de K para los diferentes ciclos anuales, encontrándose niveles óptimos altos tanto en limbo como en pecíolo.

En principio, el pecíolo resultó un indicador más sensible del K con relación a las variaciones climáticas interanuales, y el limbo lo supuso a la hora de detectar diferencias entre subgrupos de suelos. No obstante parece necesario con el objeto de

discriminar diferencias entre subgrupos de suelos dentro de un ciclo anual, el tener en cuenta tanto los niveles de K en limbo como en pecíolo.

Al contrario de lo que ha ocurrido con el P, los niveles de K en pecíolo para Tempranillo en enero difieren de forma significativa, siendo en general más altos que los determinados en la variedad Shiraz (0,53% ms) en Australia (White, 2015). Sin embargo, los niveles de K en pecíolo son del mismo orden que los indicados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (0,52-2,69%).

Los suelos que inducen mayores niveles de K en pecíolo (van Leeuwen *et al.*, 2004) son los suelos con gravas (3,45% sms), seguidos de los arenosos (3,16% sms), y finalmente los arcillosos (2,50% sms). En nuestro estudio, el único subgrupo de suelos que se ha diferenciado del resto en los niveles de K en pecíolo es el HF, de textura franca, con profundidad efectiva alta y elevada reserva potencial de agua. Además estos autores, estiman los niveles de K en pecíolo en la región Burdeos en un intervalo entre 2,50 - 3,42% sms, más elevados a los mostrados para la variedad Tempranillo (0,29 a 2,15% sms).

En la Tabla 4 del Anexo III, la profundidad efectiva y la reserva de agua útil ( $n=198$ ,  $p < 0,01$ ) correlacionan de forma positiva con el K en limbo ( $r= 0,566$ ;  $r= 0,501$ ) y el K en pecíolo ( $r= 0,535$ ;  $r= 0,477$ ). Además, el K y el Mg del horizonte superficial (Ap) se relacionan con el K en limbo ( $r= 0,434$ ;  $r= 0,700$ ) y el K en pecíolo ( $r= 0,527$ ;  $r= 0,706$ ) del respectivamente.

Por su parte, en la Tabla 12 del Anexo III, se muestra una fuerte correlación positiva entre los niveles de K en pecíolo y K en limbo ( $r = 0,868$ ). Asimismo, cabe señalar que los niveles de K en pecíolo correlacionan negativamente con los de Mg ( $r = -0,425$ ) y con los de C ( $r= -0,420$ ) en pecíolo (Anexo III, Tabla 14). La correlación negativa entre K y Mg puede tener su origen en el antagonismo de estos dos nutrientes en el suelo. Una elevada concentración de K en el suelo reduce la asimilación de Mg por las raíces (Navarro, 2003).

Finalmente, no se ha puesto de manifiesto una posible interacción entre N y K en las vides de Tempranillo, que hubiese producido niveles más bajos de K en pecíolo

debido al suplemento de fuentes nitrogenadas. Ello podría ser debido muy probablemente al equilibrio en la relación K a N, que se ha mantenido entre 1 y 2 (White, 2015).

#### III.4.4. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE CALCIO (Ca)

Los niveles de Ca presentaron variaciones significativas entre subgrupos de suelos en el periodo estudiado. Como se muestra en la Tabla III.18, los subgrupos CT, CTC, y PO destacaron por sus niveles óptimos altos de este elemento. Para los Calcixerepts, CT y CTC, las concentraciones más elevadas se detectaron en limbo y para el subgrupo PO en el pecíolo. Los mayores niveles de Ca en los tejidos foliares para los subgrupos CT, CTC, y PO podrían asociarse a su mayor contenido de carbonatos en los horizontes cálcicos (Bk, Ck) y petrocálcicos (Bkm, Ckm).

Tabla III.18. Contenido de Calcio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

CALCIO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	3,42 <b>bB</b> <sup>2</sup>	3,42 <b>bB</b>	3,45 <b>abcB</b>	3,07 <b>abA</b>
	HC	3,05 <b>a</b>	3,11 <b>a</b>	3,20 <b>a</b>	3,05 <b>ab</b>
	HF	3,35 <b>abC</b>	3,09 <b>aB</b>	3,24 <b>aBC</b>	2,91 <b>aA</b>
	CTC	3,11 <b>aA</b>	3,53 <b>bB</b>	3,65 <b>cB</b>	3,45 <b>cB</b>
	PC	3,11 <b>aAB</b>	3,17 <b>aAB</b>	3,35 <b>abB</b>	2,92 <b>aA</b>
	PO	3,52 <b>b</b>	3,31 <b>ab</b>	3,53 <b>bc</b>	3,43 <b>c</b>
	PA	3,09 <b>a</b>	3,08 <b>a</b>	3,23 <b>a</b>	3,13 <b>b</b>
Pecíolo	CT	1,92 <b>abAB</b>	1,74 <b>aA</b>	2,14 <b>abcB</b>	2,10 <b>abB</b>
	HC	1,77 <b>aA</b>	1,77 <b>aA</b>	2,16 <b>abcB</b>	2,21 <b>abcB</b>
	HF	2,02 <b>abAB</b>	1,76 <b>aA</b>	2,03 <b>abAB</b>	2,40 <b>cB</b>
	CTC	2,20 <b>bc</b>	2,15 <b>bc</b>	2,27 <b>bc</b>	2,34 <b>bc</b>
	PC	2,09 <b>bc</b>	1,97 <b>ab</b>	2,21 <b>abc</b>	1,97 <b>a</b>
	PO	2,34 <b>cA</b>	2,25 <b>cA</b>	2,34 <b>cA</b>	2,69 <b>dB</b>
	PA	2,10 <b>bcB</b>	1,81 <b>aA</b>	1,98 <b>aAB</b>	2,14 <b>abcB</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

No se observaron variaciones interanuales para los subgrupos HC, PO y PA en limbo ni en CTC y PC en pecíolo. En este último tejido y para estos subgrupos, se observó como años con precipitaciones más generosas daban niveles significativamente más elevados de calcio. Sin embargo, para los subgrupos CT, HF, y PC sus niveles

descendieron de óptimos altos a óptimos bajos en limbo según los niveles de referencia para Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja (García-Escudero *et al.* 2013). Los subgrupos del orden Alfisoles HC, PC, y PA presentaron, por lo general, menor concentración de calcio con niveles óptimos-bajos en limbo y óptimos en pecíolo.

En Tempranillo, los niveles de Ca en pecíolo son significativamente menores respecto a los indicados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (2,16-3,89%).

Por su parte, los niveles de Ca en pecíolos de Tempranillo han sido similares a los obtenidos en la variedad Cabernet Sauvignon (1,82-2,21% sms) por Shange y Conradie (2012).

En la Tabla 3 del Anexo III, se indica una correlación positiva y puntual de la Pr\_abr-oct con el Ca en pecíolo ( $r=0,403$ ). En la tabla 12 del Anexo III, se observa una relación positiva entre el Ca en pecíolo y el Ca en limbo ( $r= 0,425$ ,  $n= 198$ ,  $p<0,01$ ). Sin embargo, no se han puesto de manifiesto correlaciones entre el Ca y otros macroelementos como N, P, K o Mg.

#### III.4.5. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE MAGNESIO (Mg)

El elemento Mg mostró variaciones significativas entre subgrupos de suelos en limbo y pecíolo, durante el periodo de estudio. Las variaciones interanuales de Mg se detectaron especialmente en limbo para todos los subgrupos, a excepción del CT. Los subgrupos CT y PA presentaron en limbo los niveles más altos de Mg, catalogados como óptimos y óptimos bajos, respectivamente. Para el resto de subgrupos, los niveles de Mg fueron, por lo general, bajos tanto para limbos como para pecíolos (García-Escudero *et al.*, 2013).

Se comprueba como el Mg en limbo presenta mayores variaciones interanuales (efecto añada) que el Mg en pecíolo. En este último tejido, únicamente el subgrupo de suelos HC presenta diferencias significativas de Mg entre los diferentes años de estudio. Por lo general, el subgrupo PA es el que presenta mayores contenidos de Mg en hojas. Esta observación puede deberse a los niveles de K del suelo más bajos para este

subgrupo, de tal modo que al disminuir la disponibilidad de K en el suelo, podría minimizarse el antagonismo del K frente al Mg.

Tabla III.19. Contenido de Magnesio (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

MAGNESIO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	0,379 b <sup>2</sup>	0,346 c	0,399 bc	0,336 cd
	HC	0,287 aA	0,316 bcA	0,345 abB	0,288 bcA
	HF	0,250 aAB	0,223 aA	0,294 aB	0,217 aA
	CTC	0,259 aA	0,295 bcAB	0,343 abB	0,266 abAB
	PC	0,235 aA	0,272 abAB	0,323 aB	0,269 abAB
	PO	0,287 aA	0,288 abcA	0,354 abB	0,299 bcAB
	PA	0,357 bA	0,358 cA	0,440 cB	0,391 dAB
Pecíolo	CT	0,775 bc	0,726 c	0,723 bc	0,683 bc
	HC	0,514 aA	0,635 bcC	0,587 abBC	0,569 abAB
	HF	0,479 a	0,453 a	0,487 a	0,467 a
	CTC	0,528 a	0,514 ab	0,531 a	0,490 a
	PC	0,469 a	0,620 bc	0,621 ab	0,532 a
	PO	0,619 ab	0,653 bc	0,616 ab	0,607 ab
	PA	0,855 c	0,771 c	0,772 c	0,805 c

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerals cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los niveles determinados de Mg en pecíolos, entre 0,453% y 0,805% sms, son similares a los obtenidos por van Leeuwen *et al.* (2004), variando para estos autores entre 0,49 y 0,95% sms, si bien encontraron diferencias entre las variedades Merlot, Cabernet Sauvignon y Cabernet franc. Asimismo, observaron diferencias en los niveles de Mg en pecíolo para las añadas con mayor precipitación. Estos resultados no han sido reproducidos en este trabajo, ya que como se ha comentado el Mg peciolar no ha experimentado variaciones interanuales, excepto para el subgrupo HC, que equivaldría al suelo con presencia elevada de gravas.

En nuestro estudio, los niveles de Mg en pecíolos de la variedad Tempranillo son significativamente menores respecto a los encontrados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (0,74-2,44%).

El Mg en pecíolo y en limbo no correlaciona fuertemente con ningún elemento climático estudiado. Respecto a los parámetros edáficos (Anexo III, Tabla 4), el Mg en pecíolo se relaciona de forma negativa con el K del horizonte superficial ( $r = -0,422$ ).

Para Tempranillo (Anexo III, Tabla 12), el Mg en pecíolo también se corresponde negativamente con el K en limbo ( $r = -0,487$ ,  $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ). Finalmente, comentar que se correlacionan de forma positiva los niveles de Mg en pecíolo y en limbo ( $r = 0,751$ ,  $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ). En la Tabla 14 del Anexo III, se indica una relación ( $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ) negativa entre los niveles de K y Mg en pecíolo ( $r = -0,425$ ), que también describe van Leeuwen *et al.* (2004), aunque este autor registra un  $r$  mayor en valor absoluto ( $r = -0,63$ ,  $n = 36$ ,  $p < 0,01$ ).

#### III.4.6. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LA RELACIÓN FOLIAR POTASIO/MAGNESIO (K/Mg)

Para la relación K/Mg se observaron diferencias significativas entre subgrupos de suelos. Las variaciones interanuales fueron algo más interpretables en pecíolo que en limbo. En el pecíolo, se observó para los subgrupos HC, CTC, PC, PO y PA un progresivo aumento de la relación para años con precipitaciones normales encontrándose que descendía en años secos y lluviosos. El subgrupo HF destacó por los elevados valores de la relación K/Mg, tanto en pecíolo como en limbo, para el periodo 2010-2013. Por el contrario, fue el subgrupo PA el que presentó menores valores de dicha relación.

Los valores de esta relación son, en general, mucho más bajos que los estimados en el trabajo de van Leeuwen *et al.* (2004), de forma similar a lo que ocurría con los niveles de K en pecíolo. Asimismo estos autores, obtienen para esta relación diferencias significativas entre los 3 tipos de suelos, resultado que también obtenemos en nuestro estudio de los siete subgrupos de suelos seleccionados. Los valores de la relación K/Mg en pecíolo son significativamente mayores en Tempranillo respecto a los encontrados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (0,70-1,10%), imputable a los altos niveles de Mg.

En la Tabla 12 del Anexo III, hemos observado que para Tempranillo la relación K/Mg en limbo correlaciona ( $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ) de forma positiva con el N en pecíolo ( $r = 0,451$ ), el K en pecíolo ( $r = 0,772$ ) y con la relación K/Mg en pecíolo ( $r = 0,830$ ), pero lo hace negativamente con el Mg en pecíolo ( $r = -0,612$ ).

Tabla III.20. Relación Potasio/Magnesio en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

		Relación K/ Mg			
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	2,44 ab <sup>2</sup>	2,86 a	2,27 ab	2,81 b
	HC	2,16 abA	2,14 aA	2,32 abA	3,04 bB
	HF	4,22 c	5,51 b	3,92 c	5,97 c
	CTC	2,91 b	2,50 a	2,18 ab	2,84 b
	PC	3,16 b	3,16 a	2,58 b	2,71 b
	PO	2,73 abB	2,70 aB	2,10 abA	2,08 abA
	PA	1,66 aAB	2,05 aB	1,62 aAB	1,39 aA
Pecíolo	CT	1,58 a	2,21 a	2,30 b	1,41 a
	HC	1,05 aA	0,95 aA	1,65 abB	1,20 aA
	HF	3,62 b	4,14 b	4,41 c	4,03 b
	CTC	1,52 aA	1,34 aA	2,09 abB	1,37 aA
	PC	1,45 aAB	0,94 aA	1,47 abB	1,03 aAB
	PO	1,31 aB	1,24 aB	1,71 abC	0,86 aA
	PA	0,55 aAB	0,70 aAB	0,97 aB	0,36 aA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

La relación K/Mg se presenta con valores altos en suelos de profundidad efectiva elevada, con menores limitaciones en la disponibilidad de agua, y de carácter fluvéntico, como el subgrupo HF. Sin embargo, es baja en suelos con menor agua disponible, de profundidad efectiva media a baja y con un horizonte subsuperficial limitante (subgrupo PO).

#### III.4.7. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE HIERRO (Fe)

En general, se observó que los valores foliares de Fe para la totalidad de subgrupos de suelos eran bajos, y únicamente se detectaron óptimos-bajos para el subgrupo PC en 2012 y 2013, PO en 2011, HF en 2013, y PA en 2013, según referencias para Tempranillo de García-Escudero *et al.* (2013). Respecto a las variaciones interanuales, se observó cierta tendencia a encontrar niveles más altos de Fe en años con mayor precipitación (2013).

Es posible afirmar, que los subgrupos pertenecientes al orden de los Alfisoles: un Haploxeralfs (HC) y dos Palexeralfs (PC y PA), presentaron mayor disponibilidad de Fe en los tejidos foliares, junto con HF y CT. Los subgrupos CTC y PO aportaron en

los tejidos foliares una menor concentración de Fe. Tales tendencias podrían asociarse al mayor contenido de carbonatos y caliza activa en el horizonte Ap de los subgrupos CTC y PO (Figura III.12 y Tabla III.7), ya que el ión carbonato es el factor que provoca la reducción de la concentración de  $\text{Fe}^{+3}$  en la solución del suelo. Similares resultados fueron encontrados por Reyes *et al.* (2006), coincidiendo menor Fe foliar con mayor presencia de carbonatos en los suelos.

Tabla III.21. Contenido de Hierro (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

HIERRO					
ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	77 <b>bA</b> <sup>2</sup>	90 <b>AB</b>	93 <b>bcB</b>	98 <b>bB</b>
	HC	86 <b>bc</b>	89	95 <b>bc</b>	90 <b>ab</b>
	HF	87 <b>cA</b>	91 <b>AB</b>	78 <b>abA</b>	106 <b>bB</b>
	CTC	64 <b>aA</b>	89 <b>B</b>	80 <b>abAB</b>	79 <b>abAB</b>
	PC	87 <b>cA</b>	90 <b>A</b>	102 <b>cAB</b>	146 <b>cB</b>
	PO	67 <b>a</b>	108	65 <b>a</b>	72 <b>a</b>
	PA	80 <b>bcA</b>	91 <b>AB</b>	78 <b>abA</b>	101 <b>bB</b>
Pecíolo	CT	25 <b>abB</b>	17 <b>A</b>	24 <b>cB</b>	31 <b>eC</b>
	HC	34 <b>cB</b>	20 <b>A</b>	23 <b>bcA</b>	23 <b>bcdA</b>
	HF	26 <b>bAB</b>	21 <b>A</b>	22 <b>bcA</b>	28 <b>deB</b>
	CTC	19 <b>a</b>	22	17 <b>ab</b>	19 <b>ab</b>
	PC	23 <b>abAB</b>	17 <b>A</b>	21 <b>abcAB</b>	24 <b>cdB</b>
	PO	19 <b>a</b>	18	16 <b>a</b>	20 <b>abc</b>
	PA	19 <b>aAB</b>	22 <b>B</b>	25 <b>cC</b>	16 <b>aA</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los niveles de Fe en pecíolo en Tempranillo son bastante más bajos respecto a los encontrados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (47-195 ppm).

El elemento Fe en tejido foliar no correlaciona fuertemente con ningún parámetro climático, ni edafológico, ni con otros micronutrientes o macronutrientes. En la Tabla 4 del Anexo III, se ha constatado la existencia de correlaciones ( $n=198$ ,  $p < 0,01$ ) negativas y significativas del Fe en pecíolo con los carbonatos del suelo ( $r = -0,357$ ), y con la caliza activa ( $r = -0,348$ ). El ión bicarbonato en la solución del suelo puede bloquear, entre otros factores, la absorción de hierro a nivel radicular (Navarro, 2003; Porta *et al.*, 2003; Böhm, 2011).

Para explicar el comportamiento de los Alfisoles podría relacionarse con la presencia en su perfil edáfico de un horizonte argílico, que tiene de moderada a alta CIC. Además, este horizonte para su formación requiere la translocación previa de los carbonatos para la posterior dispersión de las arcillas, por ello, su contenido es bajo en carbonato cálcico. Los subgrupos HF y CT también presentan bajos porcentajes de carbonatos equivalentes.

#### III.4.8. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE MANGANESO (Mn)

Con relación al manganeso, se destaca la escasa variación de sus niveles en pecíolo, tanto entre subgrupos como especialmente entre años. Únicamente se detectaron diferencias apreciables entre el subgrupo HC, con niveles óptimos altos y el resto de los subgrupos, con niveles óptimos bajos, según referencias para Tempranillo de García-Escudero *et al.* (2013).

Si hablamos del limbo, los niveles de Mn resultan significativamente diferentes entre subgrupos a lo largo del estudio, excepto en el 2012. En este año, los niveles evaluados de Mn para la totalidad de los subgrupos fueron bastante uniformes. Entre ellos, destacó el subgrupo HC, con mayor presencia de Mn en limbo, y con niveles catalogados como altos.

La mayor concentración de Mn en los tejidos foliares en el subgrupo HC, podría ser debido a la mayor probabilidad de condiciones anaérobicas o de reducción en los horizontes subsuperficiales. Indicadores de estas condiciones serían las manchas negras de reducción descritas en alguna calicata de este subgrupo. El Mn en estado reducido es mucho más soluble que en su estado oxidado (Porta, 2003), por lo que en estos horizontes subsuperficiales las raíces pueden asimilar Mn más fácilmente que en otros subgrupos de suelos.

Reynolds *et al.* (2007), encuentra niveles de Mn en pecíolo de la variedad Riesling que varían entre 22 y 231 ppm. En Tempranillo, los niveles detectados son del orden de los valores mínimos en Riesling siendo los máximos muy superiores a los de la Tabla III.23 de nuestro estudio. Estos niveles bajos de Mn en pecíolo, excepto en el

subgrupo HC, podrían explicarse por el pH ligeramente básico del suelo (pH= 8-8,2), que hace relativamente insoluble a este micronutriente (Lambert *et al.*, 2010).

Tabla III.22. Contenido de Manganeso (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

MANGANESO					
ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	141 ab <sup>2</sup>	108 ab	122	112 a
	HC	110 a	189 b	250	193 b
	HF	192 bC	141 abAB	160 B	136 abA
	CTC	141 abB	82 aA	173 B	130 abAB
	PC	205 bB	129 abA	155 A	111 aA
	PO	114 aBC	73 aA	134 C	95 aAB
	PA	141 ab	141 ab	150	122 ab
Pecíolo	CT	80	59 a	63 a	68 a
	HC	39	127 b	153 b	141 b
	HF	48	41 a	57 a	62 a
	CTC	37	28 a	50 a	30 a
	PC	78	61 a	75 ab	44 a
	PO	32 B	20 aA	30 aB	30 aB
	PA	66	33 a	61 a	51 a

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

El Mn en tejido foliar no correlaciona con ningún parámetro climático, ni edafológico, ni con otros micronutrientes o macronutrientes. Se observa en la Tabla 12 del Anexo III, una correlación positiva entre el Mn en pecíolo y el Mn en limbo ( $r = 0,849$ ,  $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ), relación que también se ha encontrado para limbo y pecíolo con otros macroelementos minerales (P, K y Mg).

#### III.4.9. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE ZINC (Zn)

Los niveles de Zn se mostraron en un intervalo de variación pequeño entre subgrupos, de tal forma, que se observaron las siguientes tendencias. En limbo, los subgrupos PO y PA aportaron niveles más bajos de Zn, especialmente en los años 2010 y 2013. Con respecto al pecíolo, destacó el subgrupo CTC por sus niveles más elevados, y el PO por sus bajos niveles. Por lo tanto, los valores de Zn estimados permiten discriminar entre algunos tipos de suelos, como figura en la Tabla III.23.

El análisis interanual proporcionó información de que las concentraciones de Zn en tejido foliar aumentan en años con precipitaciones normales (2012). Los niveles que se estimaron se incluyen en las categorías óptimo y óptimo-alto según referencias para Tempranillo de García-Escudero *et al.* (2013).

Tabla III.23. Contenido de Zinc (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

ZINC ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	20 ab <sup>2</sup>	19 b	22 ab	20 b
	HC	17 aA	16 abA	22 abB	18 abA
	HF	20 abB	19 bB	20 abB	15 abA
	CTC	24 b	16 ab	25 b	20 b
	PC	20 abB	15 abA	19 aB	15 abA
	PO	16 aBC	12 aA	19 abC	14 aAB
	PA	15 aA	19 bB	21 abB	13 aA
Pecíolo	CT	23	29 b	36 b	18 ab
	HC	15 A	19 abAB	27 abB	21 abAB
	HF	23	23 ab	27 ab	24 ab
	CTC	19	19 ab	26 ab	27 b
	PC	18 A	15 aA	24 abB	14 abA
	PO	15 AB	14 aAB	19 aB	11 aA
	PA	23 A	23 abA	35 abB	19 abA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palxeralfs cálcico; PO, Palxerolls petrocálcico; PA, Palxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los niveles de Zn en pecíolo para Tempranillo son menores respecto a los observados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (31-123 ppm). Los valores mínimos de Zn en pecíolo para Riesling superan a los niveles más altos detectados en los pecíolos de Tempranillo.

No se han encontrado correlaciones del Zn foliar ( $n=198$ ,  $p < 0,01$ ) con parámetros climáticos, ni edáficos, ni con otros micronutrientes o macronutrientes. En la Tabla 12 del Anexo III, se observa una correlación positiva entre los niveles de Zn en pecíolo y en limbo ( $r = 0,681$ ).

Asimismo, en la Tabla 13 del Anexo III, se aprecia una relación positiva del Zn en limbo con el K en limbo ( $r = 0,414$ ), y negativa con el C en limbo ( $r = -0,425$ ). El Zn en pecíolo correlaciona positivamente con el P ( $r = 0,508$ ) y con el K ( $r = 0,503$ ) en pecíolo (Anexo III, Tabla 14).

### III.4.10. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE COBRE (Cu)

El cobre presentó grandes variaciones interanuales que podrían estar asociadas a la climatología, concretamente, al régimen de precipitaciones a lo largo del ciclo vegetativo y reproductivo de la vid, que determina la frecuencia y las dosis de aplicación del Cu como fungicida.

Respecto a las añadas, a lo largo del 2013 los niveles de este elemento en limbo fueron óptimos, óptimo altos y altos, donde destacaron los subgrupos HC y HF, con niveles especialmente altos, según referencias para Tempranillo de García-Escudero *et al.* (2013). Sin embargo, en el año 2012 con un régimen de precipitaciones considerado normal, fueron bajos para la totalidad de subgrupos, excepto para el HC. Por su parte, se observaron diferencias significativas entre subgrupos de suelos en los niveles de Cu, especialmente en los limbos.

Tabla III.24. Contenido de Cobre (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

COBRE ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	8 aA <sup>2</sup>	164 abB	8 aA	198 aB
	HC	142 bA	271 bA	183 bA	492 bB
	HF	511 cB	178 abA	37 aA	481 bB
	CTC	9 aA	268 bB	7 aA	156 aB
	PC	11 aA	90 aAB	6 aA	142 aB
	PO	7 aA	159 abB	6 aA	137 aB
	PA	77 abAB	81 aAB	25 aA	118 aB
Pecíolo	CT	5 aA	17 A	3 aA	35 bB
	HC	24 bA	25 A	20 cA	53 cB
	HF	79 cC	20 A	9 bA	44 bcB
	CTC	5 aB	30 D	3 aA	20 aC
	PC	5 aA	14 B	3 aA	20 aB
	PO	5 aA	25 B	2 aA	19 aB
	PA	14 ab	14	5 a	14 a

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Los niveles de Cu en pecíolo son apreciablemente menores en Tempranillo respecto a los observados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (3-498 ppm). Los

niveles mínimos de Cu son similares pero el máximo encontrado por este autor supera en 10 veces los valores más altos estimados en pecíolos de Tempranillo.

El Cu en tejido foliar no correlaciona fuertemente con ningún parámetro climático, ni edafológico, ni con otros micronutrientes o macronutrientes del tejido foliar. Como ha sucedido con otros macro y microelementos minerales (P, K, Mg, Mn y Zn), se ha encontrado una relación positiva entre Cu en pecíolo y Cu en limbo ( $r = 0,906$ ,  $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ), como se indica en la Tabla 12 del Anexo III.

#### III.4.11. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE BORO (B)

Los niveles de boro en el tejido foliar presentaron diferencias significativas entre los siete subgrupos, en el periodo 2010-2013. En concreto, destacó la concentración de B en pecíolo para los subgrupos CT, CTC y PO, catalogados estos como óptimo bajos y óptimos. El resto de los subgrupos de suelos alcanzaron niveles bajos. Este mismo comportamiento se produjo en limbo para CT y CTC, con niveles óptimo altos y altos según referencias para Tempranillo en Rioja de García-Escudero *et al.* (2013).

Tabla III.25. Contenido de Boro (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

BORO ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	50 cA <sup>2</sup>	41 cA	50 cdA	74 cB
	HC	37 ab	46 c	41 ab	44 a
	HF	36 abAB	33 abA	41 abBC	44 aC
	CTC	46 bcA	40 bcA	47 bcAB	55 abB
	PC	37 abA	41 bcA	57 dAB	70 bcB
	PO	35 aA	38 abcAB	35 aA	40 aB
	PA	36 aA	32 aA	37 aAB	43 aB
Pecíolo	CT	34 bA	37 dB	37 dB	35 cA
	HC	28 aA	32 bcB	31 abB	32 bB
	HF	29 aA	31 abcA	30 aA	35 cB
	CTC	32 b	32 bc	35 bcd	31 b
	PC	29 a	29 a	32 abc	31 b
	PO	33 bAB	34 cdAB	37 cdB	31 bA
	PA	28 a	28 a	30 ab	27 a

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

En relación al factor añada, se presentaron niveles más altos de B en limbo para la totalidad de subgrupos en el año 2013, probablemente relacionado con precipitaciones más elevadas. Esta pauta no se reprodujo en pecíolos.

Los niveles de B en pecíolo estimados por Reynolds *et al.* (2007) en Riesling (26-41 ppm), son del mismo orden respecto a los observados para Tempranillo en este estudio.

El B en tejido foliar no se ha correlacionado con ningún parámetro climático, ni edafológico, ni con otros micronutrientes o macronutrientes minerales foliares.

#### III.4.12. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE SODIO (Na)

El elemento sodio presentó niveles significativamente diferentes en el limbo entre los subgrupos de suelos, excepto en la añada 2012. En el caso de los pecíolos, las concentraciones de Na estimadas fueron más altas respecto a los limbos, pero no se apreciaron diferencias significativas entre los subgrupos de suelos.

Tabla III.26. Contenido de Sodio (ppm) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

SODIO ppm					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	61 <b>bAB</b> <sup>2</sup>	79 <b>bcB</b>	53 <b>A</b>	74 <b>bB</b>
	HC	49 <b>ab</b>	56 <b>a</b>	58	67 <b>ab</b>
	HF	50 <b>abA</b>	77 <b>abcB</b>	50 <b>A</b>	65 <b>abAB</b>
	CTC	55 <b>abA</b>	68 <b>abAB</b>	61 <b>AB</b>	76 <b>bB</b>
	PC	39 <b>aA</b>	93 <b>cB</b>	55 <b>A</b>	60 <b>abA</b>
	PO	39 <b>aA</b>	63 <b>abB</b>	41 <b>A</b>	51 <b>aAB</b>
	PA	45 <b>ab</b>	61 <b>ab</b>	51	54 <b>ab</b>
Pecíolo	CT	84 <b>A</b>	92 <b>AB</b>	97 <b>aAB</b>	107 <b>B</b>
	HC	84 <b>A</b>	84 <b>A</b>	86 <b>aA</b>	110 <b>B</b>
	HF	74 <b>A</b>	98 <b>AB</b>	73 <b>aA</b>	108 <b>B</b>
	CTC	91 <b>AB</b>	106 <b>B</b>	76 <b>aA</b>	100 <b>AB</b>
	PC	79 <b>A</b>	104 <b>AB</b>	136 <b>bB</b>	91 <b>AB</b>
	PO	74 <b>A</b>	102 <b>B</b>	79 <b>aA</b>	81 <b>A</b>
	PA	77	106	93 <b>a</b>	85

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerals cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

En el análisis interanual, se observó como los niveles de sodio en limbo presentaban niveles mayores en los años 2011 y 2013, siendo algo menores en 2010 y 2012. Asimismo, esta pauta se observó en los niveles estimados en pecíolos. En principio, este comportamiento no pudo relacionarse con el régimen de precipitaciones, debido a que 2011 fue un año seco y 2013 fue calificado como lluvioso.

El Na en tejido foliar no correlaciona fuertemente con ningún parámetro climático, ni edafológico, ni con otros micronutrientes o macronutrientes en tejido foliar.

#### III.4.13. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS NIVELES FOLIARES DE CARBONO

El carbono (C) presentó variaciones entre subgrupos dentro de los años a estudio, excepto en el 2012 para el C en limbo, así se observaron también diferencias interanuales para un mismo subgrupo. Sin embargo, no se observaron pautas repetitivas que explicasen estas diferencias significativas respecto al contenido en carbono en los tejidos foliares.

Tabla III.27. Contenido de Carbono (% sms) en tejido foliar (limbo y pecíolo) de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013 (envero).

CARBONO					
%					
Tejido	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Limbo	CT <sup>1</sup>	47,3 aA <sup>2</sup>	48,2 abAB	48,7 B	48,1 aAB
	HC	48,3 b	49,1 bc	48,4	48,6 abc
	HF	47,5 abA	48,5 abcC	47,9 B	48,3 abBC
	CTC	47,4 aA	48,0 aAB	48,4 B	48,0 aAB
	PC	47,5 abA	48,4 abcA	48,1 A	49,4 cB
	PO	47,6 abA	49,3 cC	48,6 B	49,1 bcBC
	PA	47,3 aA	48,4 abcB	48,2 B	48,4 abB
Pecíolo	CT	43,8 bAB	45,5 aC	43,1 abA	44,73 bcBC
	HC	44,2 abA	46,3 cC	44,9 cB	44,9 cB
	HF	43,1 aA	45,3 aB	43,6 abA	43,2 aA
	CTC	44,4 bcB	45,7 abC	43,1 aA	43,9 abcAB
	PC	44,9 cAB	45,7 abB	44,2 bcAB	43,5 aA
	PO	44,3 abA	46,1 bcB	44,2 bcA	44,2 abcA
	PA	44,2 abB	45,8 abcC	44,0 abcAB	43,6 abA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Destacar que el subgrupo de suelos HF mostró siempre los contenidos más bajos en este elemento, en pecíolo. Los niveles más altos de C en pecíolo correspondieron al año 2011, un año con escasez de precipitaciones.

En limbos, se pudo comprobar que los niveles de C variaron de forma interanual con relación al volumen real de suelo. Por ello, se podrían relacionar los suelos con mayor profundidad efectiva a valores más altos de C, en añadas con precipitación media normal. Los suelos de profundidad efectiva media-alta, CT y CTC, mostraron mayores niveles de C en añadas con precipitaciones consideradas normales. Los suelos HC que contienen mayor porcentaje de gravas (menor volumen real de suelo) no presentaron variaciones de C entre años, en limbo.

No ha sido posible comparar y evaluar los niveles de C en tejido foliar de Tempranillo con otros niveles de referencia contrastados.

En la Tabla 3 del Anexo III, se ve como el C en pecíolo correlaciona ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) positivamente con la  $T^a$  m ( $r= 0,447$ ), y negativamente tanto con la Pr\_abr-oct ( $r= -0,508$ ), como con la Pr\_sept-oct ( $r= -0,543$ ). Por su parte, el C en limbo se relaciona con el IF ( $r=0,425$ ). No se han encontrado correspondencias entre el C foliar y los parámetros edáficos, ni con otros elementos nutricionales: micronutrientes o macronutrientes del tejido foliar.

#### III.4.14. CONSIDERACIONES SOBRE LOS NIVELES DE NUTRIENTES EN TEJIDO FOLIAR CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Aunque los niveles de N en limbo podrían estar más influenciados por la añada, y los de N en pecíolo por el tipo de suelo, cabe destacar que ambos niveles experimentan variaciones con relación al subgrupo de suelos. En añadas con precipitaciones superiores a la media (2013), se observan niveles de N en limbo considerablemente más bajos para casi la totalidad de subgrupos de suelos, excepto el HF, que presenta un valor similar independiente de la añada. Esta observación sobre el posible efecto de un exceso de precipitación, se ha realizado previamente para los niveles de nitrógeno extraíble del suelo. Por su parte, los niveles de N en pecíolo se han mantenido más o menos constantes entre añadas. Analizando las correlaciones

establecidas, se observa como el N en limbo se relaciona bien con elementos climáticos y con algunos parámetros edáficos. En el caso del N en pecíolo, presenta correlaciones significativas positivas con la profundidad efectiva y la reserva útil del suelo.

Entre los subgrupos de suelos, destaca el HF con una profundidad efectiva alta y una reserva de agua elevada, características o propiedades que podrían explicar los niveles más altos de N en limbo y pecíolo. En los suelos de este subgrupo, también se han determinado los contenidos más altos tanto de  $\text{N-NO}_3^-$  como de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble de origen edáfico.

Los niveles más bajos de N foliar se han estimado para los subgrupos de suelos CTC y PO. Podríamos asociar este comportamiento con la presencia en estos suelos de un horizonte cálcico y un petrocálcico respectivamente, que pudieran limitar la mineralización del N orgánico. Además, en el caso del subgrupo PO los suelos presentan una profundidad efectiva y una reserva útil de agua bajas.

Los valores intermedios de N foliar se han dado para los subgrupos de suelos CT, HC, PC, PA, es decir, suelos con profundidades efectivas de altas a medias. Incluso en el caso del subgrupo CT podría influir un contenido moderado en carbonatos equivalentes, y en los subgrupos HC, PC, y PA la presencia de un horizonte argílico, en cuyo límite inferior se sitúa un horizonte cálcico (HC y PC) o un petrocálcico (PA).

Los subgrupos marcan diferencias en lo que a contenido foliar de P se refiere. Una vez más el subgrupo HF, acompañado del subgrupo PA, mostraron los niveles más altos de P en limbo y en pecíolo. En contraposición, es el subgrupo PO el que presentó los niveles más bajos. El resto de los subgrupos (CT, HC, CTC y PC) se ha mantenido en unos niveles intermedios. Las variaciones del P podrían explicarse en base a los mismos argumentos que se han utilizado para el N foliar, es decir, propiedades de los suelos como la profundidad efectiva y la reserva útil para los subgrupos HF y PO, y en el caso particular de PA (Palexeralfs petrocálcico) a través de la presencia de un horizonte argílico, con un mayor contenido en arcilla y con una moderada CIC.

Con relación a las variaciones interanuales, no se observaron grandes diferencias en los contenidos de P en limbo y en pecíolo. Parece por tanto que el P foliar dependería

más del tipo de suelo que de los elementos climáticos, y en este contexto los niveles de P en hoja dependerían de propiedades los suelos como la profundidad efectiva, la reserva de agua, el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.

El K en limbo discrimina mejor a los subgrupos de suelos que el K en pecíolo. El subgrupo HF presentó los niveles más elevados, tanto de K en limbo como de K en pecíolo, comportamiento también sucedido y comentado con el N y el P. Estableciendo una gradación de valores de K en limbo, encontramos en cabeza al subgrupo HF, le seguiría el subgrupo CT en una posición intermedia y tendríamos un grupo con los niveles más bajos formado por los subgrupos de suelo HC, CTC, PC, PO y PA.

Los niveles de K en pecíolo diferencian al subgrupo HF del resto en los cuatro años del estudio. Este tipo de suelos (HF) presenta elevada la profundidad efectiva y su reserva útil de agua, destacándose además por su fertilidad, con mayores niveles de N extraíble y presencia de materia orgánica a lo largo del perfil, debido a su carácter fluvéntico. Asimismo, es el subgrupo de suelos que presenta los niveles más altos de K y Mg en el horizonte superficial. Por su parte, el subgrupo CT responde también a suelos de profundidad efectiva y reserva útil de agua altas, pero con niveles medios de K en el horizonte Ap.

Con relación a la diferencia por añadas, el K en limbo apenas presenta variación de sus niveles entre los años del estudio. El K en pecíolo ha presentado prácticamente niveles del mismo orden en 2010, 2011 y 2013, observándose que en el 2012 eran significativamente más altos.

El calcio en hoja es un macronutriente que nos ha permitido diferenciar los subgrupos de suelos del estudio, y lo ha hecho tanto para el Ca en limbo como el Ca en pecíolo. Hay dos subgrupos de suelos que en general destacan por sus niveles más elevados de Ca en hoja: el CTC y el PO. La mayor cantidad de Ca en limbo y en pecíolo en estos subgrupos podría deberse a la presencia en estos suelos de un horizonte cálcico en el primero y petrocálcico en el segundo, con acumulación generalizada de carbonato cálcico, en unos porcentajes entre el 50% y el 60%.

Entre añadas, el Ca en limbo y en pecíolo no consiguen discriminar entre tres de los siete subgrupos de suelos, presentando diferente dinámica entre ellos. El Ca en pecíolo evoluciona a lo largo del estudio acorde, de tal modo que los niveles más altos se alcanzan en los años más lluviosos (2012 y 2013), dinámica que también ocurre con el subgrupo HF. Cabe comentar en este sentido la estrecha relación encontrada entre el Ca en pecíolo y la precipitación registrada entre abril y octubre. Sin embargo, el Ca en limbo presenta los niveles más bajos en el año con mayor registro pluviométrico (2013).

Los niveles de Mg en limbo y en pecíolo también nos han permitido diferenciar a los subgrupos de suelos dentro del estudio. El Mg en limbo podría discriminar mejor las añadas que el Mg en pecíolo, que se mantiene uniforme e independiente de las condiciones climáticas. El Mg en limbo diferencia añadas para seis de los siete subgrupos de suelos considerados. Además se observa como sus niveles son más elevados en años más similares al año promedio desde el punto de vista climático (2012).

El subgrupo de suelos PA destaca por sus altos niveles de Mg en limbo y en pecíolo, hecho probablemente relacionado con los bajos niveles de K en su horizonte superficial, situación favorable a una mayor disponibilidad y absorción de Mg por las raíces. El subgrupo CT aporta también niveles altos de Mg en limbo y pecíolo, que así mismo podría relacionarse con los bajos niveles de K y los altos niveles de Mg en el horizonte superficial.

El resto de los subgrupos (HC, HF, CTC, PC, y PO) presentan niveles muy similares de Mg en limbo y pecíolo. Cabe destacar que el subgrupo HF aporta los valores más bajos de Mg, tanto en limbo como en pecíolo, en paralelismo a los altos contenidos de K en dicho suelo, que agravaría la correlación negativa entre el K y el Mg (horizonte Ap). En este contexto, la relación K/Mg en hoja permite diferenciar el subgrupo HF del resto de los suelos por su elevado valor, debido a los altos niveles de K y bajos de Mg.

En general, los niveles de Fe son bajos (García-Escudero *et al.* 2013) y presentan pocas variaciones interanuales. No obstante, se detectan niveles más elevados cuando se

establecen añadas con precipitaciones más generosas y un perfil térmico más frío, como se dio en el año 2013.

Los subgrupos del orden Alfisoles (HC, PC, y PA) mostraron los niveles de Fe más elevados, tanto en limbo como en pecíolo. Entendemos este comportamiento relacionado con la presencia en el perfil de estos suelos de un horizonte argílico, enriquecido en arcilla y con muy bajos contenidos de carbonatos, debido a su proceso de edafogénesis. Los subgrupos HF y CT presentaron niveles similares al de los Alfisoles, probablemente debido a su bajo contenido en carbonatos.

Por otra parte, los subgrupos CTC y PO destacaron por los bajos niveles de Fe en hoja. En este tipo de suelos, los altos porcentajes de carbonatos en todo el perfil pueden impedir o limitar la disponibilidad de Fe a nivel radicular.

Respecto al Mn en tejido foliar, únicamente destacar los niveles elevados de Mn en limbo y en pecíolo que mostraron los suelos del subgrupo HC, circunstancia que podría asociarse a condiciones alternantes de reducción y oxidación en el interior del perfil, que provocan la reducción del Mn, siendo esta forma reducida de Mn de mayor solubilidad que en su estado oxidado y por tanto con una mejor disponibilidad para la planta.

La composición mineral de Zn en hojas, con valores muy similares del tanto en limbo como en pecíolo, de tal forma, no ha permitido establecer diferencias entre los subgrupos de suelos basados en este elemento. Asimismo, las condiciones climáticas de las diferentes añadas no conllevan cambios significativos, a excepción de niveles más altos en años considerados normales, como el año 2012.

Los niveles de Cu en limbo presentaron grandes variaciones, tanto entre subgrupos de suelos como entre añadas. Respecto a los años de estudio, se observan niveles muy altos coincidiendo con el año más lluvioso (2013). A la hora de ubicar los niveles de Cu de los diferentes subgrupos de suelos, comentar que han sido los subgrupos HC y HF aquellos que han alcanzado los contenidos más altos para este elemento, tanto en limbo como en pecíolo.

Los niveles más bajos de Cu, tanto en limbo como en pecíolo, podrían relacionarse con la presencia de horizontes cálcicos en los subgrupos CT, CTC y PC, y con los petrocálcicos en los suelos PO y PA, debido a la relación negativa entre Cu foliar y el porcentaje de carbonatos equivalentes en los suelos.

Los niveles de B en tejido foliar permiten diferenciar los subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013. En general, los subgrupos de suelos CT, CTC, y PO mostraron niveles más altos en pecíolo, mientras que que en limbo, lo fueron los subgrupos de suelos CT y CTC. Esto no ha podido ser relacionado con ningún rasgo edáfico común a los tres tipos de suelos

Los niveles de Na en limbo pueden diferenciar los tipos de suelos seleccionados, pero no así sus niveles en pecíolo, que podrían caracterizar mejor las añadas. Asimismo, decir que el Na en limbo presenta niveles más bajos respecto al Na en pecíolo. Entre los subgrupos de suelos, se observan en los niveles de Na en limbo algunas diferencias significativas pero no se repiten en los diferentes años del estudio.

El carbono, macronutriente esencial, presenta valores en limbo y pecíolo, que permiten diferenciar entre subgrupos de suelos y entre añadas. El C en pecíolo diferencia mejor los subgrupos de suelos, presentando contenidos bajos el subgrupo HF, y más altos el HC. Pensamos que podría interpretarse este hecho a través de propiedades como la profundidad efectiva del suelo, la reserva útil de agua, y el volumen de elementos gruesos, que establecen claras diferencias entre ambos subgrupos, en relación a la disponibilidad de agua. De hecho, el C en limbo y el C en pecíolo correlacionan negativamente con el potencial hídrico de base.

A modo de resumen, con el estudio de los niveles de nutrición mineral en hojas, se han obtenido resultados que sugieren que la nutrición mineral de la vid está modulada por el factor suelo, influyendo en el desarrollo vegetativo de la vid, en la maduración del fruto, en parámetros de acidez y de color de los mostos través de su contribución en nutrientes minerales a la planta. Se han obtenido evidencias de que el tipo de suelo afecta a los niveles de macro y microelementos en limbo y pecíolo de vides de la variedad Tempranillo. Resultados similares han sido obtenidos por Lambert *et al.* (2010) con Cabernet Sauvignon.

Los elementos minerales en hojas, especialmente N en limbo y pecíolo, P en pecíolo, K en limbo, y Mg en pecíolo están muy influenciados por el tipo de suelo, a nivel de subgrupo. Por lo tanto, el suelo puede influir en la fase vegetativa y reproductiva de la vid (van Leeuwen *et al.*, 2004), probablemente con un impacto significativo en la calidad de la uva que no pudo ser confirmado en ciertos trabajos (Seguin, 1986, van Leeuwen *et al.*, 2004).

Las propiedades del suelo que se correlacionan con la nutrición mineral foliar, son la profundidad efectiva, la reserva útil, el K y el Mg en el horizonte superficial Ap, la CIC, la arcilla y los carbonatos totales.

Finalmente, se han puesto de manifiesto correlaciones entre elementos minerales en limbo y pecíolo. Han sido altas para N, P, K, Mg, Mn, y Cu, media-alta para el Zn, baja para el Ca, y no se han correlacionado los niveles de limbo y pecíolo para B, Na y Fe. Estas relaciones podrían asociarse a la clasificación de los elementos minerales (White, 2015) respecto a su movilidad en la planta, creando tres grupos: móviles (N, P, K, Mg, Mn, S), muy inmóvil (Ca) e inmóviles (Fe, Zn, B, Cu y Mo).

### **III.5. EVALUACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE LA VID. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN EL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR**

#### **III.5.1. VALORES DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR DE BASE EN ENVERO POR SUBGRUPO DE SUELOS Y AÑO**

El estado hídrico de la vid se ha estudiado midiendo el potencial hídrico foliar de base en envero. En la Tabla III.28 se presentan los valores del potencial hídrico en hoja antes del amanecer, empleando la técnica de la cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965), en las campañas 2010 y 2011 para los diferentes subgrupos de suelos.

Este potencial de base refleja el estado hídrico de la vid al final de la noche, cuando los flujos de savia son prácticamente nulos. Este valor informa sobre el estado de humedad de los suelos donde se encuentran las raíces, de tal forma, que al final del periodo nocturno el estado hídrico de la planta se considera en equilibrio con el del suelo (Katerji y Hallaire, 1984). Por ello, esta medida es asimismo un buen indicador

del potencial hídrico del suelo en la zona explorada por las raíces (Klepper, 1968; Steinhardt *et al.*, 1981; Katerji *et al.*, 1983). En las medidas realizadas con la cámara, cuanto mayor presión haya que aplicar para vencer la tensión más severo es el estrés hídrico de la planta.

Para caracterizar el estado hídrico de la vid, se consideran los umbrales de potenciales hídricos de base desarrollados en las regiones de Bordeaux y Languedoc para distintas variedades y viñedos (Carbonneau *et al.*, 1998), que coinciden con la escala propuesta por Ojeda *et al.* (2002):

Sin restricción hídrica o débil cuando  $0 \text{ MPa} > \Psi > -0,2 \text{ MPa}$

Restricción hídrica débil a moderada entre  $-0,2 \text{ MPa} > \Psi > -0,4 \text{ MPa}$

Restricción hídrica moderada a severa cuando  $-0,4 \text{ MPa} > \Psi > -0,6 \text{ MPa}$

Restricción hídrica fuerte para  $-0,6 \text{ MPa} > \Psi$

van Leeuwen *et al.* (2009) emplean una escala de potenciales muy similar, pero con más categorías, por ejemplo, restricción hídrica débil  $-0,2 \text{ MPa} > \Psi > -0,3 \text{ MPa}$ , y consideran que las restricciones hídricas son fuertes a partir de valores menores de  $-0,8 \text{ MPa}$ .

Tabla III.28. Potencial hídrico foliar (MPa) antes del amanecer de cv. Tempranillo con relación al suelo de cultivo en los años 2010-2011 (envero).

Código subgrupo	2010	2011
<b>CT<sup>1</sup></b>	-0,37 <b>bc<sup>2</sup></b>	-0,49 <b>bcd</b>
<b>HC</b>	-0,42 <b>c</b>	-0,52 <b>cd</b>
<b>HF</b>	-0,13 <b>a</b>	-0,11 <b>a</b>
<b>CTC</b>	-0,33 <b>bc</b>	-0,45 <b>bc</b>
<b>PC</b>	-0,28 <b>b</b>	-0,39 <b>b</b>
<b>PO</b>	-0,38 <b>bc</b>	-0,51 <b>bcd</b>
<b>PA</b>	-0,33 <b>bc</b>	-0,59 <b>d</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexerals cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras diferentes indican variaciones significativas de la variable entre subgrupos según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los valores de potencial hídrico antes del amanecer, medidos en hojas de vid de la variedad Tempranillo para los diferentes subgrupos de suelos, fueron del mismo orden y magnitud a los obtenidos en vides cultivadas en otros tipos de suelos con aptitud vitícola (Koundouras *et al.*, 1999; Choné *et al.*, 2001; van Leeuwen *et al.*, 2004;

Bodin y Morlat, 2006; Coipel *et al.*, 2006; Koundouras *et al.*, 2006 ; van Leeuwen *et al.*, 2009; Reynard *et al.*, 2011a).

Las plantas de vid de la mayor parte de los subgrupos de suelos presentaron presiones de savia equivalentes a un estrés hídrico de débil a moderado en el año 2010, excepto el subgrupo HF cuyas vides no mostraron prácticamente restricciones hídricas, En cambio, las cepas en el subgrupo HC evidenciaron un estrés de moderado a fuerte en enero.

En el año 2011, el viñedo presentó restricciones de moderadas a fuertes, excepto el subgrupo HF que se comportó de forma idéntica al año 2010, es decir, en enero su estado hídrico fue normal, sin restricciones de agua. Ambos años, climatológicamente hablando, fueron secos con escasas precipitaciones (2010: 384 mm; 2011: 345 mm), muy por debajo de las normales (Pr\_m estación SIAR = 469 mm).

Las vides cultivadas en suelos HC presentaron estrés hídrico de moderado a fuerte, en los años 2010 y 2011. Este comportamiento se observó también en los subgrupos PO y PA para el año 2011. Por su parte, el subgrupo PC presentó un comportamiento intermedio entre HF y los subgrupos HC y PA.

No se observó a nivel de campo paradas del crecimiento de los pámpanos en las vides del subgrupo HF, pero sí en las parcelas del subgrupo HC (observación de campo). Tal observación es plenamente coincidente con Hardie y Considine (1976) y van Leeuwen *et al.* (1994), al encontrar que potenciales de base de -0,30 MPa generan un déficit hídrico leve, que trae consigo una disminución del crecimiento de los brotes.

van Leeuwen *et al.* (2004) observaron diferencias entre tres tipos de suelos ensayados: suelos arenosos (-0,10 a -0,15 MPa), con grava (-0,23 a -0,45 MPa) y arcillosos (-0,27 a -0,38 MPa). En nuestro estudio ocurre algo similar, ya que el subgrupo HC puede asociarse a un suelo con alto % de elementos gruesos, y el subgrupo HF a los suelos arenosos con una freática colgada. Los suelos arcillosos podrían relacionarse con el resto de los subgrupos del orden Alfisoles, en especial al PC. Las vides de los suelos con gravas experimentaron después del invierno, una defoliación considerable. También al final del ciclo de maduración y en fechas próximas a la

recolección, en las vides de los suelos HC se han observado algunos síntomas de déficit hídrico severo, con senescencia de las hojas basales.

Coipel *et al.* (2006) atribuyen mayor calidad potencial de la uva a tipos de suelo con baja profundidad efectiva. En los suelos del subgrupo HF, el viñedo no sufre déficit hídrico, y el rendimiento depende del estado hídrico de la vid. Para el subgrupo HF, la vid tuvo menores restricciones hídricas que para el resto de los subgrupos. Esta mayor disponibilidad hídrica durante el envero lleva consigo una prolongación del período de crecimiento vegetativo, presentando mayor vigor, producciones más elevadas y en algunas añadas ciertos problemas para finalizar la maduración, como ocurrió en el 2013. Hay que tener en cuenta que la intensidad del estrés hídrico en la vid depende no solo de los parámetros climáticos, sino también de la capacidad de retención de agua en el suelo (van Leeuwen *et al.*, 2004). Esto explicaría la ausencia de restricciones hídricas en los suelos HF, incluso en años secos, como en 2010 y 2011.

Por el contrario, en los suelos HC con alto porcentaje de gravas y arenas, el régimen hídrico limitante puede provocar una parada de crecimiento precoz y reducción del peso de las bayas y del rendimiento. Cuando las bayas son pequeñas, cuando el rendimiento es moderado, y cuando la vid no crece más durante el periodo de maduración, se dan las condiciones para obtener un racimo de calidad. Una parada de crecimiento precoz limita igualmente el desarrollo de la superficie foliar secundaria y mejora así el microclima luminoso y térmico de las bayas. Estas condiciones son propicias para la maduración del racimo (Tregoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004). En los suelos HC, las vides es posible que sufran periodos de déficit hídrico intenso, debido a su escasa reserva útil y baja retención de agua. En este tipo de suelos, con elevado % en gravas y arenas, el estado hídrico de la viña depende claramente de su reserva de agua, especialmente en años con escasa precipitación (Reynard *et al.*, 2011a).

Una elevada disponibilidad de agua conlleva contenidos bajos en antocianos y en compuestos fenólicos, y elevados en ácido málico (Tregoat *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004). Este tipo de comportamiento puede ser estudiado en los suelos HF, ya que cumplen estas características con relación a los valores medidos de potencial hídrico de base en envero.

El subgrupo PC del orden Alfisoles, con un horizonte argílico y otro cálcico con acumulación generalizada de carbonatos, aporta a la vid en las añadas estudiadas, un déficit hídrico de débil a moderado. En estas condiciones, según diversos autores, la concentración de azúcares y antocianos en las bayas se incrementan debido a una maduración sin limitaciones. La acidez total se reduce, y las uvas contienen menos ácido málico. Según van Leeuwen *et al.* (2004), la calidad de la uva es elevada, especialmente en suelo arcillosos en los cuales se da un déficit hídrico temprano con restricción de débil a moderada. Además, concluye que un déficit hídrico moderado reduce el crecimiento del pámpano, el tamaño de la baya y la producción, mejorando la maduración del fruto y la síntesis de compuestos fenólicos en las bayas (Koundouras *et al.*, 2006; van Leeuwen *et al.*, 2009). Además del subgrupo PC, otro Alfisol como PA y el Mollisol PO podrían relacionarse con estas características de calidad de la uva.

En la Tabla 4 del Anexo III, se presentan las correlaciones significativas ( $n= 96$ ,  $p<0.01$ ) del potencial hídrico de base con la profundidad efectiva del suelo ( $r= 0,406$ ), y el Mg del horizonte superficial Ap ( $r= 0,498$ ). En la misma tabla, este potencial hídrico antes del amanecer correlaciona con el K en limbo ( $r= 0,482$ ), el K en pecíolo ( $r= 0,548$ ), el C en limbo ( $r= -0,514$ ), y el C en pecíolo ( $r= -0,518$ ).

Además, en la Tabla 2 del Anexo III, se muestra una relación positiva entre las medidas de este potencial hídrico y el  $N-NH_4^+$  extraíble ( $r= 0,527$ ) del suelo a la profundidad 15-30 cm.

No se han encontrado más correlaciones del potencial de base en enero con otros parámetros climáticos, ni edafológicos, ni con niveles de otros micronutrientes o macronutrientes en tejido foliar.

Respecto a las posibles correspondencias entre el potencial hídrico de base y parámetros de la acidez y de color de mostos y vinos, estos se indican en los apartados III.6 y III.7 de este capítulo.

Al respecto, hay autores que han puesto de manifiesto fuertes relaciones negativas entre el potencial de base y el contenido en antocianos (Tregoat *et al.*, 2002) y el IPT, así como una relación positiva con el peso de la baya (Tregoat *et al.*, 2002;

Medrano, 2003; Koundouras *et al.*, 2006; Reynard *et al.*, 2011a). Muchos estudios indican el efecto positivo que un déficit hídrico moderado tiene en las síntesis de compuestos fenólicos y en la calidad de la uva (Duteau *et al.*, 1981; Matthews y Anderson, 1988; van Leeuwen y Seguin, 1994; Choné *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2009). Sin embargo, los valores medidos de potencial hídrico de base en envero no han permitido verificar la existencia de un estado de déficit hídrico severo en la vid, en los diferentes subgrupos de suelo de cultivo estudiados, de tal modo, que los valores de los parámetros como el contenido en azúcares, en antocianos, la intensidad de color y el IPT de los mostos, se estudien con relación a estados hídricos con déficits de débiles a moderados y de moderados a severos.

### III.5.2. CONSIDERACIONES SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO DE BASE CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Las medidas de potencial hídrico de base en envero (2010 y 2011) han permitido conocer el estado hídrico del viñedo con relación al tipo de suelo. Se han diferenciado los subgrupos de suelos, Haploxerepts fluvéntico (HF) y Haploxeralfs cálcico (HC) del resto de subgrupos, que son: los Calcixerepts típico fase mezclada y carbonática (CT y CTC), los Palexeralfs cálcico y P. petrocálcico (PC y PA), y el Palexerolls petrocálcico (PO). El subgrupo HF proporciona a la vid un estado hídrico sin déficits, incluso en años secos existe una buena disponibilidad de agua. Sin duda, este comportamiento se asocia a una profundidad efectiva grande, donde el sistema radicular se desarrolla de forma continua, explorando un gran volumen de suelo.

Sin embargo, el subgrupo de suelos HC confiere un estado hídrico deficitario a la vid, por lo general moderado, pero que puede llegar a severo. Estos suelos Haploxeralfs se caracterizan principalmente por su elevado porcentaje en volumen de elementos gruesos, tanto en el horizonte superficial Ap como en los horizontes subsuperficiales (B y C), lo que conlleva un menor volumen de suelo explorable por la raíces. Asimismo, la fracción arena es mayoritaria en la textura de estos perfiles (>50%)

En el año 2012, los subgrupos HC y PA experimentaron déficits hídricos de moderados a severos. Este último subgrupo de suelos PA presenta un horizonte

petrocálcico que, por su fuerte cementación, probablemente limite la exploración y colonización por parte de las raíces.

Destacar además que los subgrupos de suelos CTC y PC proporcionan a la vid un estado hídrico con déficit de débil a moderado, situándose entre el HF y el HC.

Hemos podido constatar que el potencial hídrico antes del amanecer se relaciona de forma positiva con la profundidad efectiva de los suelos, el Mg en el horizonte Ap y el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> amónico superficial (15-30 cm). Además, se correlaciona con el K y el C en tejido foliar.

### **III.6. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA UVA**

En las Tabla III.29 y III.30, se detalla la composición química media de los mostos obtenidos a partir de 500-600 bayas recogidas en vendimia, y referida por subgrupo de suelos. Los resultados se presentan en dos apartados: parámetros de acidez, por una parte, y componentes de color, por otra.

En primer lugar, destacar que estudiada la composición de los mostos, ésta concuerda con otros estudios realizados con uvas de la variedad Tempranillo (García-Escudero *et al.*, 1997; Nadal y Lampreave, 2003; Martínez de Toda *et al.*, 2004; Unamunzaga *et al.*, 2010; Pérez-Álvarez, 2015).

#### **III.6.1. COMPONENTES DE ACIDEZ**

Los valores de pH entre subgrupos de suelos mostraron diferencias significativas en el periodo 2010-2013. Se formaron dos bloques en el año 2010, unos con valores significativamente más ácidos, con los subgrupos PO y PA, y el otro que tenía mostos con pH más altos, CT y HC. En el año 2011, surgieron tres bloques que de menor a mayor pH, son: PA por una parte, por otra PO, PC, CTC y HF, siendo el tercer grupo CT y HC. De nuevo hubo dos bloques en el 2012, HC, HF, CTC, PO, PA y PC (3,51-3,62) con pH más ácidos respecto a CT el menos ácido (3,72). Finalmente en el año

2013, PO y PA dieron lugar a mostos con pH más ácido (3,19) y CTC (3,21) respecto a PC, HF y HC (3,29-3,30).

Tabla III.29. Componentes de acidez de los mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
pH	CT <sup>1</sup>	3,49 cB <sup>2</sup>	3,61 cC	3,72 bD	3,26 abcA
	HC	3,53 cB	3,60 cB	3,59 aB	3,29 bcA
	HF	3,46 bcB	3,48 bB	3,60 abC	3,30 cA
	CTC	3,40 abB	3,47 bB	3,62 abC	3,21 abA
	PC	3,40 abB	3,46 bB	3,53 aC	3,29 bcA
	PO	3,33 aB	3,50 bC	3,58 aC	3,19 aA
	PA	3,33 aB	3,36 aB	3,51 aC	3,19 aA
Ac. Total (g/l)	CT	4,81 abB	4,14 aA	4,06 aA	6,69 aC
	HC	4,61 aA	4,28 aA	4,47 bA	6,65 aB
	HF	6,26 dB	5,39 cA	5,10 cA	8,76 cC
	CTC	5,38 bcB	4,84 bAB	4,48 bA	7,45 bC
	PC	4,71 aA	4,85 bA	4,52 bA	6,43 aB
	PO	5,25 abcB	5,01 bcB	4,29 abA	6,42 aC
	PA	5,55 cC	4,97 bcB	4,42 abA	6,93 aD
Ác. Tartárico (g/l)	CT	5,04 aA	5,01 aA	5,09 aA	5,53 cB
	HC	5,21 abA	5,33 bcAB	5,26 aA	5,49 bcB
	HF	5,45 abA	5,21 abA	5,21 aA	6,18 dB
	CTC	5,59 bBC	5,16 abA	5,73 bC	5,42 abcAB
	PC	5,21 ab	5,30 abc	5,26 a	5,25 ab
	PO	5,56 b	5,52 c	5,36 a	5,29 abc
	PA	5,58 b	5,31 abc	5,29 a	5,22 a
Ác. L-málico (g/l)	CT	2,16 abB	1,59 aA	1,62 abA	3,12 bcC
	HC	1,98 abB	1,54 aA	1,79 bcAB	2,92 abC
	HF	3,44 cB	2,53 bA	2,47 cA	4,75 dC
	CTC	2,49 bC	1,88 aB	1,59 abA	3,53 cD
	PC	1,78 aA	1,92 aA	1,66 abA	2,73 abB
	PO	1,97 abB	1,86 aB	1,42 abA	2,52 aC
	PA	2,19 abB	1,65 aA	1,31 aA	3,01 bC
K (mg/l)	CT	1390 abA	1793 bB	1786 abB	1399 abcA
	HC	1418 bA	1693 abC	1758 abC	1532 cB
	HF	1732 cA	1899 bB	1944 bB	1931 dB
	CTC	1409 bA	1773 bB	1868 bB	1468 bcA
	PC	1281 abA	1689 abC	1592 aC	1447 bcB
	PO	1230 aA	1841 bB	1766 abB	1337 abA
	PA	1232 aA	1530 aAB	1634 aB	1273 aA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Asimismo, los pH experimentaron variaciones interanuales significativas, de tal forma, que los mostos en años de precipitaciones elevadas (2013) presentaron valores más ácidos (3,19-3,30) respecto a los años más secos (2010 y 2011) y al año con precipitación considerada normal (2012), que propició mostos con los pH más elevados

(3,51-3,72) aportando los años secos valores intermedios, en especial el 2010 (3,33-3,53).

La acidez total en mostos presentó diferencias significativas entre subgrupos para los diferentes años de estudio. Fue el subgrupo HF el que aportó a los mostos los valores de acidez total más elevados (por ejemplo: 8,76 g/l en 2013 y 6,26 g/l en 2010) en los cuatro años de estudio. El subgrupo CTC dio lugar a mostos con acidez moderada junto a los suelos PA, PO y PC. Por último, en los suelos CT y HC se observó cierta tendencia a producir vinos con menor acidez total, concretamente en años con bajas precipitaciones.

Asimismo, la acidez total experimentó variaciones interanuales significativas. En el ciclo anual más lluvioso (2013), los mostos presentaron valores más ácidos (8,76-6,42 g/l) en todos los subgrupos de suelos. El año con precipitación considerada normal (2012) dio lugar a los mostos con menor acidez total (5,10-4,06 g/l), mientras que los años más secos (2010 y 2011) se expresaron a través de mostos con valores de acidez total intermedios, especialmente en 2010 (6,26-4,61 g/l). Las diferencias de acidez total, en función del subgrupo de suelos, siguieron una pauta similar a las del pH. Así, las causas que inducen un menor pH se relacionan con la mayor acidez total del mosto.

El incremento de acidez de los mostos en climas con precipitaciones más abundantes, está ampliamente referido (Johnson, 1971; Seguin, 1983, 1986; Gladstones, 1994; Storchi *et al.*, 2005).

Respecto al ácido tartárico, los valores obtenidos varían en un intervalo bastante discreto, tanto entre subgrupos de suelos como entre añadas. En el año con precipitaciones consideradas normales (2012), destacó el mosto procedente del subgrupo CTC (5,73 g/l) sobre el resto de los subgrupos, mientras que el subgrupo HF presentó los valores más elevados de este ácido (6,18 g/l) en el año con mayores precipitaciones (2013). El subgrupo CT generó los mostos con menor contenido en ácido tartárico (5,04 y 5,01 g/l) en los años secos (2010 y 2011). En este mismo periodo, destacaron los mostos de PO por su contenido en ácido tartárico (5,56 y 5,52 g/l).

Se establecieron variaciones interanuales significativas de ácido tartárico únicamente para los subgrupos CT, HC, HF y CTC. Los tres primeros con una pauta

similar, es decir, valores significativamente más elevados de ácido tartárico (5,53, 5,49 y 6,18 g/l) correspondiendo con el año de precipitaciones más elevadas (2013). Por su parte, los mostos del subgrupo CTC contenían más ácido tartárico (5,73 g/l) en el año de precipitación considerada normal (2012).

Si centramos la atención en el ácido málico de los mostos, se observó cierto paralelismo con lo expuesto para los valores de acidez total. Comparando subgrupos, destacan de forma significativa los mostos HF, con los valores más altos de este ácido en la totalidad de ciclos anuales, como los 3,44 g/l en 2010 y los 4,75 g/l en 2013. El subgrupo CTC dio lugar a mostos con contenidos en ácido málico moderados, especialmente en 2010 (2,49 g/l) y 2013 (3,53 g/l). El resto de los mostos de los diferentes subgrupos tienen contenidos similares, excepto PA y CT en el año 2013. Los subgrupos PC, PA (excepto 2013), PO y CT (excepto 2013) presentaron los mostos con el menor contenido en ácido málico.

El ácido málico experimentó variaciones interanuales significativas. Los mostos en la campaña más lluviosa (2013), presentaron los valores más elevados (4,75-2,52 g/l) para todos los subgrupos de suelos. En 2011, con escasas precipitaciones y en el año con precipitación considerada normal (2012), se obtuvieron los mostos con menor contenido en este ácido, mientras que el primer año del estudio, que fue seco (2010) dio lugar a mostos con contenidos medios en málico, y valores de acidez total intermedios, especialmente en 2010 (6,26-4,61 g/l).

Por último, el potasio presente en el mosto también experimentó cambios significativos comparando entre sí los siete subgrupos de suelos y los diferentes ciclos anuales. Shange y Conradie (2012) también encontraron diferencias en el contenido de K en mostos para diferentes materiales originarios de los suelos (granito y esquistos o pizarras).

Las variaciones internuales mostraron niveles de potasio en mostos más altos en el segundo de los años, con precipitaciones escasas (2011), y para el año con precipitación considerada normal (2012). Los niveles más bajos de K se dieron en el primer año, con fuerte sequía (2010). Sin embargo en el año 2013, el más lluvioso y fresco, los mostos presentaron niveles intermedios, siendo similares a los del 2010.

El subgrupo HF respondió al tipo de suelo con el contenido más alto de K en mostos, lo hizo los cuatro años de estudio. Por el contrario, el subgrupo PA es el que aportó mostos con menor contenido en K.

Se puede comprobar cómo las características de los diferentes tipos de suelos influyen en los componentes de acidez de los mostos. Ubalde *et al.* (2007) afirman que las características del suelo son importantes para predecir la producción y la acidez total. Choné *et al.* (2001) concluyen que propiedades del suelo como el estatus nitrogenado y la profundidad del suelo, afectan a la calidad de la uva y del vino, incluso más que el suministro de agua. En nuestro estudio, el subgrupo de suelos HF, por su alta profundidad efectiva, la elevada reserva útil de agua, la textura equilibrada (franca), y el bajo porcentaje de gravas, responde a este tipo de dinámica, presentando parámetros de acidez elevados tanto en añadas con escasez de precipitaciones como en añadas consideradas normales o lluviosas. Este tipo de suelos ha aportado mostos con componentes de acidez significativamente diferentes al resto de subgrupos. Se trata de mostos con el pH menos ácido, la acidez total y el contenido en ácido málico más elevado y los niveles de K más altos.

García-Escudero *et al* (2005) encontraron un incremento de ácido málico con el riego, y atribuyen este incremento a un aumento del vigor, por una mayor disponibilidad hídrica, que crea un microclima en el racimo desfavorable para la degradación metabólica del ácido málico. Este efecto sobre el ácido málico sería el mismo que provocaría el mayor contenido de este ácido en el subgrupo de HF, ya que estos suelos tienen la mayor reserva hídrica (Figura III.8), y el menor potencial hídrico de base (Tabla III.28), dando lugar a un mayor desarrollo vegetativo con relación al resto de los subgrupos de suelos estudiados.

En la Tabla 3 del Anexo III, se distingue como los parámetros de acidez correlacionan ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) con varios elementos climáticos: el pH con la  $T^a$  m ( $r=0,476$ ), la Pr\_m ( $r=-0,594$ ), la Pr\_ene-may ( $r=-0,661$ ), la R solar ( $r=0,780$ ), la ETo ( $r=0,793$ ), el IH ( $r=0,742$ ) y el IS ( $r=-0,722$ ). La acidez total del mosto se corresponde con la  $T^a$  m ( $r=-0,432$ ), la Pr\_m ( $r=0,725$ ), la Pr\_ene-may ( $r=0,774$ ), la R solar ( $r=-0,812$ ), la ETo ( $r=-0,828$ ), el IH ( $r=-0,781$ ) y el IS ( $r=0,808$ ). El ácido málico en mosto se relaciona con los mismos elementos climáticos que la acidez total, y así como el

ácido tartárico que también lo hace significativamente pero con valores bajos de  $r$ , que solo indican tendencias. Debido a que el ácido tartárico de la uva es esencialmente sintetizado antes del envero... (Ribéreau-Gayon 1966), esto podría explicar la ausencia de correlaciones con algunos elementos del clima.

El K del mosto correlaciona con la  $T^a$  m ( $r= 0,597$ ), la R solar ( $r= 0,511$ ), la ETo ( $r= 0,465$ ), el IH ( $r= 0,525$ ), y el IF ( $r= 0,483$ ).

Respecto a los parámetros del suelo, y como se indica en la Tabla 4 del Anexo III, el ácido málico del mosto correlaciona con el Mg del horizonte Ap ( $r= 0,424$ ). El K del mosto se relaciona con el K ( $r= 0,433$ ) y el Mg ( $r= 0,463$ ) del horizonte Ap. El ácido tartárico se corresponde positiva y significativamente con el K del horizonte Ap, aunque con un valor algo bajo ( $r= 0,276$ ).

En la Tabla 15 del Anexo III, se observa una correlación ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) positiva del N en limbo con el pH ( $r= 0,511$ ) y el ácido málico ( $r= 0,445$ ) del mosto. A su vez, el K en mosto se relaciona también con el K en limbo ( $r= 0,641$ ). Asimismo, se observa una correspondencia positiva de la relación K/Mg con el ácido málico ( $r = 0,520$ ) y del K del mosto ( $r = 0,498$ ).

En la Tabla 16 del Anexo III, se muestra la fuerte correspondencia positiva del K en pecíolo con el K en mosto ( $r=0,708$ ). van Leeuwen *et al.* (2004) encuentran una relación positiva entre el K en pecíolo y el K en mosto ( $r= 0,46$ ,  $n= 36$ ,  $p <0,01$ ), que también se ha establecido en este estudio con Tempranillo, pero con un valor de  $r$  netamente superior (Anexo III, Tabla 16). Sin embargo y en coincidencia con otros autores, no se ha encontrado una relación entre el K en pecíolo (envero) ni con la acidez total del mosto ni con el ácido tartárico en Tempranillo.

Cuestión aparte la constituyen las posibles relaciones del potencial hídrico antes del amanecer y las características de los mostos que figuran en la Tabla 10 del Anexo III. Se observan las correlaciones ( $n=96$ ,  $p<0,01$ ) positivas significativas de los valores de potencial hídrico foliar de base con la acidez total ( $r= 0,473$ ) y el ácido málico ( $r= 0,624$ ). El déficit hídrico de la vid acelera el descenso del ácido málico durante la maduración de la uva (van Leeuwen y Seguin, 1994). Choné *et al.* (2001) observaron

una estrecha relación lineal entre las medias de los valores del potencial de base (desde julio a septiembre) con el contenido en ácido málico hasta la cosecha. Koundouras *et al.* (2006) indican relaciones entre los valores del potencial hídrico antes del amanecer entre cuajado-envero y entre envero-cosecha con parámetros del mosto, positivas con el ácido málico, y fuertemente negativas con el GAP y el ácido tartárico. En este sentido, autores ponen de manifiesto que un régimen hídrico limitante para la vid, da lugar a uvas enriquecidas en compuestos fenólicos, pero pobres en ácido málico (Tregoa *et al.*, 2002). El déficit hídrico reduce la acidez total (van Leeuwen *et al.*, 2004).

Se han encontrado las siguientes correspondencias lineales bivariadas ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) entre los componentes de la acidez de los mostos, tal como figuran en la Tabla 21 del Anexo III. El pH con la acidez total del mosto ( $r= -0,741$ ), el ácido málico ( $r= -0,511$ ) y el K ( $r= 0,656$ ). La acidez total con el ácido málico ( $r= 0,917$ ) y el ácido tartárico ( $r= 0,462$ ). Finalmente, el ácido málico se relaciona con el ácido tartárico ( $r= 0,421$ ). Resultados similares han sido indicados por autores como Peyrot des Gachons *et al.* (2005) entre los componentes de acidez de los mostos. Koundouras *et al.* (2006) expone que existen conexiones fuertes y positivas entre la AT del mosto y el ácido málico, pero no así con el tartárico.

### III.6.2. AZÚCARES Y COMPONENTES DEL COLOR

La concentración de azúcares fue un parámetro de los mostos, que en principio, se esperaba no presentase variaciones entre subgrupos (Tabla III.30) dentro de cada ciclo anual, ya que la vendimia se realizó cuando las uvas alcanzaban los 22-23° Brix, que equivale a un grado potencial de 13°. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre subgrupos de suelos, dentro de cada año. Para el año 2010, el intervalo de GAP varió entre 12,46° para CT y 13,53° en el caso del subgrupo PA. Del estudio de la evolución del grado se observó que el subgrupo de suelos que en primer lugar conseguía la madurez glucométrica de la uva era el PC, y el último el subgrupo HF.

El comportamiento del subgrupo PC, con un horizonte argílico en su perfil, es similar al descrito por van Leeuwen *et al.* (2004) para suelos arcillosos, los cuales presentaban contenidos más elevados de azúcares en el momento de la cosecha.

Tabla III.30. Azúcares y componentes de color de los mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
GAP (% v)	CT <sup>1</sup>	12,46 aA <sup>2</sup>	13,21 abcB	13,33 bcB	12,12 aA
	HC	12,71 abA	13,40 bcB	13,37 bcB	12,78 bcA
	HF	13,22 abC	12,71 aB	12,65 aB	11,89 aA
	CTC	13,34 b	12,88 ab	13,35 bc	12,69 bc
	PC	13,02 abA	14,00 dB	13,96 dB	13,38 dAB
	PO	13,28 abA	13,73 cdB	13,69 cdB	13,10 cdA
	PA	13,53 bB	13,11 abB	12,91 abAB	12,31 abA
Intensidad de color	CT	4,27 aA	3,89 aA	3,84 aA	6,64 abB
	HC	3,76 aA	3,61 aA	3,94 aA	5,85 aB
	HF	3,99 aB	3,05 aA	3,36 aA	6,02 aC
	CTC	4,49 abA	3,86 aA	5,50 bA	8,14 bcB
	PC	6,14 bcA	6,60 bA	7,00 cA	9,24 cB
	PO	6,55 cA	6,93 bA	6,46 bcA	8,85 cB
	PA	7,50 c	5,76 b	5,84 b	8,07 bc
Tonalidad	CT	0,446 cB	0,545 bC	0,580 cdC	0,352 aA
	HC	0,528 dB	0,585 bBC	0,596 dC	0,406 bA
	HF	0,395 abcA	0,520 abB	0,496 bB	0,366 aA
	CTC	0,407 bcAB	0,580 bC	0,507 bcBC	0,351 aA
	PC	0,399 abc	0,443 a	0,412 a	0,367 a
	PO	0,359 abA	0,581 bC	0,462 abB	0,356 aA
	PA	0,348 aA	0,518 abC	0,463 abB	0,351 aA
Antocianos (mg/l)	CT	1,68 ab	1,56 b	1,59 bc	1,73 bc
	HC	1,69 abB	1,61 bcAB	1,47 bA	1,63 abB
	HF	1,49 aB	1,15 aA	1,08 aA	1,45 aB
	CTC	1,70 ab	1,46 ab	1,81 cd	1,80 bc
	PC	1,58 abA	1,92 cdB	1,94 deB	1,93 cB
	PO	1,86 bcA	1,77 bcdA	2,19 eB	1,76 bcA
	PA	2,08 c	1,99 d	1,93 de	1,67 b
I.P.T. (Abs. 280 nm)	CT	88,34 bAB	84,98 abcA	96,36 bB	93,28 abAB
	HC	92,85 bcB	87,60 bcAB	84,15 aA	86,38 aAB
	HF	76,89 aA	73,55 aA	79,71 aA	90,67 abB
	CTC	91,18 bAB	82,95 abA	101,78 bcB	95,13 abAB
	PC	94,34 bc	96,26 cd	101,76 bc	93,68 ab
	PO	102,3 cdA	97,01 cdA	113,33 cB	97,50 bA
	PA	105,8 dB	104,3 dAB	109,3 cB	91,8 abA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Ubalde *et al.* (2010) explican el posible efecto del tipo de suelo en el contenido en azúcar de la uva, a través de la existencia de una relación negativa entre el nivel de azúcar y el peso de la baya (Hunter y Deloire, 2005). En nuestro estudio en Tempranillo, al observar las variaciones interanuales del GAP, se han encontrado

valores más altos de la concentración de azúcares en años secos o normales (2010, 2011 y 2012) respecto a años con altas precipitaciones (2013).

En general y tal como figura en la Tabla III.30, los componentes de color presentan diferentes valores según el subgrupo de suelos, y con la añada. En concreto nos referimos a parámetros de color como la intensidad de color (IC), la tonalidad, el IPT y los antocianos, siendo este último el que presenta menor variación entre añadas.

La intensidad de color también varía entre subgrupos de suelos y entre años. Se pudo constatar la existencia de dos bloques bien diferenciados utilizando este parámetro. Por una parte, los subgrupos CT, HC y HF, y por otra PC, PO y PA. El subgrupo CTC unos años se asemejó a los primeros (2010 y 2011), y en otros se unió a los segundos (2012 y 2013).

El estudio de las variaciones interanuales de los valores de la intensidad de color mostró diferencias significativas entre los valores obtenidos en el año con precipitaciones más elevadas (2013) respecto al resto de años, para todos los subgrupos, a excepción del PA. Se trata de los pocos parámetros cuya magnitud aumenta en añadas consideradas lluviosas y frescas.

El valor de la tonalidad o matiz en mostos experimento diferencias significativas entre los subgrupos de suelos, agrupando los suelos en tres bloques: en 2010 con CT y HC por una parte, PA y PO por otra, y valores intermedios para HF, CTC y PC. En 2011, con relación a las precipitaciones considerado seco, los valores se igualaron agrupándose la totalidad de suelos, a excepción de PC. De nuevo en 2012, se separaron en dos bloques bien diferenciados PA, PO, y PC, con valores entre 0,412-0,463 y otro bloque que se formó con CT, HC, HF y CTC, cuyos valores de tonalidad oscilaron entre 0,496 y 0,596. En 2013, se constituyó un solo bloque con seis subgrupos (0,351-0,367) y se apartó de ellos el subgrupo HC (0,406). En resumen, las tonalidades de los mostos procedentes de los subgrupos CT y HC fueron significativamente mayores, respecto a la de los subgrupos de suelos PC, PO, y PA, y con tonalidades intermedias aparecen los tipos de suelos HF y CTC.

Con relación al estudio de los valores de tonalidad para cada subgrupo de suelos y a su comportamiento en los diferentes años de estudio, un único subgrupo (PC) no presentó variaciones interanuales. Para el resto de subgrupos, el mosto presentó tonalidades más bajas en la campaña de precipitaciones considerada lluviosa (2013), alcanzándose valores más altos en el segundo año (2011; seco), y en el de precipitaciones consideradas normales (2012). Únicamente los subgrupos PA y PO aumentaron la tonalidad de los mostos en el año 2011 (0,518 y 0,581 respectivamente) en relación al año 2012 (0,463 y 0,462).

Los contenidos de antocianos no variaron entre añadas para los subgrupos CT, CTC y PA. El resto de subgrupos presentaron comportamientos muy diferentes: HC y HF con valores más altos en 2010 (1,69 y 1,49 mg/l) y 2013 (1,63 y 1,45 mg/l), aportando PO el valor significativamente más alto en 2012 (2,19 mg/l). El subgrupo PC aportó niveles de antocianos en sus mostos muy parecidos en los años 2011, 2012 y 2013 (1,92, 1,94 y 1,93 mg/l), disminuyendo en el 2010 (1,58 mg/l).

Las variaciones interanuales en los valores de IPT quedan minimizadas entre tipos de suelos en añadas con exceso de precipitaciones (2013). Para el resto de años, se observa que el intervalo de valores de IPT para los subgrupos PA (104,3-109,3) y PO (113,33-97,01) produjeron mostos con mayor contenido en polifenoles, otro bloque formado por HC (84,15-92,85) y HF (73,55-79,71) presentó los valores de IPT más bajos. Finalmente, un tercer grupo intermedio estuvo formado por CT (96,36-84,98), CTC (94,34-101,78) y PC (94,34-101,76).

En el presente trabajo (Anexo III, Tabla 3) se han dado correlaciones ( $n= 198$ ;  $p<0,01$ ) del contenido de azúcares con elementos climáticos como la R solar ( $r= 0,422$ ), la ETo ( $r= 0,422$ ), el IH ( $r= 0,414$ ) y el IS ( $r= -0,414$ ). Con parámetros del suelo, tan solo hay correspondencia de forma negativa con la profundidad efectiva ( $r= -0,375$ ), según figura en la Tabla 4 del Anexo III.

Por otra parte, en la Tabla 21 del Anexo III, la concentración de azúcares se relaciona con componentes del color del mosto, como los antocianos ( $r= 0,470$ ) y el IPT ( $r= 0,500$ ). Sin embargo, las correlaciones (Anexo III, Tabla 19) son negativas entre el

contenido de azúcares y los componentes de rendimiento de la vid: el peso de 100 bayas ( $r = -0,469$ ) y la producción de uva por cepa ( $r = -0,506$ ).

van Leeuwen *et al.* (2004) encuentran una correlación positiva ( $r = 0,480$ ,  $n = 36$ ,  $p < 0,01$ ) entre Mg en pecíolo y contenido en azúcar del mosto, que no se ha encontrado en este estudio con Tempranillo ( $r = 0,008$ ,  $n = 198$ , ns).

En este contexto (Anexo III, Tabla 5), se estudian las correlaciones lineales bivariadas ( $n = 198$ ,  $p < 0,01$ ) entre algunos parámetros edafoclimáticos y los componentes del color de la uva. La intensidad de color se relaciona con elementos climáticos como la Pr\_m ( $r = 0,493$ ), la R solar ( $r = -0,467$ ), la ETo ( $r = -0,474$ ), el IH ( $r = -0,459$ ), y el IS ( $r = 0,505$ ). La tonalidad tiene correspondencia con la T<sup>a</sup> m ( $r = 0,614$ ), la Pr\_m ( $r = -0,527$ ), la R solar ( $r = 0,683$ ), la ETo ( $r = 0,641$ ), el IH ( $r = 0,706$ ) y el IS ( $r = -0,642$ ).

Las condiciones climáticas pueden influir en el contenido de antocianos, como lo hacen las elevadas insolaciones que, sin que lleguen a ser excesivas, estimulan su acumulación en las bayas (Smart, 1985; Keller y Hrazdina, 1998; Bergqvist *et al.*, 2001; Spayd *et al.*, 2002). Por otra parte, las altas temperaturas reducen la acumulación de antocianos (Buttrose *et al.*, 1971; Kliewer y Torres, 1972). Spayd *et al.* (2002) indican que el rango de temperatura óptimo para la síntesis de antocianos está entre 30 y 35° C. En general, aunque se alcanzan estas máximas en los meses de julio y agosto, las temperaturas medias máximas suelen permanecer por debajo de los 30° C.

Las variaciones en el contenido de antocianos, según van Leeuwen *et al.* (2004), dependen fundamentalmente del tipo de suelo y del clima, pero no parecen depender totalmente del clima como concluye Ubalde *et al.* (2010).

En este estudio con la variedad Tempranillo no se observaron, en general, diferencias significativas entre las añadas, pero si se observó un comportamiento dependiente del tipo de suelo respecto a los niveles de antocianos. De tal forma, que los antocianos y el IPT del mosto no se relacionaron con ningún parámetro climático, pero si lo hacen con propiedades de los suelos (Anexo III, Tabla 6) tales como la profundidad efectiva, la reserva útil de agua, y el contenido en carbonatos equivalentes de los

horizontes subsuperficiales. Concretamente, la profundidad efectiva correlaciona negativamente con la intensidad de color ( $r = -0,464$ ), el IPT ( $r = -0,467$ ) y los antocianos ( $r = -0,486$ ) de la uva. A su vez, los antocianos se relacionan significativa y negativamente con la reserva útil de agua ( $r = -0,417$ ). Respecto al color, los suelos con menor capacidad de retención de agua producen mostos con mejores parámetros de color (van Leeuwen *et al.*, 2004; Coipel *et al.*, 2006). Esta observación está relacionada con la influencia sobre el vigor de la vid, que conlleva a su vez un mayor crecimiento vegetativo, y por lo tanto, una menor incidencia de la luz solar en el racimo, lo cual resulta desfavorable para la síntesis de polifenoles y antocianos.

Los suelos arcillosos y los suelos esqueléticos (con alto % de gravas) producen bayas con mayores concentraciones de antocianos, respecto a los suelos arenosos (van Leeuwen *et al.*, 2004). Estos resultados podrían aplicarse a los subgrupos PC y PA, suelos con un horizonte argílico de textura arcillosa, pero no se explicaría el comportamiento del subgrupo HC, que presentando altos porcentajes de gravas en su perfil, no destaca por sus componente del color. El subgrupo PO, que no presenta un horizonte argílico, proporciona bayas con mayor concentración de antocianos, pero quizás sea debido en este caso a un déficit hídrico moderado, ocasionado por su baja profundidad efectiva y la menor capacidad de retención de agua. Muchos estudios indican el impacto positivo de un déficit hídrico moderado en la síntesis de compuestos fenólicos y en la calidad de la uva (Duteau *et al.*, 1981; Matthews y Anderson, 1988; van Leeuwen y Seguin, 1994; Ojeda *et al.*, 2002; van Leeuwen *et al.*, 2004). La intensidad del déficit hídrico de la vid depende no solo de los parámetros climáticos, sino también de la capacidad de retención de agua disponible del suelo (van Leeuwen *et al.*, 2004). Tal consideración explicaría la diferencia entre los contenidos de antocianos más elevados en el subgrupo PO con relación al subgrupo HF.

Se ha constatado por diversos autores que la fertilización nitrogenada afecta al contenido de compuestos fenólicos en la baya (Delas *et al.*, 1991; Keller y Hrazdina, 1998; Hilbert *et al.*, 2003). Con bastante frecuencia, si no se aplica nitrógeno al suelo, se incrementa el contenido de compuestos fenólicos en la baya. Un déficit hídrico moderado, con un bajo estatus nitrogenado en el periodo de crecimiento tiene efectos beneficiosos sobre el contenido total de compuestos fenólicos en la baya y en la calidad final del vino, que estaría relacionado con un efecto limitante del vigor de la vid de

ambos factores (Choné *et al.*, 2001). Estos autores concluyen que un bajo estatus nitrogenado antes del envero tiene mayor influencia en el vigor que un déficit hídrico moderado. Este escenario bajo en nitrógeno, induce contenidos elevados de antocianos y taninos en la baya, acompañado de bayas más pequeñas. Tal situación, lógicamente conlleva una reducción de la producción que quizás sea aceptable en viñedos preparados para uva de alta calidad. Los bajos contenidos de compuestos fenólicos y antocianos en los mostos del subgrupo HF podrían explicarse, en parte debido, a los niveles más altos de N extraíble del suelo.

Otro parámetro como los carbonatos equivalentes del suelo se corresponde de forma positiva con la intensidad de color ( $r=0,445$ ), el IPT ( $r=0,427$ ), y los antocianos ( $r=0,399$ ), y la intensidad de color con la caliza activa ( $r=0,441$ ) de los horizontes subsuperficiales (Bk o Ck). Zamboni *et al.* (2008) atribuyen las grandes diferencias en la concentración de antocianos y de polifenoles totales en uva, a los diferentes valores de arcilla y caliza activa en los suelos estudiados con las variedades Cabernet Sauvignon y Sangiovese. Detectan una correlación positiva y significativa entre la caliza activa del suelo y los antocianos del mosto. Esto podría relacionarse con los elevados contenidos de antocianos y del IPT en los subgrupos CTC y PO, que presentan un horizonte cálcico y un petrocálcico respectivamente subyacente al Ap. Asimismo a los subgrupos PC y PA que presentan los mismos horizontes, cálcico y petrocálcico, pero por debajo del horizonte argílico.

En las Tablas 15 y 16 del Anexo III, se relacionan la composición mineral de la hoja y las características de los mostos. La intensidad de color del mosto correlaciona ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) negativamente con el N en limbo ( $r=-0,483$ ). Los antocianos y el IPT también se corresponden de forma negativa con el N en limbo, pero los valores del coeficiente de Pearson son más bajos ( $r=-0,328$  y  $r=-0,289$ ) aunque significativos. El IPT, a su vez, se relaciona negativamente con el N en pecíolo ( $r=-0,421$ ).

En este estudio, también se ha obtenido una correlación ( $n=96$ ,  $p<0,01$ ) significativa entre los valores de potencial hídrico foliar de base y un componente del color como la tonalidad, de signo negativo ( $r=-0,406$ ), como figura en la Tabla 10 del Anexo III.

En la Tabla 21 del Anexo III, se indican las relaciones que se han encontrado entre los componentes de la acidez y del color de los mostos. Estas han sido: grado probable del mosto correlaciona ( $n= 198$ ,  $p<0,01$ ) con la tonalidad del mosto ( $r= 0,470$ ). El pH del mosto con la intensidad de color ( $r= -0,462$ ) y la tonalidad ( $r= 0,655$ ). La acidez total del mosto con la intensidad de color ( $r= 0,433$ ) y la tonalidad ( $r= -0,639$ ). Finalmente, el ácido málico del mosto y su tonalidad ( $r= -0,573$ ). Entre los componentes del color, los antocianos del mosto correlacionan con la intensidad de color ( $r= 0,634$ ) y el IPT ( $r= 0,743$ ). Por último, la tonalidad y la intensidad de color correlacionan negativamente ( $r= -0,553$ ).

Respecto a los valores de grado probable, acidez y antocianos alcanzados en mostos del subgrupo Palexeralfs cálcico (PC), se podrían interpretar con relación a un déficit hídrico temprano, que provoca una ralentización precoz en el crecimiento de los pámpanos y reducción del tamaño de la baya. En estas condiciones, el contenido en azúcares y antocianos en la baya se incrementa debido a una mayor velocidad de maduración. La acidez total se reduce y las bayas contienen menos ácido málico. La calidad de la uva es alta en los suelos que inducen un cierto estrés hídrico, especialmente en los suelos arcillosos, en los cuales se producen déficits hídricos tempranos pero moderados (van Leeuwen *et al.*, 2004). Asimismo, presentan un horizonte cálcico subyacente al argílico que se relaciona positivamente con los antocianos y el IPT.

En el caso de los subgrupos PA y PO, que son suelos con un horizonte petrocalcico cementado que limita el desarrollo radicular y el desarrollo vegetativo, presentan concentraciones de N en limbo y pecíolo más bajas y mostos con mayor contenido de polifenoles. Son las condiciones de estos suelos las que limitan el vigor y la producción provocando valores mayores de polifenoles en el mosto. Asimismo, se han encontrado correlaciones significativas y positivas entre el porcentaje de carbonatos totales con relación a los componentes del color, y de la caliza activa con la intensidad de color.

Resultados similares a los obtenidos con los subgrupos PO y PA, con mayores contenidos de polifenoles asociados a un menor vigor, han sido referidos por varios autores en distintas zonas vitícolas y con diferentes variedades (Choné *et al.*, 2001;

Esteban *et al.*, 2001; Roby *et al.*, 2004; Salon *et al.*, 2005; Koundouras *et al.*, 2006; Castellarin *et al.*, 2007; Koundouras *et al.*, 2009; Chalmers *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2011).

La composición de la uva en el momento de su recolección es el parámetro más importante para la calidad de un vino. Reynard *et al.* (2011a) afirma que el tipo de suelo tiene un efecto significativo en el nivel promedio de todos los parámetros de la baya, excepto en el contenido de azúcares, pH, acidez total, ácido málico y ácido tartárico. En nuestro estudio se han encontrado diferencias en la práctica totalidad de los parámetros de los mostos, desde todos los componentes de acidez, excepto ácido tartárico, a los componentes del color, debido a la influencia del tipo de suelo nivel de subgrupo bajo unas condiciones mesoclimáticas comunes.

### III.6.3. NITRÓGENO FACILMENTE ASIMILABLE EN MOSTOS

En la Tabla III.31 figuran los valores de NFA determinado en mostos por subgrupos de suelos y por años de estudio. En principio, se pueden catalogar los niveles de NFA en mostos como bajos pero no críticos, ya que la cepa de levadura seleccionada realizó una fermentación normal, excepto en los mostos procedentes del subgrupo de suelos PO en el año 2013. Este suelo PO aportó en 2013 a sus mostos un contenido de NFA próximo a 100 mg/l, siendo el más bajo de los determinados.

Con relación al NFA en mostos se observa que existen diferencias significativas entre subgrupos de suelos, por lo que es posible afirmar que el contenido en nitrógeno varía en función del tipo de suelo. Tal efecto significativo se ha producido en los años 2011 y 2013, es decir, en añadas muy dispares climatológicamente hablando, la primera calificada como seca y la segunda correspondiendo a un año lluvioso y fresco. Sin embargo, a lo largo de 2012, con una precipitación considerada normal, aparecen diferencias en los niveles de NFA en mostos para los distintos subgrupos, si bien debido a la gran variabilidad no resultan significativas.

En otro orden de cosas, no se expresan grandes variaciones entre añadas con relación a los contenidos de NFA. Los subgrupos que no experimentan cambios significativos han sido: HC, CTC, PC y PA. Las diferencias observadas no son fácilmente interpretables. El subgrupo HF incrementa su NFA en el 2013, es decir, a

mayor disponibilidad de agua conlleva una mejora en el estado nitrogenado de la vid. Por su parte, los subgrupos PO y PA incrementan el NFA de los mostos en el 2012, suelos con menor profundidad efectiva, que parecen optimizar mejor los años de precipitaciones consideradas normales. En el caso del subgrupo CT que aporta mostos con NFA más alto en el 2012, podría intervenir algún factor más como los bajos niveles de N extraíble del suelo.

Tabla III.31 Contenido de NFA en mostos de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
NFA (mg/l)	CT	145,1 abA	184,3 B	160,4 bcAB
	HC	155,7 b	162,2	145,9 bc
	HF	144,7 abA	145,6 A	169,6 cB
	CTC	113,2 a	123,9	119,0 ab
	PC	137,0 ab	129,7	162,2 bc
	PO	131,6 abAB	182,8 B	103,0 aA
	PA	139,3 ab	184,3	151,4 bc

CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Según White (2015), el NFA que comprende el  $N-NH_4^+$  y los aminoácidos (excluyendo la prolina), debe encontrarse en un rango entre 200 y 480 mg/l, dependiendo de la cepa de levadura. Indica un valor óptimo para el NFA de 250 mg/l para variedades tintas. Sin embargo, Tregoat *et al.* (2002) observan valores de NFA en mostos entre 50 y 250 ppm, mostrando una amplitud muy fuerte dependiente del tipo de suelo. Este comportamiento se debería a las diferencias en la disponibilidad de nitrógeno por parte del viñedo, ya que en el periodo de maduración los aminoácidos asimilables son acumulados con los azúcares en las bayas (Rodrigues-Lovelle y Gaudillere, 2002). Asimismo, el contenido total de nitrógeno en bayas parece estar estrechamente relacionado con el de la materia orgánica del suelo (Choné *et al.*, 2001) para diferentes tipos de suelos.

Reynard *et al.* (2011b) encuentran que el N en limbo y el NFA en mostos se correlacionan positivamente, si bien la correlación con el P en limbo resulta negativa. Estos resultados en nuestro estudio no se han observado con Tempranillo para el N en

limbo, pero si para el N en pecíolo, que correlaciona positivamente con el NFA en mosto ( $r = 0,460$ ,  $n = 153$ ,  $p < 0,01$ ).

Asimismo, se han encontrado correlaciones ( $n = 153$ ,  $p < 0,01$ ) positivas entre el contenido de NFA en mosto y parámetros como el pH del mosto ( $r = 0,436$ ), el Ca en mosto ( $r = 0,464$ ), y también con el pH ( $r = 0,445$ ), el K ( $r = 0,431$ ), y la tonalidad ( $r = 0,435$ ) del vino.

Tal como se podría relacionar con las aportaciones de los suelos HF, en diversos estudios (Keller *et al.*, 1998; Maigre, 2002; Hilbert *et al.*, 2003) se observan incrementos de ácido málico en mostos cuando se dan altos niveles de nitrógeno edáfico. Probablemente este comportamiento es debido al mayor vigor de la vid, que desarrolla una densa vegetación, modificando el microclima de los racimos (temperatura y exposición), que conlleva una menor velocidad de degradación del ácido málico en las bayas (Ruffner, 1982). Asimismo, cuanto mejor estatus nitrogenado de la vid, más alto será el pH del mosto (Spayd *et al.*, 1994; Keller *et al.*, 1999; Keller, 2010), resultado que se ha dado en este estudio, de tal forma que el N en pecíolo, el NFA del mosto, pH del mosto, y pH del vino correlacionan positivamente. Estos mismos resultados comparando nitrógeno en mostos y pH del mosto y del vino, han sido obtenidos por otros autores (Kliewer *et al.*, 1991; Spayd *et al.*, 1994).

Choné *et al.* (2001) afirman que el efecto del tipo de suelo en la vid, puede estudiarse a través del contenido de nitrógeno total del mosto. Reynard *et al.* (2011b) comprueban que si bien el NFA de la uva es el parámetro más afectado por el suelo, no ocurre lo mismo respecto al clima, en contraste con otros estudios (Bell y Robson, 1999; Nicolini *et al.*, 2004; Spring *et al.*, 2009). En el presente estudio, hay subgrupos de suelos que no presentan variaciones o diferencias entre añadas, HC, CTC, PC y PA, y otros tres subgrupos (HF, CT y PO), cuyo comportamiento entre ellos es diferente según las añadas. El subgrupo HF produce mostos con alto nivel de NFA en el año 2013, que recordemos registró una precipitación media elevada, mientras los mostos de CT y PO presentaron contenidos de NFA más elevados en el año 2012, con precipitaciones próximas a la media histórica de la zona. Además el subgrupo PO, con profundidad efectiva baja sufre un descenso considerable de NFA en los mostos del 2013, probablemente al experimentar pérdidas por lixiviación. Es decir, el NFA en uva está

influenciado por el tipo de suelo y por el clima, conclusión similar a la que obtienen van Leeuwen *et al.* (2010).

#### III.6.4. CONSIDERACIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS MOSTOS CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Se ha podido constatar cómo las características de los diferentes tipos de suelos influyen en los componentes de acidez de los mostos, así como la añada.

El subgrupo Haploxerepts fluvéntico (HF), presenta de nuevo valores de los componentes de acidez de los mostos que lo diferencian del resto de subgrupos de suelos. Ha aportado los parámetros de acidez más elevados tanto en añadas con escasez de precipitaciones como en añadas consideradas normales o incluso lluviosas. Los mostos de HF son significativamente diferentes, presentando un pH menos ácido, con mayor acidez total, un contenido en ácido málico más elevado y mayores niveles de K.

Para el resto de subgrupos de suelos, los valores de la acidez total y del ácido málico de los mostos evolucionan principalmente con relación a la añada, experimentando un incremento muy considerable en el año más lluvioso (2013), y presentando contenidos similares en años secos (2010, 2011) o considerados normales (2012) desde el punto de vista del volumen de precipitaciones.

La acidez total y el ácido málico presentan cierto paralelismo respecto a los contenidos en mostos procedentes de los diferentes subgrupos. Su mayor o menor contenido podría estar relacionado, según los subgrupos de suelos con las características de la añada. La acidez total y el ácido málico se relacionan positivamente con la  $T^a$  m y la Pr<sub>m</sub>, y de forma negativa con la R solar y la ETo. Estas condiciones climáticas afectarían a los suelos HF de forma ligera, pero no así al resto de subgrupos que podrían ser más dependientes de las características de la añada, y de su reserva de agua útil. Así se podría explicar la menor acidez total de los mostos procedentes de vides cultivadas en los subgrupos de suelos PC, PA y PO.

El ácido tartárico no parece estar muy influenciado por las variaciones entre añadas, ya que solo experimentó un ligero incremento de su contenido en el año más

lluvioso (2013). En general, los subgrupos de suelos no han podido relacionarse con variaciones en los contenidos de este ácido en los mostos en el periodo de estudio. Los subgrupos CTC y PO tienden a mayor presencia de ácido tartárico en mostos, al contrario que CT y PC.

Asimismo, el subgrupo de suelos HF aporta los niveles más altos de K en mostos respecto al resto de suelos. Por su parte, los subgrupos CT, PC, PO y PA alcanzan los niveles más bajos, resultando con niveles intermedios de este elemento los subgrupos CTC y el HC. Estos niveles podrían explicarse por los niveles de K en el horizonte Ap y de K en pecíolo que correlacionan con el K en mosto. Efectivamente, se observa para todos los subgrupos de suelos una relación directa entre el contenido de K en mosto y el nivel de K en el horizonte Ap.

El contenido de azúcares no se consideró una variable dependiente en el estudio ya que a priori se fijó un valor (22-23° Brix) para la recolección de las uvas de la totalidad de subgrupos. Sin embargo, ha sido posible establecer ciertas relaciones entre la concentración de azúcares y elementos climáticos como la R solar y la ETo.

Por otra parte, se observó que las uvas del subgrupo PC alcanzaban la concentración de azúcares umbral para su recolección en primer lugar, siendo el último subgrupo de suelos HF. Probablemente esta constatación se asociaría en el Palexeralfs cálcico (PC) con la presencia de un horizonte argílico, con un mayor contenido en arcilla. En el caso del Haploxerepts fluvéntico (HF), este retraso en la maduración estaría relacionado con la profundidad efectiva alta de estos perfiles.

Los componentes de color de los mostos permiten diferenciar los suelos a nivel de subgrupo. De tal forma, que ha sido posible agrupar los suelos: por una parte, los que aportan más color, CTC, PC, PA y PO; y por otro lado subgrupos como CT, HC y HF que producen mostos con los valores menores de parámetros que contribuyen a determinar el color.

Respecto a las añadas, también establecen modificaciones pero de menor amplitud que con los subgrupos de suelos. La intensidad de color no experimenta variaciones en los años secos (2010 y 2011), ni en el año considerado normal (2012).

Sin embargo, en 2013 caracterizado como lluvioso y fresco, se observa un aumento importante (20%-45%) en los valores de este parámetro, que afectan a todos los subgrupos de suelos.

Otros componentes del color, como los antocianos y el IPT, no experimentaron grandes variaciones en sus contenidos con relación a las añadas. Sin embargo, si se evidenciaron diferencias significativas entre los subgrupos de suelos. Así, el subgrupo HF aportó los mostos con contenidos más bajos en antocianos y valores menores del IPT, mientras que los subgrupos CT y HC contribuyeron con valores intermedios. Los suelos PC, PO y PA fueron aquellos que proporcionaron contenidos más elevados de estos dos componentes del color. El subgrupo CTC pasó de aportar valores intermedios en 2010 y 2011, a valores más altos en los años 2012 y 2013.

Los componentes del color en mostos, dentro de una condiciones mesoclimáticas comunes dependen fundamentalmente de las características de los suelos a nivel de subgrupo. Los parámetros del suelo que más influyen en el color de los mostos son, la profundidad efectiva y la reserva útil de agua, que lo hacen de forma negativa, mientras que actúan de forma positiva el porcentaje de arcilla y los carbonatos equivalentes de los horizontes subsuperficiales. A su vez, estos componentes del color correlacionan de forma negativa con el N en limbo.

Con todo ello, podría explicarse la contribución de los diferentes subgrupos de suelos al color de los mostos. El subgrupo HF proporciona mostos con bajos contenidos en antocianos e IPT, debido a su profundidad efectiva y reserva útil de agua elevadas, presentando los niveles más altos de N extraíble del suelo, contenidos medios de arcilla y bajos porcentajes de carbonatos equivalentes (10%). Además, este tipo de suelos aporta al tejido foliar altos niveles de N tanto en limbo como en pecíolo. Respecto al color, los suelos CTC, PC, PA y PO, tienen en común que presentan horizontes de naturaleza calcítica, con altos porcentajes de carbonatos equivalentes. Además, PO y PA tienen profundidad efectiva y reserva de agua bajas. Además, los Palexeralfs PC y PA destacan por sus horizontes argílicos enriquecidos en arcilla.

Para terminar, indicar que los componentes del color, la intensidad de color, el IPT y los antocianos correlacionan entre sí.

### III.7. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LOS PARÁMETROS DE VIGOR Y DE RENDIMIENTO

La productividad de los viñedos se evalúa en términos de vigor de la vid, de rendimiento y de calidad del fruto. En principio, esta varía espacialmente y su variación está unida inexorablemente con cambios en los atributos del suelo y la topografía (Bramley y Hamilton, 2007).

#### III.7.1 COMPONENTES DE VIGOR

Para caracterizar el vigor del viñedo se han utilizado los siguientes componentes: número de sarmientos por cepa, peso unitario del sarmiento y peso de madera de poda por cepa, para cada uno de los siete subgrupos de suelos y en los cuatro años estudiados. Estos datos se presentan en la Tabla III.32.

En primer lugar, cabe reseñar que una vez revisados los parámetros de vigor obtenidos en conjunto en nuestro estudio, estos concuerdan con los valores obtenidos por otros autores para la variedad Tempranillo en condiciones edafoclimáticas de Rioja (Pérez-Álvarez, 2015; Martínez de Toda *et al.*, 2004).

El peso unitario del sarmiento para el subgrupo HF presenta valores superiores respecto al resto de subgrupos, para la totalidad de los años estudiados. En el lado contrario, el subgrupo PO que proporciona los pesos más bajos. Con pesos intermedios se encuentran los subgrupos CT, HC, CTC que se acercan al subgrupo HF, y los subgrupos PC y PA que contribuyen con pesos unitarios de sarmiento algo más altos que el subgrupo de suelos PO.

En general y con relación a las añadas, todos los subgrupos aumentaron el peso unitario del sarmiento en el 2013, excepto PO. En detalle, se observó que el peso unitario del sarmiento para tres (HF, CTC y PA) de los siete subgrupos no experimentó variaciones interanuales. De los cuatro restantes, hubo tres subgrupos de suelos CT, HC y PC que aportaron pesos unitarios más altos en la añada más lluviosa.

Tabla III.32. Componentes de vigor de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Nº de sarmientos /cepa	CT <sup>1</sup>	10,59 bc <sup>2</sup>	10,46 c	10,00 bc	10,19 cd
	HC	10,31 bc	10,19 bc	10,24 c	9,77 bc
	HF	9,72 abB	9,81 abcB	9,22 abAB	8,83 aA
	CTC	10,72 c	10,42 c	10,61 c	10,69 d
	PC	9,67 ab	9,19 a	9,06 a	9,42 abc
	PO	9,28 a	9,46 ab	9,33 ab	8,96 ab
	PA	9,00 a	9,69 abc	8,86 a	9,42 abc
Peso unitario sarmiento (g)	CT	107,0 bB	97,9 aAB	74,6 abA	117,4 cdB
	HC	95,1 abA	99,9 aA	91,7 bA	132,8 dB
	HF	147,8 c	152,6 b	144,0 c	171,7 e
	CTC	106,1 b	98,7 a	73,6 ab	89,1 b
	PC	65,9 aA	90,4 aAB	76,7 bAB	95,9 bcB
	PO	70,0 aB	70,4 aB	51,7 aA	62,5 aAB
	PA	105,3 b	100,4 a	83,0 b	98,4 bc
Peso de madera (kg/cepa)	CT	1,13 bcB	1,01 bB	0,74 abcA	1,19 cB
	HC	0,97 bA	1,02 bA	0,93 cA	1,29 cdB
	HF	1,44 c	1,49 c	1,32 d	1,51 d
	CTC	1,16 bc	1,04 b	0,79 bc	0,96 b
	PC	0,64 aA	0,82 abAB	0,68 abA	0,90 bB
	PO	0,64 aAB	0,66 aB	0,53 aA	0,56 aAB
	PA	0,94 ab	0,95 ab	0,73 abc	0,91 b

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Respecto al peso de madera de poda, fue el subgrupo HF el que proporciono peso superior en los cuatro años estudiados, respecto de los subgrupos PC, PO y PA. Asimismo, el subgrupo PO aportó los pesos de madera de poda más bajos, dando CTC, PC y PA pesos ligeramente mayores.

Con relación a las añadas, el peso de madera de poda siguió las mismas pautas que el peso unitario del sarmiento. En general, todos los subgrupos aumentaron el peso de madera de poda por cepa en el 2013, excepto PO.

Estos pesos, unitario del sarmiento y de madera de poda, aportados por el subgrupo HF se podría asociar en primer lugar a una mayor reserva hídrica de los suelos HF. De igual forma, otros autores observan en suelos con mayor reserva hídrica cepas de mayor vigor (Oliveira, 1995; van Leeuwen *et al.*, 2003; Hunter y Deloire, 2005).

El peso unitario del sarmiento y el peso de madera de poda, como componentes de vigor, están influenciados entre otros factores por el tipo de suelo. Los suelos más fértiles incluidos en el subgrupo HF y con mayor potencial, producen más madera de poda por cepa, que los suelos del subgrupo PO, de menor profundidad efectiva y baja capacidad de retención de agua.

En este estudio, no ha sido posible correlacionar estos componentes del vigor con los elementos climáticos. Por el contrario, se han constatado correlaciones positivas y negativas ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) de estos dos componentes del vigor con diversos parámetros del suelo, de hoja, del mosto y del vino. Según se indica en la Tabla 6 del Anexo III, el peso unitario del sarmiento y el peso de madera de poda se relacionan positivamente con la profundidad efectiva del suelo ( $r= 0,561$ ;  $r= 0,606$ ), la reserva útil de agua ( $r= 0,435$ ;  $r= 0,462$ ), y los niveles de Mg en el horizonte Ap ( $r= 0,526$ ;  $r= 0,521$ ). Además, se corresponden negativamente con los carbonatos equivalentes ( $r= -0,426$ ;  $r= -0,432$ ) y con la caliza activa ( $r= -0,404$ ,  $r= -0,408$ ) de los horizontes subsuperficiales.

Como se indica en la Tabla 15 del Anexo III, el peso de madera de poda se relaciona positivamente con el K en limbo ( $r= 0,564$ ). En la Tabla 16 (Anexo III), la correspondencia positiva es con el N en pecíolo ( $r= 0,546$ ), el P en pecíolo ( $r= 0,422$ ), y el K en pecíolo ( $r= 0,477$ ). En la Tabla 19 del Anexo III, el peso de madera por cepa correlaciona positivamente con el ácido málico en mostos ( $r= 0,566$ ) y lo hace de forma negativa con el IPT en mostos ( $r= -0,511$ ). En la Tabla 20 (Anexo III), se relaciona de forma positiva con el K en vinos ( $r= 0,442$ ), siendo negativa la correspondencia con la A420 ( $r= -0,496$ ), la A520 ( $r= -0,519$ ), la A620 ( $r= -0,460$ ), la intensidad de color ( $r= -0,522$ ), el IPT ( $r= -0,464$ ) y los antocianos ( $r= -0,415$ ) en vinos.

En las Tablas 15 y 16 del Anexo III, figuran las relaciones observadas entre el peso unitario del sarmiento y los nutrientes foliares. Las correlaciones son muy parecidas a las expuestas para el peso de madera/cepa, destacando la correspondencia del peso unitario del sarmiento con el K en limbo ( $r= 0,611$ ), el N en pecíolo ( $r= 0,572$ ), y el K en pecíolo ( $r= 0,516$ ). Asimismo, el peso unitario de sarmiento también correlaciona positivamente con el P en limbo ( $r= 0,445$ ) y el P en pecíolo ( $r= 0,505$ ).

El N peciolar no solo se relaciona positivamente con el peso unitario de sarmiento, sino que también lo hace con la producción de madera de poda por cepa ( $r=0,546$ ). Las relaciones positivas entre el N en peciolo y en limbo con el peso de madera de poda y el peso unitario de sarmiento, confirman lo expuesto por Conradie (2001) sobre la alta influencia del N en el vigor del viñedo. Reynard *et al.* (2011b) encuentran que el peso de madera de poda correlaciona positivamente con el N en limbo, y el NFA y el ácido málico de los mostos. En nuestro estudio, se ha puesto de manifiesto la relación entre el peso de madera de poda, el N en limbo y el ácido málico en mosto, y también con el N, el P, y el K en peciolo y en vinos.

Asimismo, en la Tabla 6 del Anexo III, se han obtenido correlaciones ( $n=96$ ,  $p<0,01$ ) positivas significativas entre los valores de potencial hídrico foliar de base y componentes del vigor, como el peso unitario del sarmiento ( $r=0,444$ ) y el peso de madera por cepa ( $r=0,427$ ).

En último término, se han reconocido en la Tabla 19 del Anexo III, las correlaciones ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) de los componentes de acidez y de color de los mostos con parámetros de vigor y de producción. El peso unitario del sarmiento se relaciona de forma significativa con la acidez total ( $r=0,437$ ), el ácido málico ( $r=0,611$ ) y el IPT ( $r=-0,438$ ). El peso de madera de poda se relaciona con el ácido málico ( $r=0,566$ ) y el IPT ( $r=-0,511$ ). Tesic *et al.* (2001a) encuentran fuertes correlaciones ( $p<0,05$ ) de la acidez total y el ácido málico del mosto con el peso de madera de poda, y correlaciones negativas con antocianos y polifenoles totales en uvas de Cabernet Sauvignon (Nueva Zelanda).

El peso de madera de poda, es un parámetro altamente dependiente del suelo en este estudio. Autores como van Leeuwen *et al.* (2004), que atribuyen un papel relevante también al clima, concluyen que los suelos arcillosos producen más madera de poda que los suelos con gravas. En nuestro estudio destacan los suelos HF, Haploxerepts fluvéntico, son profundos, con buena reserva de agua, y fértiles, por sus mayores producciones de madera de poda y pesos unitarios de sarmiento más altos. Por otro lado, el subgrupo de suelos PO presenta los componentes del vigor más bajos, así como su profundidad efectiva y su reserva útil de agua. Se ha podido constatar como los componentes del vigor estudiados correlacionan preferentemente con parámetros

edáficos. Esta relación significativa de los componentes del vigor de la vid y del rendimiento con los parámetros edafoclimáticos, ha sido indicada por Ubalde *et al.* (2007).

### III.7.2 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

En la Tabla III.33 figuran los valores de los parámetros de rendimiento empleados en este estudio. En primer lugar, es posible afirmar que la producción de la vid está afectada por el tipo de suelo a nivel de subgrupo. Se aprecian diferencias significativas entre subgrupos de suelos para los componentes del rendimiento, peso de 100 bayas, número y peso medio del racimo, y producción de uva por cepa. La única excepción el año 2011, y se produjo para el peso de 100 bayas.

En el análisis de añadas, se observa que ciertos parámetros, como el peso de 100 bayas y el peso medio del racimo, están muy influenciados por los elementos climáticos. Por otra parte, presentan menor grado de influencia de la añada el número de racimos por cepa y el peso de uva por cepa.

Respecto de la incidencia de la añada en los componentes del rendimiento estos fueron afectados, aunque no fue de manera uniforme para todos los subgrupos. Así por ejemplo, el CT mostró mayores valores para los componentes del rendimiento (peso de 100 bayas, peso de racimo y peso de uva por cepa) los años 2010 y 2013, respecto a 2011 y 2012. En el caso del suelo PA, el año de 2013 se alcanzaron mayores valores en los componentes del rendimiento (peso de 100 bayas, peso de racimo y peso de uva por cepa) que en los años anteriores. Resulta interesante señalar que para el HF, un año húmedo como lo fue el 2013, redujo el valor de los componentes del rendimiento (peso de 100 bayas, peso de racimo y peso de uva por cepa) respecto de los años 2011 y 2012, lo que podría indicar que una mayor disponibilidad de agua, en estos suelos profundos y con reservas de agua altas, no lleva consigo un aumento del rendimiento.

En cuanto a los subgrupos de suelos, el peso de 100 bayas en el subgrupo HF fue significativamente mayor con relación al resto de subgrupos, en los años 2011 y 2012. Paralelamente a lo ocurrido con el peso de las bayas, el subgrupo HF presentó un mayor peso de racimo y peso de uva por cepa que el resto de los subgrupos, los años

2011 y 2012. Este incremento de las componentes del rendimiento (peso de racimo, peso de 100 bayas y peso de uva por cepa) para el HF se produjo los años que fueron más secos (2011 y 2012), lo cual indicaría que el factor que contribuiría a este incremento del rendimiento sería la mayor reserva hídrica de este subgrupo. Así, en los años más húmedos (2012 y 2013) las diferencias del HF con el resto de subgrupos se reducen, ya que la disponibilidad hídrica no marca tantas diferencias con los otros subgrupos de suelos.

Tabla III.33. Componentes de rendimiento de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Peso de 100 bayas (g)	CT <sup>1</sup>	226,6 B <sup>2</sup>	217,8 aAB	202,1 abA	274,6 cdC
	HC	227,5 A	221,9 aA	224,8 bA	285,5 cdB
	HF	232,6 A	289,4 cB	289,2 cB	264,3 bcB
	CTC	226,1 A	259,5 bB	199,0 abA	294,8 dC
	PC	244,5 C	214,7 aAB	196,3 abA	223,7 aBC
	PO	220,3 B	239,2 abBC	191,5 aA	245,9 bC
	PA	224,6 A	243,5 abAB	207,1 abA	263,7 bcB
Nº de racimos/cepa (g)	CT	13,30 abA	14,59 abAB	13,81 abA	16,01 abB
	HC	12,50 aA	13,42 aAB	13,96 abAB	14,47 aB
	HF	14,65 ab	15,10 abc	15,60 b	15,83 ab
	CTC	14,40 abA	16,89 cB	15,63 bAB	17,44 bB
	PC	15,78 b	15,39 bc	14,21 ab	14,95 a
	PO	15,27 b	14,32 ab	14,64 ab	15,44 ab
	PA	15,27 b	14,32 ab	14,64 ab	15,44 ab
Peso del racimo (kg)	CT	0,421 eC	0,294 bA	0,266 aA	0,354 cB
	HC	0,298 bcdB	0,242 aA	0,263 aAB	0,271 bAB
	HF	0,348 dB	0,371 cB	0,437 bB	0,227 bA
	CTC	0,317 cdB	0,253 abAB	0,240 aA	0,272 bAB
	PC	0,258 abcC	0,203 aAB	0,224 aBC	0,170 aA
	PO	0,246 ab	0,216 a	0,212 a	0,248 b
	PA	0,221 aA	0,212 aA	0,219 aA	0,258 bB
Peso de uva (kg/cepa)	CT	5,59 dB	4,30 bA	3,67 aA	5,66 dB
	HC	3,70 ab	3,26 a	3,70 a	3,98 bc
	HF	4,92 cdAB	5,53 cB	6,75 bC	3,59 bA
	CTC	4,52 bc	4,30 b	3,78 a	4,75 cd
	PC	4,09 abcB	3,13 aAB	3,18 aAB	2,60 aA
	PO	3,78 ab	3,08 a	3,18 a	3,86 bc
	PA	3,17 aA	3,39 aA	2,88 aA	4,15 bcB

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palxeralfs cálcico; PO, Palxerolls petrocálcico; PA, Palxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Se indica en la Tabla 5 del Anexo III, que el peso de 100 bayas correlaciona con la Pr\_ene-may ( $r = 0,467$ ), la R solar ( $r = -0,436$ ), la ETo ( $r = -0,479$ ) y el IS ( $r = 0,424$ ). Varios autores indican que, el contenido de agua del suelo en las primeras fases de

crecimiento y hasta aproximadamente mitad de julio, tiene una fuerte influencia en el tamaño de la baya (Hardie y Considine, 1976; Matthews y Anderson, 1988; Jackson y Lombart, 1993; Esteban *et al.*, 1999; Roby *et al.*, 2004; Ollat *et al.*, 2002; Peyrot des Gachons *et al.*, 2005), siendo las bayas de mayor peso cuando la disponibilidad de agua es más alta. Un mayor tamaño de baya, conlleva una menor relación piel/pulpa, y en consecuencia un menor contenido de compuestos polifenólicos y antocianos en el mosto.

Peyrot des Gachons *et al.* (2005) indican fuertes correlaciones entre el peso de la baya y el estado hídrico de la vid. En este estudio, la correlación entre potencial hídrico antes del amanecer en enero y el peso de 100 bayas es significativa, pero de un valor relativamente bajo ( $r= 0,317$ ,  $n= 96$ ,  $p<0,01$ ). La disponibilidad de agua ha sido relacionada por diversos autores con el aumento del tamaño de la baya (García-Escudero *et al.*, 1997; Esteban *et al.*, 2001; Nadal y Lampreave, 2003; Castellarin *et al.*, 2005).

van Leeuwen *et al.* (2004) no encuentran correlación entre la producción y el contenido de azúcares y antocianos en mostos, pero si observan que la producción se relaciona positivamente con ciertos componentes de la acidez del mosto, como acidez total y ácido málico, y negativamente con el pH. No ha sido posible constatar estos resultados en nuestro estudio, aunque si se han obtenido correspondencias de componentes del rendimiento con diferentes parámetros edáficos y del mosto.

En la Tabla 6 del Anexo III, se advierte como la producción (kg uva/cepa) se correlaciona positivamente ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) con la profundidad efectiva de los suelos ( $r= 0,509$ ), y con la reserva útil ( $r= 0,504$ ), y lo hace de forma negativa con los elementos gruesos del suelo ( $r= -0,404$ ). El peso medio del racimo también se relaciona con la profundidad efectiva de los suelos ( $r= 0,593$ ), la reserva útil ( $r= 0,560$ ), y de forma negativa con los elementos gruesos del suelo ( $r= -0,442$ ) y a su vez con los niveles de Mg del horizonte superficial Ap ( $r= 0,418$ ).

Ubalde *et al.* (2007) encuentran altas correlaciones entre la producción y los parámetros edafo-climáticos. Reynolds *et al.* (2007) indican que el peso de la baya correlaciona positivamente con parámetros edáficos: % de arena, la MO, el Mn y el Fe

en suelo, y foliares como N y Ca en pecíolo, y de forma negativa con el % de arcilla, el pH del suelo, el Ca, la CEE, y por último con el K y el Mn en pecíolo. La mayor parte de estas relaciones tienen un  $r < 0,3$  y se consideran débiles. Sin embargo, indican una correlación mayor ( $r = -0,41$ ) entre % de arcilla y peso de la baya, y de este último con el N en pecíolo ( $r = 0,43$ ). Estas relaciones obtenidas con la variedad Riesling en los trabajos de Reynolds *et al.* (2007), no se han reproducido en este estudio con Tempranillo.

El peso de la baya está muy influenciado por el tipo de suelo (van Leeuwen *et al.*, 2004; Ubalde *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2011b). Sin embargo, no ha sido posible establecer relaciones entre el peso de la baya y los parámetros edáficos seleccionados en este estudio. Las correlaciones entre el peso de 100 bayas y la profundidad efectiva del suelo ( $r = 0,244$ ;  $n = 198$ ;  $p < 0,01$ ) y con la reserva útil de agua ( $r = 0,157$ ;  $n = 198$ ;  $p < 0,05$ ) son positivas y significativas, pero de un valor bajo. Se ha demostrado que el peso de la baya es mayor en suelos con alta capacidad de retención de agua disponible. Esto resulta coherente ya que un menor suministro de agua conlleva una reducción del peso de la baya (Peyrot des Gachons *et al.*, 2005; van Leeuwen *et al.*, 2003; Ubalde *et al.*, 2010). Por esto, el potencial hídrico de base en este estudio correlaciona positivamente con el peso de 100 bayas ( $r = 0,317$ ).

En la Tabla 19 del Anexo III, se considera que el peso de 100 bayas se relaciona de forma significativa y positiva con la acidez total ( $r = 0,555$ ) y el ácido málico ( $r = 0,519$ ) de los mostos, mientras que se relaciona de forma negativa con la concentración de azúcares ( $r = -0,469$ ), el pH ( $r = -0,529$ ), los antocianos ( $r = -0,522$ ) y el calcio ( $r = -0,671$ ) de los mostos. El peso medio del racimo se relaciona negativamente con los componentes del color, la intensidad de color ( $r = -0,407$ ), los antocianos ( $r = -0,456$ ) y el IPT ( $r = -0,427$ ) del mosto. Finalmente, la producción de uva por cepa se corresponde con la concentración de azúcares ( $r = -0,506$ ), el calcio ( $r = -0,486$ ), los antocianos ( $r = -0,494$ ) y el IPT ( $r = -0,416$ ) de los mostos de Tempranillo.

Entre los componentes del rendimiento, la producción de uva por cepa de Tempranillo se corresponde de forma positiva con el peso de 100 bayas ( $r = 0,507$ ) y el peso del racimo ( $r = 0,888$ ).

van Leeuwen *et al.* (2004) afirman que el rendimiento está muy influenciado por el tipo de suelo en las variedades Merlot, Cabernet Sauvignon y Cabernet franc en la AOAC Burdeos, tal como se ha obtenido en este estudio para Tempranillo en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja.

Entre los parámetros de vigor y de rendimiento estudiados, se puede afirmar que el peso unitario del sarmiento, el peso de madera de poda por cepa, la producción de uva por cepa y el peso del racimo son altamente dependientes del factor suelo, siendo los parámetros edáficos que más aportan: la profundidad efectiva del suelo, la reserva útil de agua, el porcentaje de elementos gruesos, y los niveles de Mg en el horizonte superficial. En el caso del peso medio de 100 bayas, son los elementos climáticos, en especial la precipitación, seguida de la R solar y la ETo.

### III.7.3. INDICE DE RAVAZ

El índice de Ravaz relaciona la producción unitaria de uva con el peso de madera por cepa, en forma de cociente. El valor óptimo del índice de Ravaz para Australia es entre 5-10 (Smart y Robinson, 1991). Smart (1995) y Murisier (1995) coinciden en señalar que 5 es el valor óptimo para la relación producción/peso de madera de poda. Bravdo y Naor (1996) proponen como aconsejable un índice algo superior en torno a 7. Bravdo *et al.* (1985) y Reynolds (1989) observaron que la relación que proporciona un buen equilibrio para una cosecha de calidad se encuentra en torno a 10. Valores superiores indican un exceso de producción, mientras que valores que estén próximos a tres o inferiores, son indicadores de un vigor excesivo de las cepas.

Los valores del índice de Ravaz para la interpretación de resultados (García-Escudero *et al.*, 1991) para la variedad Tempranillo en las condiciones de Rioja son:

Menor de 4. Exceso de vigor

Entre 4 y 7. Equilibrio, valores normales de vigor y producción de uva.

Mayor de 7. Desequilibrio por falta de vigor

Tabla III.34. Índice de Ravaz de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos para el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Índice de Ravaz	CT <sup>1</sup>	5,10 abc <sup>2</sup>	4,70	5,48 b	4,83 bc
	HC	3,83 a	3,35	4,07 a	3,10 ab
	HF	3,54 aB	3,91 B	5,12 abC	2,45 aA
	CTC	4,71 ab	4,21	4,81 ab	5,30 c
	PC	6,85 cB	3,87 A	4,71 abA	3,14 abA
	PO	6,14 bcAB	4,73 A	5,93 bAB	7,24 dB
	PA	3,48 a	3,79	3,98 a	5,07 c

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Según la Tabla III. 34, el índice de Ravaz para el subgrupo HF presentó valores más bajos respecto a los del subgrupo PO en los años 2010, 2012 y 2013. Por lo que, se podría relacionar estos valores del subgrupo HF, con un suelo que proporciona un exceso de vigor a la vid, por su profundidad efectiva alta, fertilidad y reserva de agua, comparándolo con el subgrupo PO, que presenta unas características edáficas opuestas.

En conjunto, la práctica totalidad de los componentes del rendimiento y del vigor que intervienen en la calidad potencial de la uva, han sido afectados por el tipo de suelo a nivel de subgrupo. Este análisis es compartido por otros autores como Brenon *et al.* (2005) y Ubalde *et al.* (2007).

#### III.7.4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS COMPONENTES DE VIGOR Y DE RENDIMIENTO CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Tanto el peso unitario del sarmiento como el peso de madera de poda se han mostrado como componentes del vigor capaces de diferenciar los tipos de suelos considerados a nivel de subgrupo. En principio, se muestran más sensibles al tipo de suelo para un año dado que a las variaciones climáticas entre añadas. Se observa una respuesta similar en todos los subgrupos de suelo, a excepción hecha del PO, aportando incrementos del peso unitario y del peso de madera en aquella añada que coincide con el año más lluvioso (2013). Este hecho refuerza la relación directa entre la disponibilidad de agua, el estado hídrico de la vid y los componentes del vigor. Además, se han encontrado relaciones positivas del potencial hídrico de base con el peso unitario del sarmiento y el peso de madera de poda.

Los subgrupos de suelos HF y PO han contribuido a diferenciar los componentes del vigor, situándose en los dos extremos de mayor y menor vigor, respectivamente. Probablemente esta observación esté ligada a la mayor o menor profundidad efectiva de uno u otro, y por tanto a la mayor o menor disponibilidad y reserva de agua útil. Además, cabe destacar que el subgrupo HF alcanzó los niveles más altos de N en pecíolo, así como de P y K en limbo y pecíolo, que a su vez correlacionan positivamente con estos dos componentes del vigor.

En el resto de subgrupos de suelos se observa una relación positiva del vigor con la profundidad efectiva, la reserva útil de agua y los niveles de Mg en el horizonte Ap. Por el contrario, otros parámetros edáficos contribuyen de forma negativa al vigor, como lo es el caso de los carbonatos equivalentes y de la caliza activa de los horizontes subsuperficiales.

En términos de calidad de la uva, los componentes del vigor considerados correlacionan positivamente con los componentes de acidez de los mostos, en especial el ácido málico, y negativamente con componentes de color como el IPT.

En relación a los componentes del rendimiento, el peso de 100 bayas y el peso medio del racimo, se ven muy influenciados por las características climáticas de cada añada. De hecho, se observa por lo general una respuesta común de todos los subgrupos (excepto HF) en la añada de 2013 (más lluviosa) con incrementos del peso de 100 bayas, del número de racimos por cepa, del peso medio del racimo y del peso de uva por cepa. En el caso del peso de 100 bayas, se ha detectado una relación positiva con la precipitación entre enero y mayo, si bien ha sido negativa con la R solar y la ETo.

Si tenemos en cuenta los diferentes subgrupos de suelos, el perfil HF proporciona bayas de mayor peso que el resto de los subgrupos, a excepción de 2013. La mayor profundidad del suelo y el mayor volumen y reserva útil de agua para este subgrupo HF, estarían detrás de este incremento del peso de la baya. Asimismo, se ha establecido una relación positiva entre el peso de la baya y el potencial hídrico de base en enero, que podría explicar la importancia de la añada y de la reserva de agua útil del suelo en el estado hídrico de la vid, con relación al peso de la baya.

El subgrupo PC mantiene una tendencia a presentar bayas de menor peso, hecho que coincide con una fecha más precoz para alcanzar la madurez tecnológica de sus uvas.

El peso de uva por cepa correlaciona con el peso medio del racimo, obteniéndose respuestas muy similares respecto a estos dos componentes del rendimiento para los diferentes subgrupos de suelos. En el caso de la producción de uva por cepa, es el subgrupo HF el que proporciona mayor peso de uva, siendo los subgrupos HC, PC, PO y PA que aportan menores rendimientos, diferencias que se diluyen en 2013, con un mayor registro de precipitaciones. Con relación al peso medio del racimo, los subgrupos HF y CT contribuyen con los pesos más elevados respecto al resto de subgrupos. El peso medio del racimo y la producción de uva por cepa correlacionan con los mismos parámetros edáficos: la profundidad efectiva del suelo, la reserva de agua útil y los elementos gruesos de los horizontes subsuperficiales, si bien con este último lo hace de forma negativa.

En este contexto, el peso de 100 bayas podría relacionarse con las características climáticas de la añada (Pr\_ene-may, R solar y la ETo) y la capacidad de retención de agua disponible del suelo. Mientras que el peso medio del racimo y la producción de uva por cepa, lo estarían con parámetros del suelo (Pef, R útil y EG).

El índice de Ravaz no presenta por lo general diferencias entre añadas para los distintos subgrupos, excepto HF, PC y PO. El subgrupo HF aporta índices de Ravaz superiores a 5 en 2012, año considerado normal, siendo menores para el resto de los años. Podría interpretarse que una añada considerada normal equilibra el desarrollo de vegetación y la producción, en suelos potencialmente muy fértiles, como lo es el subgrupo HF. En años secos y lluviosos, se desequilibran por un exceso o déficit de vegetación (vigor) con relación a una producción de uva más o menos abundante.

Los tipos de suelo PC y PO contribuyen con índices superiores a 6 en 2010 (seco), y más bajos en el 2010 y 2012. En 2013 (año lluvioso y fresco), el subgrupo PO aporta índices superiores a 7, que en el caso del PC no pasan de 4. Los suelos como PO con profundidad efectiva y reserva de agua bajas presentan un equilibrio entre producción de uva y de madera de poda, en añadas climatológicamente diferentes.

Con relación a los subgrupos de suelos, ninguno de ellos expresa índices de Ravaz mayores de 7. El subgrupo PO, con profundidad efectiva baja y con un horizonte petrocálcico, que limita el desarrollo radicular, ha contribuido con los valores más elevados de este índice. Se observa un incremento del valor del índice de Ravaz para los subgrupos de suelos, CT, HC, HF y PC con relación a la añada de 2012 (considerada normal desde el punto de vista climático), y de los suelos CTC, PO y PA en 2013 (año lluvioso y fresco).

Los subgrupos HF y HC destacan por presentar los valores más bajos de este índice, asociado a un posible desequilibrio entre vigor y producción, especialmente en el primer caso. Para el subgrupo HC, puede ocurrir que un déficit hídrico de moderado a severo afecte a los componentes de vigor y de rendimiento, debido a su elevado contenido en elementos gruesos y a su textura dominada por la fracción arena.

### **III.8 INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO Y DE LA AÑADA EN LA COMPOSICIÓN ANALÍTICA DE LOS VINOS**

#### **III.8.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS VINOS ELABORADOS A PEQUEÑA ESCALA**

Se han elaborado vinos por parcela, por triplicado, en envases de 4 l. de capacidad según metodología propuesta por Sampaio *et al.* (2007). Así las cosas, se obtienen 51 (17 parcelas; 3 repeticiones/parcela) vinos procedentes de estas fermentaciones a microescala, excepto en el 2010 que fueron 45. La caracterización físico-química se realiza una vez estabilizados los vinos. Los datos se tabulan y se analizan, según el subgrupo de suelo vitícola del que proceden las uvas.

Una vez caracterizados con relación al subgrupo de suelos de cultivo, se realiza el análisis estadístico de los datos obtenidos, mediante la comparación de medias entre subgrupos de suelos, midiendo su variación dentro de cada año, y entre años para valorar el efecto de la añada. A continuación, se presentan los datos en dos tablas: una con parámetros de acidez, y la otra con el grado alcohólico y los componentes del color.

## III.8.1.1 Componentes de la acidez de los vinos a pequeña escala

Con relación a las variaciones interanuales, los vinos de 2013 presentan valores de pH significativamente más bajos, respecto a los años 2010, 2011 y 2012. Lo mismo ocurre con la acidez total, que es significativamente más elevada en 2013. Por su parte, el K presenta niveles más altos en el 2012, un año de precipitaciones medias, excepto para el subgrupo HF.

Tabla III.35. Componentes de acidez de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
pH	CT <sup>1</sup>	3,62 abA <sup>2</sup>	3,84 cB	3,86 bB	3,47 bcA
	HC	3,67 bcB	3,85 cC	3,81 abC	3,55 cdA
	HF	3,80 cB	3,88 cC	3,78 abB	3,64 dA
	CTC	3,71 bcB	3,77 bcBC	3,85 abC	3,46 bcA
	PC	3,48 aA	3,68 bB	3,83 abC	3,45 bcA
	PO	3,57 abB	3,68 bBC	3,76 abC	3,37 abA
	PA	3,47 aAB	3,55 aAB	3,65 aB	3,30 aA
Acidez total (g/l)	CT	5,79 aB	5,31 abA	5,11 aA	6,86 aC
	HC	5,72 aB	5,27 aA	5,30 abA	7,06 aC
	HF	6,43 bB	5,78 bcdA	5,82 bA	8,37 cC
	CTC	6,22 abC	5,65 abcB	5,20 aA	7,58 bD
	PC	6,37 bC	6,00 cdB	5,48 abA	7,25 abD
	PO	6,14 abB	5,76 abcdAB	5,29 abA	7,06 aC
	PA	6,45 bB	6,18 dB	5,28 abA	7,63 bC
Ác. tartárico (g/l)	CT	2,16 cA	2,86 bB	1,68 dA	1,95 bcA
	HC	1,92 bcB	4,00 cC	1,46 cdA	1,64 abA
	HF	1,77 abB	3,08 bcC	1,37 bcdA	1,29 aA
	CTC	1,80 abAB	2,60 bB	1,09 abA	1,57 aAB
	PC	1,57 aB	0,41 aA	1,10 abB	1,58 aB
	PO	1,79 abB	0,70 aA	0,74 aA	1,49 aB
	PA	1,93 bcB	1,02 aA	1,20 bcA	2,16 cB
K (mg/l)	CT	1189 abcA	1408 bAB	1641 bB	1151 abcA
	HC	1308 bcA	1374 bA	1521 bB	1330 cA
	HF	1613 d	1625 c	1657 b	1763 d
	CTC	1353 cB	1398 bBC	1503 bC	1182 bcA
	PC	956 aA	1257 abB	1518 bC	1139 abB
	PO	1076 abAB	1223 abBC	1384 abC	962 aA
	PA	960 a	1109 a	1189 a	984 a

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática;

PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

En relación al comportamiento del ácido tartárico, comentar que presenta contenidos similares los años 2010 y 2013, es decir, la misma concentración en un año considerado seco como en un año lluvioso, respectivamente. Este ácido resulta significativamente más bajo en 2012, con precipitaciones próximas a la media. La

campana 2011, con precipitaciones tan escasas como en 2010, alcanzó valores muy dispares para los diferentes subgrupos de suelos. Los subgrupos CT, HC, HF y CTC presentan contenidos significativamente más elevados respecto a PC, PO y PA.

Sobre las variaciones entre subgrupos, se observa como el pH de los suelos PC, PO y PA es relativamente más ácido que el resto de suelos, tanto en el año 2010 como en 2011. No se observan diferencias en el año 2012, excepto PA con CT. Por su parte, en el 2013, los subgrupos PO y PA vuelven a dar lugar a vinos con un pH menor (3,37 y 3,30). Además, los valores de pH del vino son significativamente más altos para el subgrupo HF, que a su vez presenta los niveles más elevados de K en mostos, lo que contribuye a explicar que los vinos HF resultan menos ácidos. Asimismo, cabe comentar que a este subgrupo de suelos no le afecta el año climático en lo que a niveles de K se refiere. En términos generales, el subgrupo PA conduce a vinos con pH algo relativamente más ácido que el resto, siendo el subgrupo HF el que alcanza los pH más altos, tanto en años secos como lluviosos. En los años de precipitación entorno a la media, no se establecen diferencias entre el pH de los vinos de diferentes subgrupos de suelos.

Los suelos a nivel de subgrupo que menor acidez total presentan son CT, HC, CTC y PO respecto a PO, PA y en especial respecto a HF (2010 y 2011). El año 2012 no marca diferencias entre subgrupos de suelos para la acidez total de los vinos, excepto los del subgrupo HF. En la campana 2013, se produce un aumento considerable (>2 g/l) de la acidez total de los vinos, siendo un año considerado lluvioso y algo más frío. De nuevo HF presenta los contenidos más altos de acidez total, mientras que son menores en los subgrupos CT, HC, y PO. Unamunzaga *et al.* (2010) también observan diferencias significativas entre varios tipos de suelos (Alfisol, Inceptisoles...) respecto a la acidez total de los mostos de Tempranillo, en la Subzona Rioja-Alavesa de la D.O.Ca. Rioja.

Los niveles de K en vinos por subgrupos de suelos, mantienen las diferencias con respecto a los mostos, pero con un descenso entre 200 y 400 mg/l, favorecido en parte por precipitaciones en forma de bitartrato potásico (Mpelasoka *et al.*, 2003). Normalmente, este descenso de los niveles de ácido tartárico se traduce en un aumento del pH, ya que este es el que más influencia ejerce sobre el pH (Boulton, 1980; Gawel *et*

*al.*, 2000). En este sentido, decir que HF presenta los niveles más elevados de K, siendo los subgrupos con los menores niveles de este elemento: CT, PC, PO y PA.

En general, puede afirmarse que la composición de los vinos, elaborados a pequeña escala por subgrupos de suelos está estrechamente relacionada con la composición de la uva de la que proceden en lo que se refiere a los parámetros de la acidez. Los pH son ligeramente más elevados, motivado por la desaparición parcial del ácido tartárico, precipitado al aumentar el grado alcohólico y bajar la temperatura del vino para su estabilización.

#### III.8.1.2 Grado alcohólico y componentes de color de los vinos

Respecto al grado alcohólico, se detectan diferencias significativas entre subgrupos de suelos en cada ciclo, y entre añadas.

Los suelos HC y PC, a excepción de 2010, presentan un mayor grado alcohólico respecto al resto de subgrupos. Por el contrario, el subgrupo CT es el que alcanza menor grado alcohólico. Este último tipo de suelos se caracteriza por tener profundidad efectiva alta y bajos porcentajes de elementos gruesos en el perfil, características que no poseen el HC y el PC.

Respecto a los parámetros del color, la intensidad de color del vino permite diferenciar los suelos. Por una parte, PC, PO y PA son los que presentan mayor intensidad de color; y por otra, CT, HC y HF son los que alcanzan los valores más bajos. Con valores medios queda el subgrupo CTC. El resto de componentes obedecen básicamente al mismo comportamiento: IPT, tonalidad y antocianos. Al igual que ocurría en la uva, el subgrupo HF presenta los niveles significativamente más bajos respecto a los componentes del color (intensidad de color, IPT y antocianos). Vinos procedentes de suelos fértiles y bajo porcentaje de elementos gruesos, presentan un menor contenido de compuestos fenólicos y una menor intensidad de color (De Andrés-de Prado *et al.*, 2007).

Tabla III.36. Grado alcohólico y parámetros de color de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupo de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
°GA	CT <sup>1</sup>	12,22 aA <sup>2</sup>	13,63 aB	12,94 bAB	12,77 aA
	HC	13,17 abA	14,29 bC	13,10 bA	13,65 bcB
	HF	13,66 bB	13,51 aB	12,40 aA	13,83 cB
	CTC	13,60 bAB	13,24 aAB	13,05 bA	13,98 cB
	PC	12,72 abA	14,25 bB	13,88 cB	14,03 cB
	PO	12,96 abA	13,54 aB	13,22 bAB	13,32 abcB
	PA	13,33 b	13,51 a	12,92 b	13,08 ab
I.C.	CT	10,649 a	10,475 b	9,437 ab	8,903 ab
	HC	11,720 aB	12,452 bB	9,223 abA	9,913 abA
	HF	9,771 aB	7,816 aA	7,416 aA	6,768 aA
	CTC	13,570 abB	11,60 bAB	11,37 bAB	9,179 abA
	PC	16,629 b	17,028 c	14,802 c	15,490 c
	PO	15,653 b	16,866 c	15,136 c	15,178 c
	PA	15,793 bB	19,625 dC	14,892 cB	10,944 bA
Tonalidad	CT	0,427 abA	0,549 cdB	0,548 bB	0,427 abA
	HC	0,448 bcA	0,536 cdB	0,534 bB	0,468 bA
	HF	0,480 cA	0,563 dB	0,541 bB	0,564 cB
	CTC	0,436 bcA	0,507 bcB	0,532 bB	0,464 bA
	PC	0,380 aA	0,484 abC	0,513 abC	0,431 abB
	PO	0,427 abA	0,477 abB	0,499 abB	0,398 aA
	PA	0,413 abAB	0,442 aAB	0,467 aB	0,401 aA
I.P.T. (Abs 280 nm)	CT	46,3 aA	61,3 bB	57,2 bB	48,3 aA
	HC	54,0 bcA	68,19 cdB	58,3 bA	56,9 abcA
	HF	48,5 abA	50,6 aA	48,0 aA	58,2 bcB
	CTC	59,1 cdAB	64,7 bcBC	72,3 cdC	52,0 abA
	PC	62,1 deA	72,9 dAB	78,9 dB	68,4 dAB
	PO	67,0 eA	73,6 dB	74,5 cdB	61,3 cdA
	PA	64,8 deB	72,7 dB	71,2 cB	52,6 abA
Antocianos (mg/l)	CT	566 aA	697 bB	693 bB	587 abA
	HC	575 aA	754 bcB	790 bcB	590 abA
	HF	591 aB	591 aB	476 aA	478 aA
	CTC	724 bAB	749 bcB	894 cdB	551 abA
	PC	747 bAB	835 cB	1056 dC	707 cA
	PO	807 bB	808 cB	950 cdC	609 bcA
	PA	856 bB	798 cB	969 dB	539 abA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Observando las Tablas 7 y 8 del Anexo III, se comprueban las fuertes relaciones ( $n=198$ ,  $p < 0,01$ ) entre parámetros edafoclimáticos y componentes de la acidez de los vinos, confirmando de algún modo las ya observadas entre estos parámetros y la composición físico-química de la uva. El pH del vino correlaciona positivamente con la  $T^a$  m ( $r = 0,443$ ), la R solar ( $r = 0,655$ ), la ETo ( $r = 0,652$ ) y el IH ( $r = 0,638$ ), y negativamente con la Pr\_m ( $r = -0,511$ ). La acidez total del vino presenta un comportamiento inverso, manteniendo correspondencias negativas con la  $T^a$  m ( $r = -$

0,463), la R solar ( $r = -0,817$ ), la ETo ( $r = -0,832$ ) y el IH ( $r = -0,784$ ), y positivas con la Pr\_m ( $r = 0,687$ ). Asimismo, destacar que el K del vino presenta una correlación positiva con la Pef ( $r = 0,453$ ), y con el K ( $r = 0,451$ ) y el Mg ( $r = 0,548$ ) del horizonte Ap, como se muestra en la Tabla 8 del Anexo III.

Se muestran en la Tabla 17 del Anexo III, las relaciones de los componentes de la acidez con los elementos minerales en limbo. El N en limbo correlaciona con el pH ( $r = 0,505$ ), el K ( $r = 0,414$ ), y la tonalidad ( $r = 0,443$ ) del vino. Asimismo, el K en limbo lo hace con el pH ( $r = 0,470$ ), el K ( $r = 0,712$ ), y con la tonalidad ( $r = 0,530$ ) del vino. Por su parte, el Ca se relaciona de forma negativa con el ácido cítrico ( $r = -0,418$ ,  $n = 153$ ,  $p < 0,01$ ). Por último, el Cu en limbo correlaciona significativamente con el ácido cítrico ( $r = 0,417$ ). Las correlaciones que fueron observadas entre los elementos minerales, concretamente para el N, el K y el Cu en limbo y los mostos se han reproducido también en vinos.

Las correlaciones de los parámetros de la acidez del vino con los elementos minerales en pecíolo, se indican en la Tabla 18 del Anexo III. El N en pecíolo correlaciona con el K ( $r = 0,442$ ), la A520 ( $r = -0,442$ ), la intensidad de color ( $r = -0,402$ ) y la tonalidad ( $r = 0,414$ ) del vino. A su vez, el K en pecíolo se relaciona con el pH ( $r = 0,559$ ), el K ( $r = 0,782$ ), la A520 ( $r = -0,428$ ) y con la tonalidad ( $r = 0,599$ ) del vino. El Mg en pecíolo se corresponde negativamente con el K del vino ( $r = -0,469$ ). El Zn en pecíolo lo hace positivamente con el K del vino ( $r = 0,455$ ), como lo hacía con el K en mosto, y con la tonalidad ( $r = 0,418$ ). Finalmente, el Cu en pecíolo se relaciona significativamente con la acidez total ( $r = 0,410$ ) y el ácido cítrico ( $r = 0,424$ ,  $n = 153$ ,  $p < 0,01$ ). Las correlaciones observadas entre los elementos minerales en pecíolo con los mostos se han reproducido en vinos para el N, el K, el Zn y el Cu.

Los niveles de los macroelementos N y K en tejido foliar podrían indicar por las correlaciones observadas que influyen de idéntica forma sobre ciertos parámetros de acidez (pH, potasio) y de color (tonalidad) de los vinos.

Se han obtenido relaciones ( $n = 96$ ,  $p < 0,01$ ) significativas entre los valores de potencial hídrico foliar de base y parámetros de los vinos (Anexo III, Tabla 8), donde

destaca la relación positiva con la acidez total ( $r= 0,429$ ) tal y como sucedió con la acidez total del mosto.

Para los componentes de color de los vinos, la Tabla 7 del Anexo III indica como la tonalidad correlaciona positivamente con la  $T^a$  m ( $r= 0,531$ ), la R solar ( $r=0,488$ ), la ETo ( $r= 0,453$ ), el IH ( $r= 0,492$ ) y el IF ( $r= 0,427$ ). Sin embargo, el IPT y la intensidad de color del vino no correlacionan con ningún parámetro o elemento climático del estudio. Por su parte, los antocianos del vino, se relacionan de forma significativa y positiva con la R solar ( $r= 0,494$ ), la ETo ( $r= 0,505$ ), y el IH ( $r= 0,463$ ), siendo negativa con la Pr\_ene-may ( $r= -0,405$ ) y el IS ( $r= -0,444$ ). Estas relaciones podrían no tenerse en cuenta ya que los antocianos de la uva no presentaban ningún tipo de correspondencia con los parámetros climáticos, excepto con la intensidad de color y la tonalidad. Además, el IPT del mosto y del vino no correlacionan con los elementos del clima estudiados.

Según se observa en la Tabla 8 del Anexo III, los parámetros del color intensidad de color, IPT, y antocianos del vino correlacionan ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) con características de los suelos. La profundidad efectiva se relaciona de forma negativa con la intensidad de color ( $r= -0,638$ ), el IPT ( $r= -0,594$ ) y los antocianos ( $r= -0,456$ ). A su vez, la reserva útil de agua se corresponde con la intensidad de color ( $r= -0,540$ ), el IPT ( $r= -0,548$ ) y los antocianos ( $r= -0,435$ ). Por último, la intensidad de color se relaciona positivamente con los carbonatos equivalentes del suelo ( $r= 0,492$ ) y con la caliza activa ( $r= 0,449$ ) de los horizontes subsuperficiales.

Los valores de las absorbancias A420, A520 y A620 de los vinos, que se muestran en la Tabla III.36, tienen una interpretación similar al parámetro de la intensidad de color. La A520 es el valor que menos varía entre añadas. Hay subgrupos de suelos, como CT, PC y PO, que no experimentan variaciones significativas de la A520 a lo largo del estudio. El resto de subgrupos (HC, HF, CTC y PA) presentan valores más elevados en años de escasa precipitación, respecto a los años considerados normales o lluviosos. Si comparamos los valores de las absorbancias, se puede observar tal como ocurría para los componentes de color (intensidad de color, IPT y antocianos) en mostos y vinos, que también es posible diferenciar los vinos de mayor color proporcionados por PC, PO, y PA del resto. De nuevo aparece el subgrupo HF como el

tipo de suelo que aporta menor color en los vinos, al igual que ocurría con la uva procedente de parcelas con este taxón.

Finalmente destacar que (Anexo III, Tabla 8), la profundidad efectiva correlaciona con las absorbancias A420 ( $r = -0,618$ ), la A520 ( $r = -0,634$ ), y la A620 ( $r = -0,539$ ). Asimismo, la reserva útil de agua se corresponde con A420 ( $r = -0,531$ ), la A520 ( $r = -0,531$ ) y la A620 ( $r = -0,470$ ), y el porcentaje en volumen de elementos gruesos lo hace de forma positiva con la A420 ( $r = 0,357$ ), la A520 ( $r = 0,362$ ) y la A620 ( $r = 0,325$ ). La A420 y la A520 se relacionan positivamente con el porcentaje de carbonatos ( $r = 0,454$  y  $r = 0,505$ ) y con la caliza activa ( $r = 0,402$  y  $r = 0,469$ ) de los endopediones cálcicos y petrocálcicos. La A520 se corresponde negativamente con el K ( $r = -0,407$ ) del horizonte superficial Ap.

Tabla III.37 Absorbancias a 420, 520 y 620 nm de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
A420 (nm)	CT <sup>1</sup>	2,883 aAB <sup>2</sup>	3,226 bB	2,908 abAB	2,434 aA
	HC	3,262 abB	3,809 bC	2,814 abA	2,863 aAB
	HF	2,850 aB	2,494 aA	2,318 aA	2,203 aA
	CTC	3,697 abcB	3,437 bAB	3,462 bAB	2,619 aA
	PC	4,206 c	4,929 c	4,432 c	4,267 b
	PO	4,172 bcAB	4,797 cB	4,419 cAB	3,930 bA
	PA	4,120 bcB	5,370 cC	4,239 cB	2,911 aA
A520 (nm)	CT	6,790 a	6,032 b	5,410 ab	5,772 ab
	HC	7,308 aC	7,118 bBC	5,353 abA	6,164 abAB
	HF	5,933 aB	4,427 aA	4,295 aA	3,959 aA
	CTC	8,519 abB	6,849 bAB	6,531 bAB	5,815 abA
	PC	11,035 b	10,217 c	8,655 c	9,913 c
	PO	9,993 b	10,168 c	8,972 c	10,026 c
	PA	10,324 bBC	12,199 dC	9,016 cAB	7,242 bA
A620 (nm)	CT	0,976 aB	1,217 bC	1,119 abBC	0,697 aA
	HC	1,150 abB	1,524 cC	1,057 abAB	0,885 aA
	HF	0,988 aC	0,895 aBC	0,804 aB	0,607 aA
	CTC	1,354 abB	1,313 bcB	1,375 bcB	0,746 aA
	PC	1,388 bAB	1,883 dB	1,715 cAB	1,310 bA
	PO	1,489 bAB	1,901 dC	1,745 cBC	1,223 bA
	PA	1,349 abB	2,056 dC	1,638 cBC	0,791 aA

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexerals cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Además, el potencial hídrico de base se corresponde de forma negativa con la A620 ( $r = 0,401$ ) y el IPT ( $r = 0,405$ ) del vino.

Para completar el estudio de color, se han determinado las coordenadas CIEL\*a\*b\* de los vinos elaborados a microescala (Anexo I, Tabla 5), cuyos valores serán utilizados para el análisis de componentes principales global y de añadas.

En la Tabla 22 del Anexo III, se detallan las correlaciones ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) encontradas entre los componentes de mostos y de vinos. El pH del mosto se relaciona positivamente con el pH ( $r= 0,871$ ) y el K del vino ( $r= 0,613$ ), pero negativamente con la acidez total del vino ( $r= -0,874$ ). Asimismo, la acidez total del mosto se correlaciona negativamente con el pH del vino ( $r= -0,499$ ), y positivamente con la acidez total del vino ( $r= 0,876$ ) y el ácido cítrico ( $r= 0,827$ ). Por su parte, el ácido málico del mosto está relacionado positivamente con la acidez total del vino ( $r= 0,735$ ) y el ácido cítrico del vino ( $r= 0,822$ ). El K del mosto se corresponde positivamente con el pH del vino ( $r= 0,782$ ) y con el K del vino ( $r= 0,822$ ). Sin embargo, el ácido tartárico del mosto no se correlaciona con ningún parámetro de acidez del vino.

En cuanto a la concentración de azúcares en el mosto, el grado probable correlaciona positivamente con el GA del vino ( $r= 0,526$ ). Koundouras *et al.* (2006) observan esta relación y consideran que el grado alcohólico de los vinos es una consecuencia directa de la concentración de azúcares en los mostos ( $r= 0,783$ ,  $p<0,05$ ). Asimismo, el grado probable del mosto mantiene una relación positiva con componentes del color del vino: A420 ( $r= 0,632$ ), A520 ( $r= 0,457$ ), A620 ( $r= 0,669$ ), intensidad de color ( $r= 0,539$ ), IPT ( $r= 0,668$ ), y antocianos ( $r= 0,674$ ), a excepción de la tonalidad ( $r= 0,140$ ).

En último término, se han estudiado las correlaciones ( $n= 198$ ,  $p<0,01$ ) existentes entre parámetros de acidez y del color de los vinos con los parámetros de vigor y producción (Anexo III, Tabla 20). Así las cosas, el peso unitario del sarmiento correlaciona de forma significativa y positiva con el K ( $r= 0,453$ ) del vino. El peso de madera de poda se relaciona de forma negativa con el IPT ( $r= -0,464$ ) y los antocianos ( $r= -0,415$ ). El peso de madera de poda se relaciona de forma similar con el IPT del mosto ( $r= -0,511$ ) y del vino ( $r= -0,464$ ).

Asimismo, el peso de 100 bayas correlaciona de forma significativa y positiva con la acidez total ( $r= 0,596$ ) del vino, mientras que lo hace de forma negativa con el pH ( $r= -0,406$ ), los antocianos ( $r= -0,622$ ) y el IPT ( $r= -0,520$ ) del vino. El peso medio del racimo correlaciona negativamente con los componentes del color, la intensidad de

color ( $r = -0,444$ ), los antocianos ( $r = -0,498$ ) y el IPT ( $r = -0,661$ ), al igual que lo hacía con los mostos. Para finalizar, la producción de uva por cepa se relaciona negativamente con el grado probable ( $r = -0,434$ ), la A420 ( $r = -0,516$ ), la A620 ( $r = -0,436$ ), la intensidad de color ( $r = -0,516$ ), el IPT ( $r = -0,657$ ) y los antocianos ( $r = -0,558$ ) del vino.

Generalmente, ha sido difícil establecer correlaciones directas entre las características de los suelos y la calidad del vino (Seguin, 1986). En nuestro estudio, se ha encontrado que la composición del vino está muy influenciada por el subgrupo de suelos, poniéndose de manifiesto fuertes correlaciones entre propiedades de los suelos, como la profundidad efectiva, la reserva útil de agua, la CIC, el volumen de elementos grueso, porcentaje de arcilla, contenido en carbonatos totales y caliza activa, temperatura del suelo, y parámetros de composición de los mostos de los vinos de la variedad Tempranillo.

### III.8.2 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL

Además de las vinificaciones anteriores, se ha elaborado en la bodega experimental, un vino por parcela, obtenido mediante la mezcla de las uvas procedentes de las tres repeticiones (filas de 50 cepas). En total, se dispuso de 17 vinos por año, excepto 2010 con 15 elaboraciones. En primer lugar, destacar que la composición de los vinos elaborados de este modo concuerda en general con las características de los vinos elaborados con uva de la variedad Tempranillo (García-Escudero *et al.*, 1997; Nadal y Lampreave, 2003; Pérez-Álvarez, 2015).

Por lo general, se observa como los vinos elaborados a pequeña escala se comportan de forma diferente a los elaborados en la bodega piloto, ya que las diferencias entre subgrupos de suelos han sido de menor entidad, circunstancia que también ha ocurrido entre añadas. El interés de estos vinos elaborados en la bodega experimental, es que siguen las prácticas enológicas estándar en la D.O.Ca. Rioja, con una fermentación maloláctica no espontánea precedida de una siembra con bacterias lácticas (datos completos con desviaciones en Anexo I, Tablas 7, 8,9, y 10). Estos vinos se han utilizado en nuestro estudio para el análisis para el análisis de aromas secundarios o fermentativos y para su valoración organoléptica.

La acidez total de los vinos resulta similar para todos los subgrupos de suelos y en cada ciclo. El subgrupo HF presenta los valores de pH y K elevados. La acidez total de los vinos en el año 2013 resultó más alta respecto al resto de añadas. El ácido tartárico presentó concentraciones más bajas que en los vinos de microescala. Los subgrupos PA y PO tienden a presentar valores de pH algo más bajos, mayor acidez total, mayor contenido de ácido tartárico y niveles menores de K.

Tabla III.38. Componentes de acidez de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos de cultivo en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
pH	CT <sup>1</sup>	3,70	3,90 <b>b</b> <sup>2</sup>	3,94	3,57 <b>a</b>
	HC	3,73 <b>A</b>	3,91 <b>bB</b>	3,91 <b>B</b>	3,64 <b>abA</b>
	HF	3,93	3,89 <b>b</b>	3,88	3,82 <b>b</b>
	CTC	3,82 <b>B</b>	3,75 <b>abAB</b>	3,98 <b>C</b>	3,65 <b>abA</b>
	PC	3,57 <sup>3</sup>	3,68 <b>abAB</b>	3,98 <b>B</b>	3,56 <b>aA</b>
	PO	3,64 <b>AB</b>	3,63 <b>abAB</b>	3,87 <b>B</b>	3,51 <b>aA</b>
	PA	3,58	3,46 <b>a</b>	3,75	3,43 <b>a</b>
Acidez total (g/l)	CT	4,71	4,90	4,41	5,72
	HC	5,02 <b>B</b>	5,04 <b>B</b>	4,40 <b>A</b>	5,73 <b>C</b>
	HF	4,82 <b>A</b>	4,95 <b>A</b>	4,76 <b>A</b>	6,30 <b>B</b>
	CTC	4,56 <b>A</b>	4,97 <b>A</b>	4,67 <b>A</b>	6,40 <b>B</b>
	PC	5,36 <sup>3</sup>	5,76 <b>B</b>	4,71 <b>A</b>	6,36 <b>B</b>
	PO	5,18	6,00	4,76	6,56
	PA	5,31	6,11	4,97	6,73
Ác. tartárico (g/l)	CT	2,20 <b>ab</b>	1,82 <b>ab</b>	1,63	2,31 <b>b</b>
	HC	1,82 <b>ab</b>	1,96 <b>ab</b>	1,83	1,96 <b>ab</b>
	HF	1,53 <b>aAB</b>	1,99 <b>abB</b>	1,70 <b>AB</b>	1,24 <b>aA</b>
	CTC	1,91 <b>ab</b>	1,75 <b>a</b>	1,36	1,81 <b>ab</b>
	PC	2,72 <sup>3</sup>	2,08 <b>ab</b>	1,63	2,22 <b>ab</b>
	PO	2,42 <b>b</b>	2,15 <b>ab</b>	1,74	2,29 <b>b</b>
	PA	2,62 <b>b</b>	2,72 <b>b</b>	1,82	2,63 <b>b</b>
K (mg/l)	CT	1154 <b>ab</b>	1704	1483	1179 <b>a</b>
	HC	1166 <b>abA</b>	1555 <b>C</b>	1516 <b>C</b>	1359 <b>abB</b>
	HF	1517 <b>b</b>	1527	1590	1730 <b>b</b>
	CTC	1264 <b>abA</b>	1562 <b>B</b>	1505 <b>B</b>	1231 <b>aA</b>
	PC	1100 <sup>3</sup>	1504 <b>B</b>	1523 <b>B</b>	1198 <b>aA</b>
	PO	1111 <b>abA</b>	1460 <b>B</b>	1350 <b>B</b>	1112 <b>aA</b>
	PA	1083 <b>a</b>	1410	1245	1081 <b>a</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

<sup>3</sup> PC 2010 n=1

Con relación a los componentes de color de los vinos de la bodega experimental, se observa la misma tendencia que en los componentes de acidez, es decir, el análisis estadístico muestra menos diferencias entre subgrupos de suelos y entre añadas. Se

puede apreciar que los parámetros de intensidad de color e IPT son de mayor orden en los subgrupos de suelos: PC, PO y PA.

Tabla III.39. Grado alcohólico y componentes de color de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
°GA	CT <sup>1</sup>	12,40	13,57 ab <sup>2</sup>	12,73 b	12,54 a
	HC	13,40 AB	14,27 abC	12,78 bcA	13,46 abcB
	HF	13,70 B	13,70 abB	12,01 aA	13,76 bcB
	CTC	13,75	13,30 a	12,73 b	13,78 bc
	PC	12,50 <sup>3</sup>	14,25 b	13,42 c	14,04 c
	PO	13,30 AB	14,03 abB	13,05 bcA	13,51 abcAB
	PA	13,40	13,75 ab	12,71 b	12,87 ab
Intensidad de color	CT	5,068 a	7,468 a	5,939 ab	6,927 ab
	HC	5,903 aA	9,496 abB	6,835 abA	7,557 abA
	HF	5,355 aAB	6,979 aB	4,110 aA	5,570 aAB
	CTC	7,229 a	8,356 a	8,199 bc	6,005 a
	PC	8,123 <sup>3</sup>	11,208 ab	12,997 d	9,635 b
	PO	10,140 b	12,301 ab	10,355 cd	8,397 ab
	PA	11,614 bAB	15,360 bB	10,439 cdAB	7,405 abA
I.P.T. (Abs. 280 nm)	CT	34,32 aA	47,29 aB	39,78 abAB	39,14 AB
	HC	39,01 abA	56,31 abC	44,94 abcAB	45,85 B
	HF	37,54 ab	45,90 a	36,92 c	44,12
	CTC	46,64 bc	52,87 ab	53,22 bcd	39,44
	PC	45,04 <sup>3</sup>	61,26 bB	64,95 dB	46,77 A
	PO	53,33 cAB	59,79 bB	58,75 cdB	46,67 A
	PA	51,87 cB	59,84 bB	53,12 bcdB	39,27 A
Tonalidad	CT	0,607 ab	0,652 b	0,687 bc	0,560
	HC	0,609 abAB	0,639 abAB	0,654 abcB	0,594 A
	HF	0,712 bAB	0,627 abA	0,733 cAB	0,769 B
	CTC	0,592 ab	0,603 ab	0,671 abc	0,603
	PC	0,510 <sup>3</sup>	0,605 ab	0,628 abc	0,536
	PO	0,537 a	0,561 ab	0,597 ab	0,526
	PA	0,494 a	0,493 a	0,568 a	0,509
Antocianos (mg/l)	CT	601 a	769	665 ab	626
	HC	614 aA	875 C	695 abB	685 B
	HF	702 abB	731 B	538 aA	480 A
	CTC	820 ab	775	862 bc	603
	PC	724 <sup>3</sup>	1003 B	1028 cB	674 A
	PO	823 abAB	877 B	1271 dC	611 A
	PA	892 b	834	829 bc	549

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerals cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>3</sup> PC 2010 n=1

La tonalidad se comporta de forma inversa a la intensidad de color y el IPT. Los contenidos de antocianos son menores para los subgrupos CT, HC y HF. Respecto a los otros cuatro subgrupos, destaca PC por sus altos niveles de antocianos en los años 2011 y 2012. El año 2013 presenta vinos con menor contenido en antocianos, en intensidad de color e IPT.

Por su parte, los valores de las A420, A520 y A620 han presentado diferencias significativas entre subgrupos de suelos, en el periodo de estudio. Se puede apreciar la mismas tendencia, con valores elevados por lo general para los subgrupos PC, PO y PA, tal como se ha comentado con la intensidad de color.

Para completar el estudio de color, se han tenido en cuenta las coordenadas CIEL\*a\*b\* de los vinos elaborados en la bodega experimental (Anexo I, Tabla 6). Se puede observar como estos vinos presentan baja luminosidad con cierta tendencia a opacidad, de color preferentemente rojo y de intensidad amarilla. No se han encontrado diferencias significativas entre los vinos de los subgrupos de suelos en el año 2013 con relación a estas coordenadas de color.

Tabla III.40. Absorbancias a 420, 520 y 620 nm de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
A420 (nm)	CT <sup>1</sup>	1,691 aA <sup>2</sup>	2,559 aB	2,096 abAB	2,195 abAB
	HC	1,987 aA	3,225 abB	2,352 abcA	2,492 abA
	HF	1,961 aAB	2,354 aB	1,526 aA	2,148 abB
	CTC	2,369 a	2,763 a	2,827 bc	2,001 a
	PC	2,471 <sup>3</sup>	3,688 ab	4,343 d	3,037 b
	PO	3,138 b	3,819 ab	3,366 cd	2,588 ab
	PA	3,417 bB	4,446 bC	3,317 cdB	2,271 abA
A520 (nm)	CT	2,835 a	4,025 a	3,086 ab	3,995 abc
	HC	3,269 aA	5,056 aB	3,595 abA	4,206 abcAB
	HF	2,756 aAB	3,785 aB	2,084 aA	2,802 aAB
	CTC	4,031 ab	4,606 a	4,243 bc	3,390 ab
	PC	4,847 <sup>3</sup>	6,178 ab	6,919 d	5,668 c
	PO	5,885 bc	7,037 ab	5,683 cd	4,967 bc
	PA	7,014 cAB	9,261 bB	5,851 cdAB	4,447 abcA
A620 (nm)	CT	0,542 aA	0,884 aB	0,757 abAB	0,736 AB
	HC	0,647 aA	1,215 abC	0,888 abcB	0,862 AB
	HF	0,639 aA	0,840 aB	0,500 aA	0,624 A
	CTC	0,830 ab	0,987 a	1,130 bc	0,616
	PC	0,805 <sup>3</sup>	1,342 abAB	1,735 dB	0,931 A
	PO	1,117 bc	1,445 ab	1,306 cd	0,843
	PA	1,184 cB	1,654 bC	1,272 bcdBC	0,690 A

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática;

PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

<sup>3</sup> PC 2010 n=1

### III.8.3. COMPOSICIÓN AROMÁTICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL

El aroma es uno de los principales factores que determinan el carácter y la calidad del vino. Más de 800 compuestos volátiles, como alcoholes, ésteres, ácidos orgánicos, fenoles, tioles, monoterpenos y norisoprenoides han sido identificados en vinos. El flavor varietal de los vinos es debido a la presencia de monoterpenos, norisoprenoides y tioles (Selli *et al.*, 2004; Vilanova *et al.*, 2007). Entre los compuestos volátiles derivados del metabolismo fermentativo están los ésteres, alcoholes y acetatos. Etanol y glicerol son cuantitativamente los alcoholes dominantes, seguidos de alcoholes superiores y ésteres (Mateo *et al.*, 2001).

La composición de la uva contiene los precursores que serán transformados total o parcialmente durante la elaboración del vino en otros compuestos que interactúan con los órganos de los sentidos del consumidor determinando el valor del producto final (Bell y Henschke, 2005). Además, las cepas de levaduras responsables de la fermentación influyen en los niveles de la mayor parte de los compuestos aromáticos de la variedad y contribuyen al aroma final del vino a partir de los constituyentes del mosto y biotrasnformándolos en compuestos que participan en el aroma y el flavor (Styger *et al.*, 2011).

Se ha efectuado el análisis de aromas, fundamentalmente secundarios (alcoholes, ésteres, ácidos, cetonas y aldehídos) en los vinos de Tempranillo elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013, según las pautas enológicas habituales en la D.O.Ca. Rioja (datos completos Anexo I, Tablas 11, 12, 13, 14, y 15).

Se presentan en las Tablas III.41 a III.45 los compuestos aromáticos detectados, y ordenados por grupos: alcoholes, ésteres, ácidos, cetonas y otros. En los vinos de Tempranillo analizados, los alcoholes y los ésteres constituyen los grupos mayoritarios, representando el 94% de los volátiles libres. El grupo de los ésteres, segundo de mayor peso, representa el 15% y se caracteriza por poseer compuestos que proporcionan buena calidad aromática. Estos junto a los alcoholes superiores producidos durante la fermentación alcohólica juegan un papel importante en el aroma y gusto del vino.

A nivel global, puede afirmarse que existen diferencias significativas en la práctica totalidad de los compuestos aromáticos cuantificados entre añadas, y en particular destaca la menor intensidad aromática de los vinos del 2013, respecto a los años 2011 y 2012. La influencia climática parece muy fuerte, y concretamente el volumen de precipitaciones es un elemento, entre otros, que podría explicar las variaciones en los niveles aromáticos detectados.

El grupo de los alcoholes, excepto el alcohol bencílico, presenta en el año 2013 concentraciones comprendidas entre la mitad y la tercera parte respecto a los niveles del 2011 y 2012. Estos compuestos se comportan de forma similar, detectándose las mismas concentraciones en un año seco (2011) que en un año con precipitaciones consideradas normales (2012), a excepción del metionol y del alcohol bencílico.

Con relación a los subgrupos de suelos y los alcoholes, se observan diferencias significativas en el metanol (2012 y 2013), el 1-propanol e isobutanol (2013), el 1-butanol (2012 y 2013), los alcoholes amílicos (2013), el 1-hexanol (2011 y 2013), el cis-3-hexenol (2011), el metionol (2011 y 2012), y el alcohol bencílico (2011 y 2013). En el caso del 2-fenil etanol no existen diferencias significativas entre subgrupos de suelos.

En relación a los subgrupos de suelos, destaca el HF ya que en 2013 sus vinos presentan contenidos más elevados que el resto de subgrupos, en metanol, 1-propanol, isobutanol, alcoholes amílicos, y alcohol bencílico.

Entre los alcoholes alifáticos, los alcoholes amílicos presentan las concentraciones más altas sobre el resto de alcoholes superiores en los años 2011 y 2012. Otro alcohol con elevada concentración fue el 2-fenil etanol. Estos dos alcoholes son característicos de atributos afrutados y florales, respectivamente (Selli *et al.*, 2004).

Tabla III.41. Composición aromática (mg/l) de los vinos (alcoholes) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Metanol	CT <sup>1</sup>	108,5 B <sup>2</sup>	79,0 abB	24,6 aA
	HC	113,0 C	75,2 abB	34,2 cdA
	HF	121,6 B	99,1 bB	36,4 dA
	CTC	109,0 B	61,2 aAB	30,3 bcA
	PC	114,6 B	61,3 aAB	31,9 bcA
	PO	84,0 B	61,4 aB	30,5 bcA
	PA	97,4 B	50,3 aAB	29,3 bA
1-Propanol	CT	24,6 B	29,9 B	5,96 abA
	HC	26,0 B	26,6 B	6,21 abA
	HF	22,1 B	22,2 B	8,00 bA
	CTC	22,2 B	24,4 B	5,52 abA
	PC	21,1	22,5	6,54 ab
	PO	23,4	37,3	4,32 a
	PA	23,1	33,1	5,70 ab
Isobutanol	CT	48,8 B	45,8 B	13,7 aA
	HC	54,4 C	48,6 B	16,6 aA
	HF	47,2 B	52,4 B	24,3 bA
	CTC	54,8 B	48,0 B	18,1 aA
	PC	52,3 B	51,6 B	17,0 aA
	PO	47,5 B	41,4 B	16,6 aA
	PA	43,5 B	40,2 B	15,8 aA
1-Butanol	CT	1,18 B	0,97 abB	0,31 abA
	HC	1,36 C	1,08 bB	0,34 abA
	HF	1,12 C	0,73 aB	0,37 bA
	CTC	1,05 B	0,91 abB	0,35 abA
	PC	1,28 B	1,17 bB	0,28 abA
	PO	1,14 B	0,98 abB	0,21 aA
	PA	1,17 B	1,11 bB	0,26 abA
Alcoholes amílicos	CT	317,0 B	302,9 B	75,0 aA
	HC	324,2 B	319,8 B	89,2 bcA
	HF	317,0 B	322,5 B	96,9 cA
	CTC	333,4 B	302,8 B	86,2 abcA
	PC	304,2 B	346,8 B	87,2 abcA
	PO	309,4 B	291,6 B	83,2 abA
	PA	285,2 B	282,1 B	80,0 abA
1-Hexanol	CT	2,44 abB	3,12 B	0,50 aA
	HC	2,23 abB	3,14 C	0,61 abA
	HF	2,88 bB	3,17 B	0,60 abA
	CTC	2,68 abB	2,88 B	0,49 aA
	PC	1,79 aB	3,28 C	0,73 bA
	PO	1,85 aB	2,48 B	0,58 abA
	PA	1,88 aB	3,12 C	0,51 aA
Cis 3-hexenol	CT	0,35 ab	0,41	0,14
	HC	0,22 aA	0,43 B	0,17 A
	HF	0,36 abB	0,44 C	0,15 A
	CTC	0,42 b	0,46	0,16
	PC	0,29 abA	0,67 B	0,17 A
	PO	0,31 abB	0,50 C	0,19 A
	PA	0,28 abB	0,56 C	0,14 A

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Tabla III.42. Composición aromática (mg/l) de los vinos (alcoholes y esteres) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Metionol	CT <sup>1</sup>	4,76 bcC <sup>2</sup>	2,58 abB	0,81A
	HC	4,43 abcC	2,68 abB	0,98 A
	HF	5,43 cC	2,76 bB	0,83 A
	CTC	5,17 bcC	2,47 abB	0,79 A
	PC	4,06 abcC	2,20 abA	0,71 A
	PO	3,27 aB	1,72 aA	0,69 A
	PA	3,95 abB	2,26 abA	0,75 A
Alcohol bencílico	CT	0,14 abB	0,08 A	0,07 aA
	HC	0,15 abB	0,06 A	0,09 aA
	HF	0,17 bB	0,08 A	0,14 bB
	CTC	0,12 ab	0,07	0,08 a
	PC	0,15 abB	0,07 A	0,07 aA
	PO	0,10 aB	0,06 A	0,05 aA
	PA	0,10 a	0,07	0,06 a
2-Fenil etanol	CT	61,5 B	45,4 B	14,7 A
	HC	64,5 C	47,4 B	18,3 A
	HF	56,9 B	51,2 B	16,2 A
	CTC	62,8 B	54,9 B	17,5 A
	PC	60,1 B	58,9 AB	18,5 A
	PO	50,0	46,3	17,3
	PA	58,8 B	42,2 AB	15,4 A
Acetato de etilo	CT	45,2 B	51,7 B	12,1 abA
	HC	42,7 B	61,4 B	11,8 abA
	HF	43,6 AB	54,3 B	12,6 bA
	CTC	40,0 B	53,5 C	11,1 abA
	PC	43,5 B	47,4 C	11,7 abA
	PO	45,1 B	51,0 B	10,5 aA
	PA	34,4 AB	58,7 B	10,6 aA
Acetato de isoamilo	CT	1,61 B	1,82 B	0,64 abA
	HC	1,35 B	1,64 B	0,73 bA
	HF	1,02 B	1,16 B	0,25 aA
	CTC	1,53 B	1,35 B	0,59 abA
	PC	1,10	1,50	0,50 ab
	PO	1,47	1,53	0,35 ab
	PA	1,09	1,82	0,52 ab
Acetato de hexilo	CT	0,04 B	0,04 abB	0,01 A
	HC	0,07 B	0,02 aA	0,01 A
	HF	0,05 B	0,02 aA	0,01 A
	CTC	0,05	0,03 a	0,01
	PC	0,09 B	0,03 aA	0,01 A
	PO	0,12	0,03 a	0,01
	PA	0,07 B	0,05 bAB	0,01 A
Acetato de 2-fenil etilo	CT	0,12 B	0,09 B	0,03 abA
	HC	0,12 B	0,08 A	0,05 bA
	HF	0,07 B	0,07 B	0,01 aA
	CTC	0,12	0,07	0,04 b
	PC	0,08	0,10	0,03 ab
	PO	0,10 B	0,07 B	0,03 abA
	PA	0,10	0,09	0,03 ab

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

El grupo de los ésteres, al igual que sucedía con los alcoholes, presenta en general concentraciones menores en el año más lluvioso (2013), excepto para tres compuestos: acetato de hexilo, propionato de etilo y succinato de dietilo. El primero presenta concentraciones muy parecidas en los años 2012 y 2013, si bien en 2011 son significativamente más altas. El propionato de etilo no varía sus niveles en un año muy seco (2011) respecto a un año lluvioso (2013), presentando concentraciones más altas en el año 2012, con precipitaciones normales. Los niveles de succinato de dietilo parecen estar relacionados de forma inversa al volumen de precipitación, niveles altos en el 2011, medios en el 2012 y bajos en el 2013.

Entre subgrupos de suelos no se observan grandes diferencias, debido fundamentalmente a que las concentraciones de este grupo de compuestos son muy bajas.

Existen entre los ésteres, altos niveles de acetato de etilo y de lactato de etilo. Se trata de compuestos que desempeñan un papel importante en el aroma de vinos jóvenes y que se sintetizan durante la fermentación alcohólica (Selli *et al.*, 2004).

Los ácidos, al igual que los alcoholes y los ésteres, se encuentran en mayores concentraciones en los años 2011 y 2012 respecto al año 2013, que presenta niveles significativamente menores. Además, el ácido isobutírico expresa altos niveles en el año 2011 con relación al 2012. Por subgrupos de suelos, habría que destacar el HF con niveles significativamente más altos de ácido hexanoico respecto al resto de subgrupos especialmente en el año 2012. Este subgrupo presente concentraciones menores de los ácidos isobutírico, octanoico y decanoico.

Entre los ácidos orgánicos destacan el hexanoico y el octanoico que son abundantes, siendo el octanoico el que presenta mayor concentración.

Tabla III.43. Composición aromática (mg/l) de los vinos (ésteres) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Propionato de etilo	CT <sup>1</sup>	0,03 A <sup>2</sup>	0,15 B	0,03 aA
	HC	0,03 A	0,14 B	0,03 abA
	HF	0,03 A	0,17 B	0,04 abcA
	CTC	0,04 A	0,16 B	0,03 aA
	PC	0,04 A	0,15 B	0,04 cA
	PO	0,04 A	0,16 B	0,04 bcA
	PA	0,03 A	0,18 B	0,03 abA
Etil 3-hidroxitirato	CT	0,64 B	0,70 abcB	0,21 A
	HC	0,43 B	0,80 cC	0,22 A
	HF	0,56 B	0,52 aB	0,16 A
	CTC	0,61 B	0,81 cB	0,19 A
	PC	0,43 AB	0,61 abB	0,17 A
	PO	0,52 B	0,75 bcB	0,15 A
	PA	0,49 B	0,87 cC	0,19 A
Isobutirato de etilo	CT	0,03 aB	0,03 B	0,01 A
	HC	0,04 abB	0,04 B	0,01 A
	HF	0,03 aB	0,03 B	0,01 A
	CTC	0,04 abB	0,04 B	0,01 A
	PC	0,05 abB	0,04 B	0,01 A
	PO	0,04 abB	0,04 AB	0,02 A
	PA	0,05 bB	0,04 B	0,02 A
Butirato de etilo	CT	0,23 AB	0,44 B	0,10 A
	HC	0,21 B	0,36 C	0,09 A
	HF	0,23 B	0,39 C	0,08 A
	CTC	0,22 B	0,41 C	0,08 A
	PC	0,21 B	0,33 C	0,07 A
	PO	0,25 B	0,40 B	0,07 A
	PA	0,19 AB	0,48 B	0,08 A
Hexanoato de etilo	CT	0,23 B	0,25 abB	0,12 bA
	HC	0,21 B	0,25 abB	0,12 bA
	HF	0,21 B	0,22 abB	0,08 aA
	CTC	0,21 B	0,24 abB	0,10 abA
	PC	0,19 B	0,20 aB	0,09 aA
	PO	0,22 B	0,29 bB	0,08 aA
	PA	0,18 B	0,28 abC	0,08 aA
Octanoato de etilo	CT	0,14 bB	0,18 B	0,05 A
	HC	0,14 bB	0,18 B	0,05 A
	HF	0,12 abB	0,16 B	0,03 A
	CTC	0,12 abAB	0,16 B	0,05 A
	PC	0,13 abB	0,14 B	0,04 A
	PO	0,13 abB	0,23 C	0,03 A
	PA	0,10 aA	0,22 B	0,04 A

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática;

PC, Palexerals cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Tabla III.44. Composición aromática (mg/l) de los vinos (ésteres y ácidos) de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Lactato de etilo	CT <sup>1</sup>	55,3 abC <sup>2</sup>	34,3 B	15,9 A
	HC	47,4 abC	41,1 B	16,3 A
	HF	67,9 bB	46,5 AB	16,9 A
	CTC	59,6 abC	34,7 B	16,9 A
	PC	58,5 abC	38,9 B	17,7 A
	PO	42,1 aB	34,8 AB	15,7 A
	PA	65,2 abB	35,1 A	20,7 A
Succionato de dietilo	CT	1,03 abB	0,30 A	0,09 abA
	HC	1,13 abC	0,39 B	0,08 aA
	HF	0,69 aB	0,22 A	0,17 cA
	CTC	1,17 abB	0,39 AB	0,13 abcA
	PC	1,58 bB	0,46 A	0,17 bcA
	PO	1,68 bB	0,40 A	0,14 abcA
	PA	1,65 bB	0,33 A	0,14 abcA
Ácido isobutírico	CT	6,77 bC	0,98 B	0,08 A
	HC	7,54 bcC	1,01 B	0,06 A
	HF	5,07 aB	0,80 A	0,07 A
	CTC	7,26 bcC	1,24 B	0,06 A
	PC	8,75 cB	1,80 A	0,07 A
	PO	7,39 bcC	1,68 B	0,07 A
	PA	6,43 abB	1,48 A	0,07 A
Ácido hexanoico	CT	3,23 bB	3,14 bB	0,02 aA
	HC	2,09 abB	2,37 abB	0,03 aA
	HF	1,54 aA	7,21 cB	0,06 cA
	CTC	2,38 abB	2,37 abB	0,03 abA
	PC	1,82 abB	1,59 aB	0,04 bA
	PO	1,99 abB	1,82 abB	0,03 abA
	PA	1,93 abB	2,40 abB	0,03 abA
Ácido octanoico	CT	2,11 B	2,08 abB	0,91 dA
	HC	1,85 B	2,08 abB	0,86 cdA
	HF	1,95 B	1,81 aB	0,46 aA
	CTC	1,94 B	2,47 bB	0,75 bcdA
	PC	1,54 B	1,81 aB	0,57 abA
	PO	1,80 B	2,22 abB	0,62 abcA
	PA	1,73 B	2,63 bC	0,69 abcdA
Ácido decanoico	CT	0,30 B	0,37 bC	0,19 A
	HC	0,26 B	0,29 abB	0,14 A
	HF	0,26 B	0,30 abB	0,09 A
	CTC	0,29 B	0,31 abB	0,14 A
	PC	0,27 B	0,22 aAB	0,09 A
	PO	0,31 B	0,37 bB	0,08 A
	PA	0,29 AB	0,37 bB	0,15 A

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerals cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Tabla III.45. Composición aromática (mg/l) de los vinos (cetonas y otros) de cv. Tempranillo de la bodega experimental por subgrupos de suelos en el periodo 2011-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Acetoína	CT <sup>1</sup>	25,8 B <sup>2</sup>	7,06 aA	0,60 aA
	HC	30,1 C	18,45 bB	0,51 aA
	HF	22,6 B	14,84 abAB	0,59 aA
	CTC	22,0 B	8,77 abA	1,23 bA
	PC	36,6 B	13,56 abAB	0,73 aA
	PO	23,2 B	17,8 bB	0,53 aA
	PA	21,5 B	11,6 abAB	0,77 aA
Diacetilo	CT	4,49 C	3,17 bB	0,38 aA
	HC	5,22 C	1,87 aB	0,49 abA
	HF	3,67 C	2,04 aB	0,49 abA
	CTC	4,96 C	3,53 bB	0,45 abA
	PC	4,37 B	4,05 bB	0,60 bA
	PO	3,84 B	3,64 bB	0,46 abA
	PA	3,44	3,26 b	0,40 a
Butirolactona Ác. butírico	CT	5,70 B	2,11 A	1,20 aA
	HC	6,15 B	2,29 A	1,45 abA
	HF	4,81 B	1,96 A	1,59 abA
	CTC	7,10 B	2,40 A	1,87 abA
	PC	8,10 B	3,89 A	1,91 abA
	PO	9,34 B	3,74 AB	1,99 bA
	PA	10,21	2,94	2,12 b
Acetaldehido	CT	1,26 A	1,93 A	8,75 B
	HC	1,47 A	1,48 A	7,71 B
	HF	1,82 A	1,59 A	8,03 B
	CTC	1,28 A	1,37 A	8,14 B
	PC	0,86 A	1,51 A	8,67 B
	PO	3,36 A	1,78 A	8,92 B
	PA	4,72	2,07	8,75

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

El acetaldehido es el único compuesto aromático que incrementa su concentración en el año 2013 respecto a 2011 y 2012. Acetoína y diacetilo tienen el mismo comportamiento que alcoholes, ésteres y ácidos. Finalmente, la  $\gamma$ -butirolactona (y ácido butírico) presentan niveles significativamente altos en el año 2011 respecto a 2012 y 2013.

Entre subgrupos de suelos, el acetaldehído no experimenta variaciones, únicamente es destacable el comportamiento de los subgrupo HF y HC (2012) respecto a los bajos niveles de diacetilo.

En relación a la acetoina se han encontrado niveles elevados, especialmente en el año 2011 (21,5-36,6 mg/l), que resultan menores en 2012 (18,45-7,06 mg/l), hasta valores mínimos en 2013 (1,23-0,51 mg/l). Se observan diferencias entre los subgrupos de suelos para los años 2012 y 2013, no presentando una pauta reconocible, diferenciándose únicamente en 2012 el subgrupo CT respecto a HC y PO. En la campaña 2013, el subgrupo CTC presenta los niveles más altos con relación al resto de subgrupos de suelos.

En los vinos se han encontrado altos niveles de  $\gamma$ -butirolactona (y ácido butírico) detectados especialmente en 2011 (10,21-4,81 mg/l), disminuyendo en 2012 (3,89-1,96 mg/l) y con un mínimo en 2013 (2,12-1,20 mg/l). Es el año 2013 donde se observan diferencias entre los subgrupos PO (1,99 mg/l) y PA (2,12 mg/l) respecto a CT (1,20 mg/l). Esta lactona se asocia con un aroma de atributos afrutados y a caramelo.

Los elementos climáticos presentan fuertes relaciones, tanto positivas como negativas, con el perfil aromático de los vinos (Anexo III, Tablas 23, 24, 25 y 26). Entre las fuertemente positivas destacan las correlaciones de la temperatura media anual, la insolación, la ETo y el IH con el grupo de alcoholes, ésteres, ácidos y cetonas. Se observan correspondencias fuertemente negativas de la precipitación media anual, la precipitación entre enero-mayo y el IS, con los grupos de compuestos aromáticos mencionados. La excepción es para el acetaldehído, que presenta correlaciones muy altas, pero siempre de signo opuesto al resto de compuestos aromáticos. Baste como ejemplo con la precipitación media anual ( $r= 0,848$ ;  $n= 051$ ;  $p<0,01$ ) o con la radiación solar ( $r= -0,915$ ;  $n= 051$ ;  $p<0,01$ ).

Según Peyrot des Gachons *et al.* (2005), en años secos se obtienen mejores perfiles aromáticos en los vinos procedentes de suelos con mayor reserva útil de agua, y en años muy lluviosos destacan por su aroma los vinos originarios de suelos con baja reserva hídrica. En principio, no parece concordar con los resultados expuestos para el subgrupo HF, ni en general para el año 2013.

Como puede observarse en la Tabla 25 del Anexo III, se han encontrado correlaciones entre los niveles de nitrógeno extraíble ( $N-NO_3^-$  y  $N-NH_4^+$ ) en el suelo a varias profundidades de muestreo y los grupos de compuestos aromáticos en los vinos

jóvenes de Tempranillo. El  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble se relaciona de forma positiva con algunos alcoholes, ésteres y ácidos a la profundidad de muestreo 0-30 cm. Para el N amoniacal las correlaciones son negativas a profundidad 0-15 cm y positivas en el resto de profundidades excepto 15-30 cm.

Reynard *et al.* (2011b) encuentran que las características químicas y sensoriales de los vinos están estrechamente relacionadas con el estatus nitrogenado de la vid. En la Tabla 26 del Anexo III, se indican correlaciones ( $n= 51$ ,  $p<0,01$ ) positivas entre el N en limbo y la mayor parte de los compuestos aromáticos del vino, en el caso del acetaldehído esta relación es negativa ( $r= -0,658$ ). Otras correlaciones positivas aparecen entre el NFA en mosto y varios compuestos aromáticos: el 1-propanol ( $r= 0,603$ ), el acetato de isoamilo ( $r= 0,463$ ), y el butirato de etilo ( $r= 0,453$ ).

En este estudio no se ha encontrado una correlación general entre la composición aromática de los vinos y los niveles de NFA en mostos de los diferentes subgrupos de suelos. Sin embargo, como ya se ha comentado se ha puesto de manifiesto una fuerte correlación positiva entre el N en limbo y el perfil aromático de los vinos.

Respecto a los niveles de NFA, se han asociado negativamente con la astringencia, que a su vez es producida por compuestos polifenólicos (Brossaud *et al.*, 2001). Es bien conocido que la deficiencia en N estimula la producción de metabolitos secundarios como los polifenoles (Choné *et al.*, 2006; Keller, 2010) por la vía del ácido shiquímico.

La relación existente entre los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble del suelo y los compuestos aromáticos, confirma lo expuesto por varios autores (Conradie, 2001; Torres y Henschke, 2004; Spring y Lorenzini, 2006). Estos concluyen que los niveles de N en la vid influyen en los compuestos aromáticos. Esta influencia sería debida a dos procesos, en primer lugar la mayor disponibilidad de N permite la síntesis de compuestos aromáticos en uvas, ya que el NFA presente en la uva se relaciona con los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo (Pérez-Álvarez *et al.* 2015), y en segundo lugar la concentración de NFA afecta al metabolismo de la levadura, por lo tanto, a la duración de la fermentación y a la formación de los componentes del aroma/flavor en el vino (Rapp y Versini, 1995; Bell y Henschke, 2005). Peyrot des Gachons *et al.* (2005),

observan cierta tendencia negativa en el aroma potencial bajo estatus nitrogenado bajo de la vid.

#### III.8.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS VINOS CON RELACIÓN AL TIPO DE SUELO Y AÑO

Con relación a los componentes de acidez de los vinos elaborados a pequeña escala, se observa que presentan diferencias dependiendo del tipo de suelo a nivel de subgrupo, y de la añada. Los resultados obtenidos siguen las mismas tendencias que se apreciaron en los mostos de los que proceden, es decir, se muestran muy sensibles a la añada los valores del pH, de la acidez total, del ácido málico y del K de los vinos.

Con relación al pH, los subgrupos PC, PO y PA manifiestan un patrón de tendencia que pasa por dar lugar a vinos más ácidos que el resto de subgrupos, tanto en años considerados secos como en los años lluviosos y frescos. Estos subgrupos (PC, PO y PA) se caracterizan por presentar los niveles más bajos de K en vinos. Asimismo, se aprecian valores más altos de la acidez total y más bajos de pH en 2013 (año lluvioso y fresco). El subgrupo HF de nuevo destaca por sus vinos de pH menos ácido, y niveles más altos de K.

Para el grado alcohólico y los componentes de color de los vinos, de nuevo se producen diferencias significativas dependiendo del tipo de suelo a nivel de subgrupo, y de la añada. Los valores de la intensidad de color, el IPT y los antocianos siguen dividiendo los subgrupos de suelos: por una parte PC, PO y PA, y por otra CT, HC y HF, quedando el subgrupo CTC en una situación intermedia. La intensidad de color de los vinos, al igual que ocurría en los mostos, se ha mostrado poco dependiente de la añada en este estudio.

Los antocianos y el IPT presentan contenidos más altos en el año considerado normal (2012), respecto al año lluvioso (2013).

Los componentes de acidez y de color de los vinos siguen las mismas pautas de comportamiento respecto a los subgrupos de suelos y a las añadas que ya fueron observadas en los mostos. En resumen, los parámetros de acidez se relacionan

preferentemente con los elementos climáticos, y los componentes de color, como antocianos y el IPT, lo hacen con parámetros del suelo, como el caso de la Pef que lo hace de forma negativa. La intensidad de color de los vinos se relacionaría negativamente con la R útil y de forma positiva con los carbonatos y la caliza activa de los suelos. La tonalidad de los vinos parece más dependiente de la temperatura media anual, de la R solar, y de la ETo.

Por último, destacar la secuencia de correlaciones que han sido encontradas en este estudio para el potasio, relacionando el K en el horizonte superficial Ap, con el K en limbo y en peciolo, también con el K en mosto y finalmente con el K en vino.

En general, se pone de manifiesto la influencia que ejerce el tipo de suelo desde el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid, en especial en la composición mineral del tejido foliar, pasando por los componentes de vigor y del rendimiento hasta las características de los mostos y de los vinos.

Con relación a los aromas de los vinos elaborados en la bodega experimental, se observan diferencias significativas entre añadas en lo que a las concentraciones de los compuestos aromáticos se refiere. Esto explicaría que los ácidos, los alcoholes y los ésteres, alcanzan mayores concentraciones en los años 2011 y 2012 respecto al año 2013, considerado el más lluvioso y fresco. Al respecto, se han encontrado relaciones entre algunos elementos climáticos y los compuestos aromáticos de estos vinos, como lo son las correlaciones positivas de la temperatura media anual, la insolación, la ETo y el IH con el grupo de alcoholes, ésteres, ácidos y cetonas. En el caso de la precipitación media anual, la precipitación entre enero-mayo y el IS, las correspondencias con estos grupos fueron negativas. El acetaldehído lleva una dinámica opuesta al resto de los compuestos aromáticos respecto a las relaciones con los elementos climáticos, ya que es el único compuesto aromático que incrementa su presencia en los vinos en el año 2013.

En los vinos de Tempranillo analizados, los alcoholes y los ésteres constituyen los grupos mayoritarios, representando el 94% de los volátiles libres. Los vinos elaborados en la bodega experimental de la variedad Tempranillo presentan concentraciones elevadas de alcoholes como los alcoholes amílicos y el 2-fenil etanol,

de ésteres como acetato de etilo y lactato de etilo, de ácidos como hexanoico y octanoico.

En general, para los subgrupos de suelos no se han observado variaciones significativas en los perfiles aromáticos aportados a los vinos. Con relación a los subgrupos de suelos y los alcoholes, se observaron diferencias significativas en el metanol, en el 1-propanol, en el isobutanol, en el 1-butanol, en los alcoholes amílicos, en el 1-hexanol, en el cis-3-hexenol, en el metionol, y en el alcohol bencílico. En el caso del 2-fenil etanol no hubo diferencias entre subgrupos de suelos. En 2013 destaca el subgrupo HF por la aportación de algunos alcoholes como el metanol, el 1-propanol, el isobutanol, los alcoholes amílicos y el alcohol bencílico.

Finalmente, se han establecido correlaciones del perfil aromático de los vinos elaborados en la bodega experimental con el N extraíble en el suelo, el N en limbo y el NFA en mostos. Esto confirmaría la relación entre el estatus nitrogenado de la vid y el perfil sensorial de los vinos.

En resumen, es posible afirmar la influencia del tipo de suelo y de la añada en el perfil aromático de los vinos de Tempranillo debido al estatus nitrogenado de la vid proporcionado por el suelo. Con relación a la añada, destacar la importancia de los elementos climáticos, en especial la precipitación media anual y la temperatura media anual.

### **III.9. RELACIÓN DEL CALCIO EN EL SUELO CON LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE MOSTOS Y VINOS**

En la Tabla III.46, figuran los niveles de Ca en mostos de los años 2012 y 2013. En ambos se observa como existen diferencias significativas en los contenidos de Ca en mostos, dependiendo del subgrupo de suelos del que proceden. En el año 2012, el subgrupo HF presentó los niveles más bajos, diferenciándose claramente del resto y especialmente de CT, HC y PO. En 2013, por lo general disminuyen los niveles de Ca en mostos respecto a 2012, excepto en el caso de los subgrupos HF y PC, resultando que el subgrupo PA con el mínimo contenido de Ca en mosto.

El calcio del suelo, concretamente del horizonte superficial (Ap), extraído mediante una solución extractante y expresado en ppm, se ha correlacionado con otros parámetros del suelo, como el K del horizonte Ap, la CIC y los carbonatos equivalentes. En principio, se pretende relacionar los niveles de calcio en los horizontes superficiales y en los subsuperficiales o endopediones, con otros parámetros edáficos, con la composición mineral de las hojas, con componentes del rendimiento y del vigor, así como con las características de la uva (Anexo III, Tablas 27, 28, 29, 30 y 31).

En principio, son los niveles de calcio en los horizontes subsuperficiales (B/C) los que han generado mayores relaciones que el Ca del horizonte superficial. En la Tabla 27 del Anexo III, el calcio B/C se ha encontrado que correlaciona ( $n=198$ ,  $p<0,01$ ) con parámetros del suelo, como la profundidad efectiva ( $r=-0,731$ ), la reserva útil ( $r=-0,640$ ), el K ( $r=-0,475$ ) y el Mg ( $r=-0,760$ ) en el horizonte superficial Ap y con los carbonatos equivalentes ( $r=0,727$ ). Además, se han establecido correlaciones entre el calcio del suelo y diversos parámetros de la vid, como el potencial hídrico de base ( $r=-0,521$ ) en enero, ó componentes de color de los vinos, indicadas más adelante.

Tabla III.46. Contenido de calcio (mg/l) en mostos y en vinos

Muestra	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Ca (mg/l) Mosto	CT			60,2 c	43,2 bc
	HC			60,9 c	46,4 cd
	HF			38,3 a	45,1 bc
	CTC			57,1 bc	38,1 ab
	PC			48,2 b	52,6 d
	PO			63,2 c	40,2 abc
	PA			53,2 bc	33,8 a
Ca (mg/l) Vino a pequeña escala	CT	66,1 ab	60,3 ab	58,9 ab	67,6 bc
	HC	61,2 aA	62,6 abA	72,7 cB	77,2 cB
	HF	77,5 bcB	63,2 abA	70,8 cAB	90,5 dC
	CTC	78,2 bcC	67,8 bcB	57,7 aA	73,7 cBC
	PC	75,3 abcB	56,3 aA	68,7 bcAB	69,3 cAB
	PO	83,4 cC	68,7 bcB	57,0 aAB	54,2 aA
	PA	64,0 abA	73,2 cB	64,5 abcA	58,0 abA
Ca (mg/l) Vino elaborado en la bodega experimental	CT	54,48	51,94	58,75 ab	62,87 ab
	HC	52,62 A	55,77 A	67,92 bB	63,38 abAB
	HF	59,91 AB	53,66 AB	51,97 aA	85,84 bB
	CTC	59,39	56,48	64,33 ab	60,03 a
	PC	82,91 <sup>3</sup>	65,75	63,87 ab	58,39 a
	PO	63,25	61,93	62,64 ab	67,31 ab
	PA	68,04	56,34	71,21 b	60,96 a

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerals cálcico; PO, Palaxerolls petrocálcico; PA, Palaxerals petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p<0,05$ ).

<sup>3</sup> PC n=1

En la Tabla 28 del Anexo III, se indican como los niveles de calcio en los horizontes B/C correlacionan ( $n= 198$ ,  $p<0,01$ ) con los niveles de  $N-NO_3^-$  extraíble ( $r= -0,533$ ), a la profundidad de 30-45 cm. Puede observarse como casi la totalidad de las correlaciones son negativas. En el caso de la composición mineral de la hoja, en la Tabla 29 del Anexo III, se muestra que el calcio de los horizontes subsuperficiales se relaciona con el N en pecíolo ( $r= -0,442$ ), el K en limbo ( $r= -0,743$ ), el K en pecíolo ( $r= -0,754$ ), el Mg en pecíolo ( $r= 0,436$ ), y la relación K/Mg ( $r= -0,786$ ).

En relación a parámetros de calidad de la uva, como figuran en la Tabla 30 del Anexo III, el calcio subsuperficial correlaciona negativamente con componentes de la acidez, tales como el ácido málico ( $r= -0,437$ ), el K ( $r= -0,492$ ), pero positivamente con componentes del color: antocianos ( $r= 0,518$ ) e IPT ( $r= 0,471$ ) del mosto.

Asimismo, en la Tabla 31 del Anexo III, se comprueba una relación del Ca en el suelo con componentes del vigor y del rendimiento: el peso unitario del sarmiento ( $r= -0,639$ ), el peso medio del racimo ( $r= -0,442$ ) y el peso de madera de poda por cepa ( $r= -0,625$ ). Finalmente en la Tabla 32 del Anexo III, el calcio B/C también presenta correlaciones con parámetros del vino: el K ( $r= -0,642$ ), la intensidad de color ( $r= 0,555$ ), la tonalidad ( $r= -0,467$ ), el IPT ( $r= 0,440$ ) y los antocianos ( $r= 0,407$ ).

Por su relación con el calcio, se han tenido en cuenta los contenidos de carbonatos totales y la caliza activa de los horizontes subsuperficiales (Tablas 2, 4, 6, 8 y 33 del Anexo III), observándose fuertes correlaciones, con parámetros de suelo, la composición mineral del tejido foliar, los componentes de vigor y de rendimiento, y las características de mostos y vinos. En el caso de los carbonatos totales, se observa una correlación negativa con la profundidad efectiva del suelo, el K en limbo y el K del vino, el peso unitario del sarmiento y el peso de madera de poda por cepa. Los carbonatos del suelo presentan una correlación positiva con componentes del color de mostos: intensidad de color, antocianos, e IPT. Finalmente con el vino: A420, A520 e intensidad de color.

Para explicar las relaciones positivas de los carbonatos totales equivalentes y del calcio con los componentes del color podríamos atribuirle una mejora de la estructura

del suelo, que favorece la exploración radicular así como al incremento que producen en la temperatura del suelo (Seguin, 1986; Reynolds, 2010).

Cabe comentar que los carbonatos equivalentes y la caliza activa correlacionan negativamente con los niveles de Fe en pecíolo, relación que podría asociarse al hecho frecuente (ver apartado III.4.7) de que la caliza activa puede inducir clorosis férrica, debido a la dificultad para absorber hierro en estas condiciones (Porta *et al.*, 2003; Reynolds, 2010; Böhm, 2011).

La relación del Ca y la disponibilidad de nitrógeno por el hecho de que la caliza activa estabiliza la materia orgánica humificada, bloqueando o ralentizando la mineralización del nitrógeno orgánico. Es decir, en los suelos con horizontes cálcicos, la disponibilidad de nitrógeno para la vid es al menos la mitad que en otros suelos carbonáticos y calizos (Reynolds, 2010; Böhm, 2011). Por esto, correlacionan negativamente con los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble del suelo y positivamente con los parámetros de color de mostos y vinos.

En resumen, los niveles de calcio, los carbonatos y la caliza activa en el suelo parecen afectar parcialmente al nivel de N extraíble en el suelo, al N y al K foliar, al ácido málico y al K de mostos, y a la intensidad de color, al contenido de antocianos y al IPT de mostos y vinos. Asimismo a componentes de vigor y de rendimiento.

### **III.10. VALORACIÓN ORGAOLÉPTICA DE LOS VINOS ELABORADOS EN LA BODEGA EXPERIMENTAL**

Los resultados de la cata se han sometido al análisis de la varianza de las puntuaciones otorgadas por el panel de catadores, que han evaluado organolépticamente los diferentes subgrupos, correspondientes a los años 2010, 2011, 2012 y 2013.

En cada campaña, la cata se diseña para el análisis organoléptico de diez vinos: cinco vinos elaborados en la bodega experimental y cinco procedentes de elaboraciones a pequeña escala (Sampaio *et al.*, 2007). Los vinos objeto de la cata se obtuvieron mediante mezcla, a partir de la selección por precata, partiendo inicialmente de los 17 y 51 vinos elaborados en cada campaña respectivamente. El criterio de elección que se

estableció para que un vino entrase al proceso de la cata, fue en primer lugar, su método de elaboración, después pasar el control de precata sin presentar defectos, y finalmente su relación con un determinado subgrupo de suelos.

Para el análisis organoléptico de los vinos, se crearon paneles de ocho a diez catadores, con perfiles multidisciplinarios en viticultura, enología y marketing, y muy experimentados en la cata de vinos de Tempranillo. A los catadores se les presentaban, en dos sesiones sucesivas, bloques por tipo de elaboración de cinco vinos codificados. Finalmente, los resultados de las puntuaciones de cada cata fueron tratados estadísticamente, y se presentaron con relación al subgrupo de suelos dominante.

La cata de vinos elaborados a pequeña escala (Tabla III.47) ha permitido diferenciar los vinos de los años 2010, 2011 y 2012 en la fase visual. Los vinos de la añada del 2012 han destacado en el análisis organoléptico como los más singulares o diferenciadores, en relación respecto a la fase visual, olfativa, gustativa y de equilibrio.

Tabla III.47. Puntuaciones de la cata de los vinos elaborados a pequeña escala en el periodo 2010-2013 según el principal subgrupo de suelos de origen.

Fase	Subgrupo principal	2010	2011	2012	2013
Visual	HC <sup>1</sup>	21,3 a <sup>2</sup>	21,9 ab	21,4 ab	22,0
	HF	22,2 ab	20,8 a	20,7 a	21,6
	PC	22,6 b	22,5 b	22,9 b	21,9
	PO	22,9 b	22,6 b	22,9 b	22,1
	PA	23,2 bB	22,5 bAB	22,8 bAB	21,9 A
Olfativa	HC	16,2	17,9	19,3 b	18,4
	HF	18,7 B	18,8 B	12,5 aA	17,8 B
	PC	17,1	19,0	19,2 b	19,3
	PO	17,7	19,5	18,2 b	18,4
	PA	18,2	19,8	19,7 b	17,1
Gustativa	HC	16,9	17,6	19,7 b	17,3
	HF	19,3 B	17,9 B	13,8 aA	18,4 B
	PC	17,3	18,8	18,2 b	19,6
	PO	18,2	19,8	18,7 b	19,4
	PA	18,7	19,0	20,0 b	17,0
Equilibrio	HC	16,7	18,0	19,5 b	17,3
	HF	19,1 B	18,4 B	13,1 aA	18,3 B
	PC	17,3	19,1	18,8 b	19,3
	PO	18,5	19,9	19,0 b	18,8
	PA	18,8	19,3	19,8 b	16,5

Años 2010 y 2012 panel de 10 catadores y en 2011 y 2013 panel formado por 8 catadores

<sup>1</sup> HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxeralfs fluvéntico; PC, Palaxeralfs cálcico; PO, Palaxeralfs petrocálcico; PA, Palaxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a los resultados de la cata por tipos de suelos, el vino del subgrupo HF obtuvo en la fase visual puntuaciones más bajas que el resto de vinos de los demás subgrupos, en los años 2010, 2011 y 2012. Asimismo, obtuvo las calificaciones más bajas tanto en la fase olfativa como en la gustativa, y en el equilibrio en los vinos de la añada 2012. La puntuación inferior de HF en la fase visual (2011 y 2012), puede ser debida a la menor concentración de compuestos polifenólicos y de antocianos. En este sentido, recordar que los vinos del subgrupo HF presentaron valores significativamente más bajos en los componentes del color de mostos y vinos a pequeña escala como intensidad de color, IPT y antocianos.

En el caso de la fase olfativa, la peor valoración de los vinos HF podría relacionarse con el incremento significativo de metanol y de ácido hexanoico y un menor contenido de succinato de dietilo (fruta) en los vinos HF respecto a los demás vinos en el año 2012.

Tabla III.48. Puntuaciones de la cata de vinos elaborados en la bodega experimental, en los años 2010, 2011, 2012 y 2013, según el principal subgrupo de suelos de origen.

Fase	Subgrupo principal	2010	2011	2012	2013
Visual	HC <sup>1</sup>	18,2 aA <sup>2</sup>	21,4 abB	21,0 abB	21,3 bB
	HF	20,0 ab	19,0 a	19,5 a	18,4 a
	PC	19,6 aA	20,3 aAB	22,1 bB	20,9 bAB
	PO	21,8 b	22,9 b	22,4 b	21,5 b
	PA	21,9 b	21,3 ab	22,0 b	20,8 b
Olfativa	HC	20,2 AB	20,1 abAB	18,6 A	21,0 bB
	HF	20,1 B	18,0 aAB	18,6 AB	16,7 aA
	PC	20,6	19,9 ab	18,3	18,1 ab
	PO	20,3	18,8 ab	19,4	19,5 b
	PA	20,4	20,9 b	19,1	19,8 b
Gustativa	HC	17,2 aA	20,1 B	19,4 AB	19,8 bB
	HF	18,8 ab	18,0	17,6	17,0 a
	PC	18,7 ab	19,8	20,0	19,5 b
	PO	20,4 b	20,4	19,9	18,1 ab
	PA	20,5 b	20,4	19,3	18,8 ab
Equilibrio	HC	18,4 aA	19,9 bAB	19,9 bAB	20,6 bB
	HF	19,3 abB	17,3 aAB	17,6 aAB	15,9 aA
	PC	19,2 ab	19,4 b	19,7 ab	19,4 b
	PO	20,3 ab	20,3 b	19,8 b	18,6 ab
	PA	20,8 b	19,9 b	19,7 ab	19,0 ab

Años 2010 y 2012 panel de 10 catadores y en 2011 y 2013 panel formado por 8 catadores

<sup>1</sup> HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; PC, Palxeralfs cálcico; PO, Palxerolls petrocálcico; PA, Palxeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

El ANOVA de las puntuaciones de la cata de vinos elaborados en la bodega experimental, ha permitido detectar un mayor número de diferencias entre los vinos de diferentes subgrupos de suelo, especialmente en la añada de 2013. Los vinos del subgrupo HF aparecen en general como los de peor puntuación en las fases visual y gustativa (2011, 2012 y 2013). En principio, parece observarse cierta tendencia a que los vinos de PC, PO y PA estén mejor puntuados que los vinos de los subgrupos HC y HF. Los vinos de los subgrupos PC y HC no obtienen buenas puntuaciones en la añada del 2010, pero mejoran en los siguientes años igualando o superando a los vinos PO y PA.

En resumen, los resultados de la cata de vinos a pequeña escala han permitido diferenciar los vinos del subgrupo HF (Haploxerepts fluvéntico) del resto de subgrupos, al menos en los años 2010 y 2011 por la fase visual, y en el 2012 por la totalidad de fases del análisis. Respecto a la cata de los vinos elaborados en la bodega experimental, en la que resultaron un mayor número de diferencias estadísticas entre subgrupos y entre años, únicamente ha sido posible confirmar la menor calidad organoléptica de los vinos HF. Una cuestión que ha sido posible observar es que la calidad de los vinos HC resulta variable al ser dependiente de la añada, por ejemplo, el vino de HC en 2010 obtuvo menor puntuación que el vino de HF, pero en otras añadas recibe las mejores puntuaciones, como en la totalidad de las fases en 2013.

Ubalde *et al.* (2010) comentan que en un análisis organoléptico no ha sido posible diferenciar estadísticamente los vinos procedentes de dos tipos de suelos (Xerofluvent tí pico y Haploxerepts típico), aunque en principio los parámetros de color, el contenido en taninos, y la intensidad de los aromas a fruta madura diferían.

De Andrés-de Prado *et al.* (2007) atribuyen las diferencias sensoriales entre dos vinos a la influencia del suelo, sin observar efectos del resto de los factores climáticos, agronómicos y enológicos eran los mismos. Estos autores estudian las diferencias organolépticas de dos vinos procedentes de un suelo fértil y de otro de menor fertilidad y baja capacidad de retención de agua disponible, ambos clasificados como Haploxerepts fluvéntico (SSS, 2006). Describen los vinos del suelo fértil como aquellos que poseen significativamente menos color y con tendencia a naranja respecto al otro vino calificado como rojo púrpura y de color más intenso. Resultados que coinciden con

los obtenidos en nuestro estudio y en la fase visual para los vinos de los suelos fértiles del subgrupo HF. En este contexto, Tesic *et al.* (2001) encuentran que las puntuaciones alcanzadas por vinos de Cabernet Sauvignon en un análisis organoléptico, se han correlacionado positivamente con el Mg en limbo, tanto en floración como envero. Además encuentran que la evaluación sensorial de estos vinos correlaciona negativamente con los niveles de K y de ácido málico en mosto.

Zamboni *et al.* (2008) concluyen que la respuesta productiva y de calidad de la vid dentro de las condiciones impuestas por las diferentes tipologías de suelos, repercute en las características sensoriales de los vinos. Afirman que el porcentaje de caliza activa y la textura del suelo influyen en el perfil sensorial. Los suelos con mayores porcentajes de arcilla y de caliza activa, dan lugar a vinos con colores más intensos, con más estructura y acidez, perfiles que pueden atribuirse a los vinos procedentes de los subgrupos PC, PO y PA.

Por otra parte, hay que destacar que los vinos peor valorados en la cata, independientemente de la añada, proceden del subgrupo HF, es decir, los suelos con mayor profundidad efectiva, con mayor fertilidad potencial y de alta capacidad de retención de agua.

### **III.11. ANALISIS MULTIVARIANTE DE LOS PARÁMETROS DE CLIMA, SUELO, PLANTA, VIGOR Y PRODUCCIÓN, MOSTO Y VINO**

#### **III.11.1. ANÁLISIS DISCRIMINANTE**

El análisis discriminante es una técnica estadística multivariante, que se aplica en este estudio con el objeto de separar los siete subgrupos de suelos con relación a variables dependientes, que coinciden con parámetros determinados en vid, uva y vino. Este procedimiento podría verse como un modelo de predicción de un subgrupo de suelos, a partir de las medias de un conjunto de variables explicativas. Se han buscado las relaciones lineales entre las variables continuas que mejor discriminan los subgrupos de suelos. Como segundo objetivo, podría decidirse con un cierto riesgo la pertenencia a un subgrupo de suelos conociendo las variables seleccionadas. Esta técnica estadística

también se ha considerado para que partiendo del mismo conjunto de variables dependientes, podamos discriminar entre las añadas del estudio.

### III.11.1.1 Análisis discriminante global

Se selecciona como variable de agrupación, el factor suelo con la categoría taxonómica de subgrupo de suelos (7).

Tabla III.49. Autovalores, varianza y correlación del global suelo.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	13,076	31,8	31,8	0,964
2	12,305	29,9	61,7	0,962
3	6,307	15,3	77,1	0,929
4	4,478	10,9	88,0	0,904
5	3,327	8,1	96,1	0,877
6	1,623	3,9	100,0	0,787

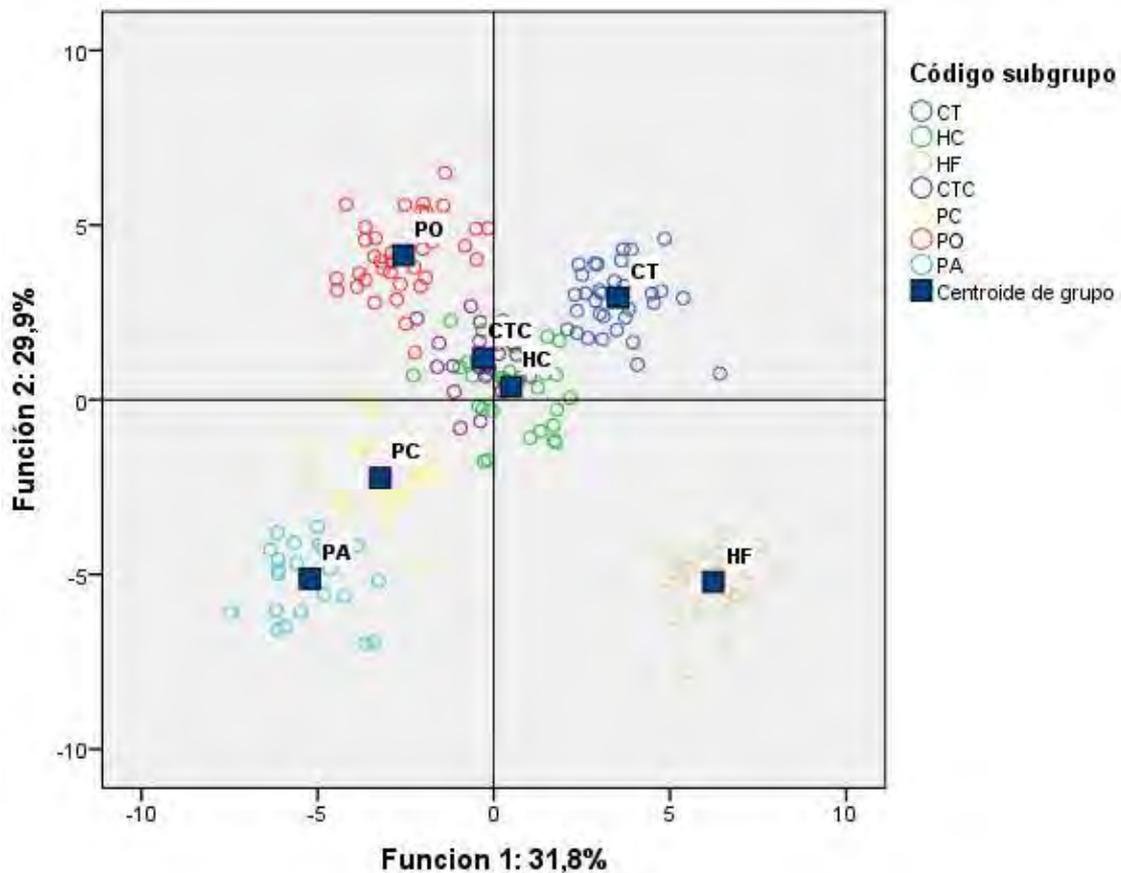


Figura III.16. Análisis discriminante global por subgrupos de suelos (periodo 2010-2013)

La función discriminante 1 explica el 31,8% de la variabilidad y la función 2 el 29,9%, sumando entre ambas el 61,1%.

Este modelo clasifica correctamente el 100% de los subgrupos agrupados inicialmente, y en la validación cruzada lo hace con el 94,4%. Los subgrupos de suelos mejor clasificados con el 100% de validación cruzada han sido HF, PC y PA, con el 97,2% el CT, el 91,7% para PO, HC con el 90,9% y finalmente CTC con el 83,3%. Este último en el 16,7% de los casos se clasifica como HC.

Tabla III.50. Clasificación final del análisis discriminante global suelo.

	Codi_subgrupo	Pertenencia a grupos pronosticada							Total	
		CT	HC	HF	CTC	PC	PO	PA		
Original	Recuento	CT	36	0	0	0	0	0	0	36
		HC	0	33	0	0	0	0	0	33
		HF	0	0	24	0	0	0	0	24
		CTC	0	0	0	24	0	0	0	24
		PC	0	0	0	0	21	0	0	21
		PO	0	0	0	0	0	36	0	36
		PA	0	0	0	0	0	0	24	24
	%	CT	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		HC	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		HF	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		CTC	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
		PC	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
		PO	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	100,0
		PA	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0
Validación cruzada <sup>b</sup>	Recuento	CT	35	0	0	1	0	0	0	36
		HC	0	30	0	2	1	0	0	33
		HF	0	0	24	0	0	0	0	24
		CTC	0	4	0	20	0	0	0	24
		PC	0	0	0	0	21	0	0	21
		PO	0	1	0	1	0	33	1	36
		PA	0	0	0	0	0	0	24	24
	%	CT	97,2	,0	,0	2,8	,0	,0	,0	100,0
		HC	,0	90,9	,0	6,1	3,0	,0	,0	100,0
		HF	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		CTC	,0	16,7	,0	83,3	,0	,0	,0	100,0
		PC	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
		PO	,0	2,8	,0	2,8	,0	91,7	2,8	100,0
		PA	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0

### III.12.1.2. Análisis global con variable de agrupación: año

Las funciones discriminantes son muy potentes, especialmente la F1, que explica el 80,2% de la varianza y la F2 el 11,3%. Con 3 funciones se explica el 100% de la variabilidad del sistema.

Tabla III.51. Autovalores, varianza y correlación discriminante global año.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	114,127	80,2	80,2	,996
2	16,101	11,3	91,6	,970
3	12,017	8,4	100,0	,961

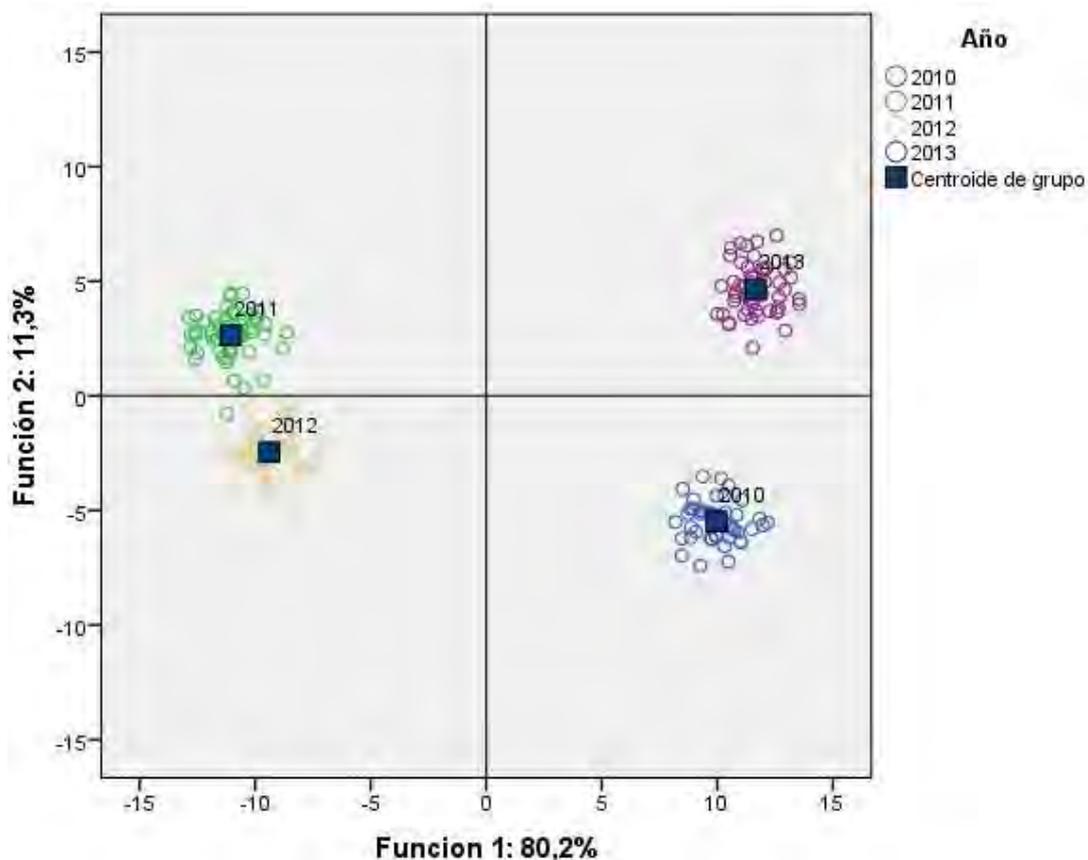


Figura III.17. Análisis discriminante global de añadas (periodo 2010-2013).

Los resultados de la clasificación original, así como la validación cruzada son del 100%. La añada 2013 y 2010 se sitúan en el lado positivo de la F1, y la añadas 2011 y 2012 en el lado negativo de esta función.

Tabla III.52. Resultados de la clasificación discriminante global de añadas.

		Año	Pertenenencia a grupos pronosticada				Total
			2010	2011	2012	2013	
Original	Recuento	2010	45	0	0	0	45
		2011	0	51	0	0	51
		2012	0	0	51	0	51
		2013	0	0	0	51	51
	%	2010	100,0	,0	,0	,0	100,0
		2011	,0	100,0	,0	,0	100,0
		2012	,0	,0	100,0	,0	100,0
		2013	,0	,0	,0	100,0	100,0
Validación cruzada	Recuento	2010	45	0	0	0	45
		2011	0	51	0	0	51
		2012	0	0	51	0	51
		2013	0	0	0	51	51
	%	2010	100,0	,0	,0	,0	100,0
		2011	,0	100,0	,0	,0	100,0
		2012	,0	,0	100,0	,0	100,0
		2013	,0	,0	,0	100,0	100,0

III.11.1.3. Analisis discriminante año 2010. Variable de agrupación: subgrupo de suelos.

En principio, al aplicar esta técnica año a año se obtienen para el factor subgrupo de suelos, como variable de agrupación, funciones discriminantes muy potentes, especialmente la F1 que explica el 74,8% de la variabilidad, y que junto a la F2 (14,5%) suman el 89,3% de la varianza del sistema.

Tabla III.53. Autovalores, varianza y correlación discriminante de subgrupos (2010).

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	152,024	74,8	74,8	0,997
2	29,458	14,5	89,3	0,983
3	14,819	7,3	96,6	0,968
4	3,250	1,6	98,2	0,874
5	2,390	1,2	99,3	0,840
6	1,341	,7	100,0	0,757

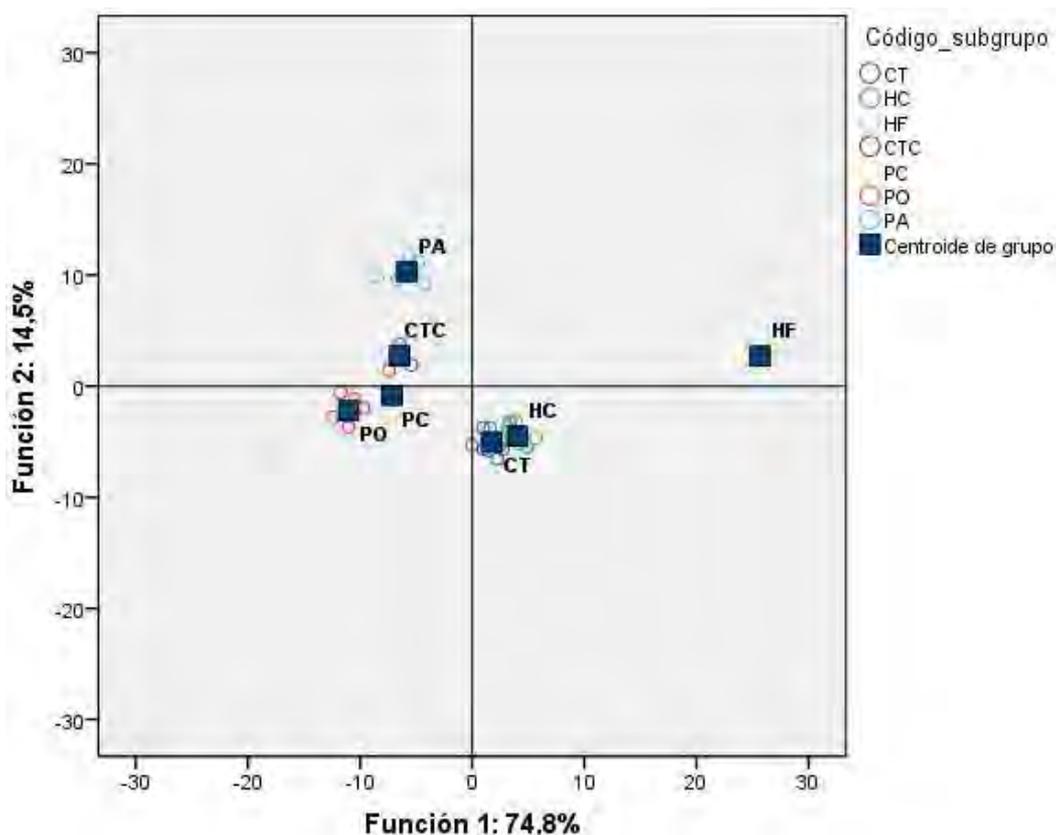


Figura III.18. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2010).

El subgrupo de suelos HF se coloca en el lado derecho de la F1, claramente separado de los demás, mientras que en el lado negativo de la función de discriminación se encuentran CTC, PC, PO, y PA. En el centro y próximos los subgrupos HC y CT. A pesar de todo, el 100% de los casos agrupados originales se clasifican correctamente. No ha sido posible realizar la validación cruzada para un año por falta de datos.

#### III.12.1.4. Análisis discriminante año 2011. Variable de agrupación: subgrupo de suelos

En el año 2011, la función discriminante 1 explicaría el 49,9% de la varianza y la F2 el 21,3%, haciendo un total entre ambas de 71,2%. El 100% de los casos agrupados originales se clasifican correctamente. No se realiza la validación cruzada por falta de datos. Los subgrupos CT y HF se sitúan en el lado derecho o positivo de la F1, mientras que PC, PO y PA lo hacen en el lado negativo. HC y CTC son los subgrupos que peor discriminan estas dos funciones.

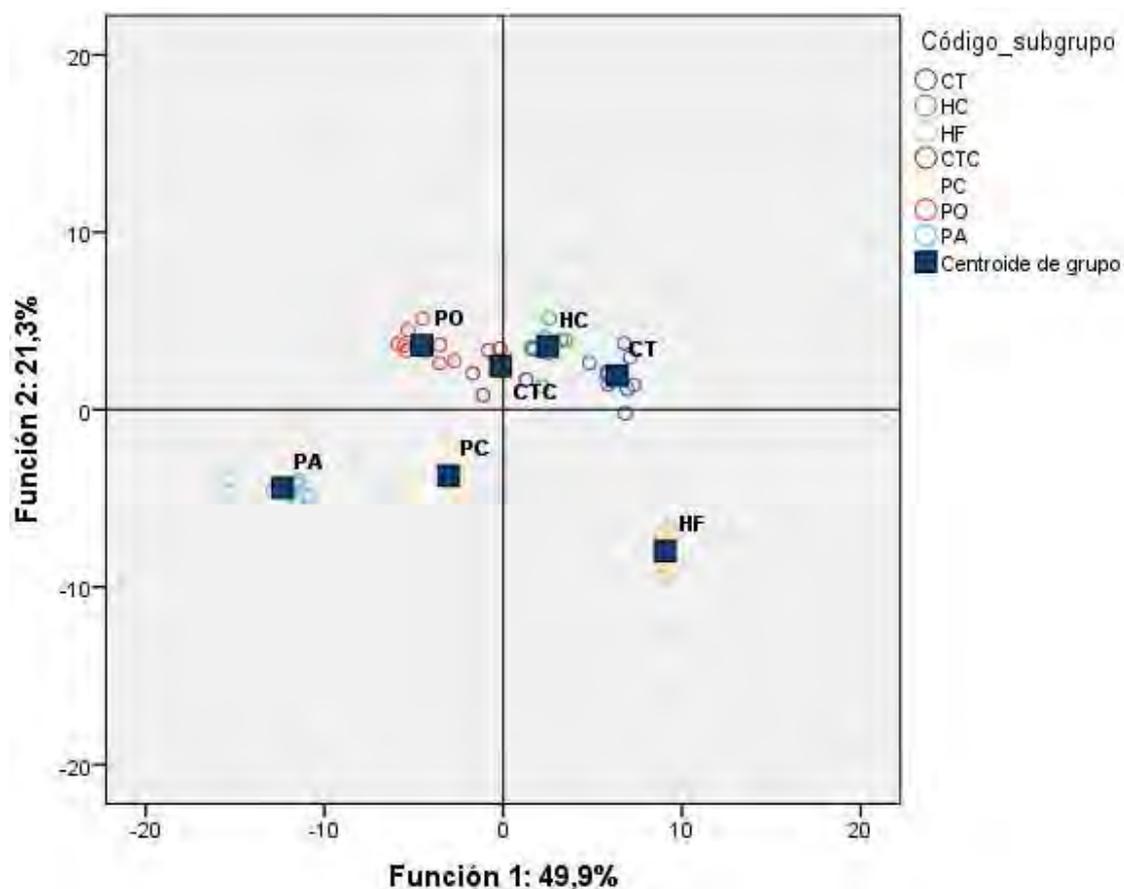


Figura III.19. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2011).

Tabla III.54. Autovalores, varianza y correlación del discriminante de subgrupos (2010).

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	47,043	49,9	49,9	0,990
2	20,087	21,3	71,2	0,976
3	13,079	13,9	85,1	0,964
4	9,153	9,7	94,8	0,949
5	3,191	3,4	98,2	0,873
6	1,670	1,8	100,0	0,791

#### III.11.1.5 Análisis discriminante año 2012. Variable de agrupación: subgrupo de suelos

En 2012, un año muy parecido a la media histórica de la zona, en la que a precipitaciones y temperaturas se refiere, la F1 explica el 56,2% de la varianza y la F2 el 19,8% para un total acumulado de 76%. Los subgrupos de suelos HF y HC se colocan en el lado positivo de la F1, y PA, CTC y PO lo hacen en el lado opuesto. Por su parte,

CT y PC aparecen muy próximos al cero de la F1, pero con la función 2 el subgrupo PC se coloca en el lado negativo y el CT en el positivo.

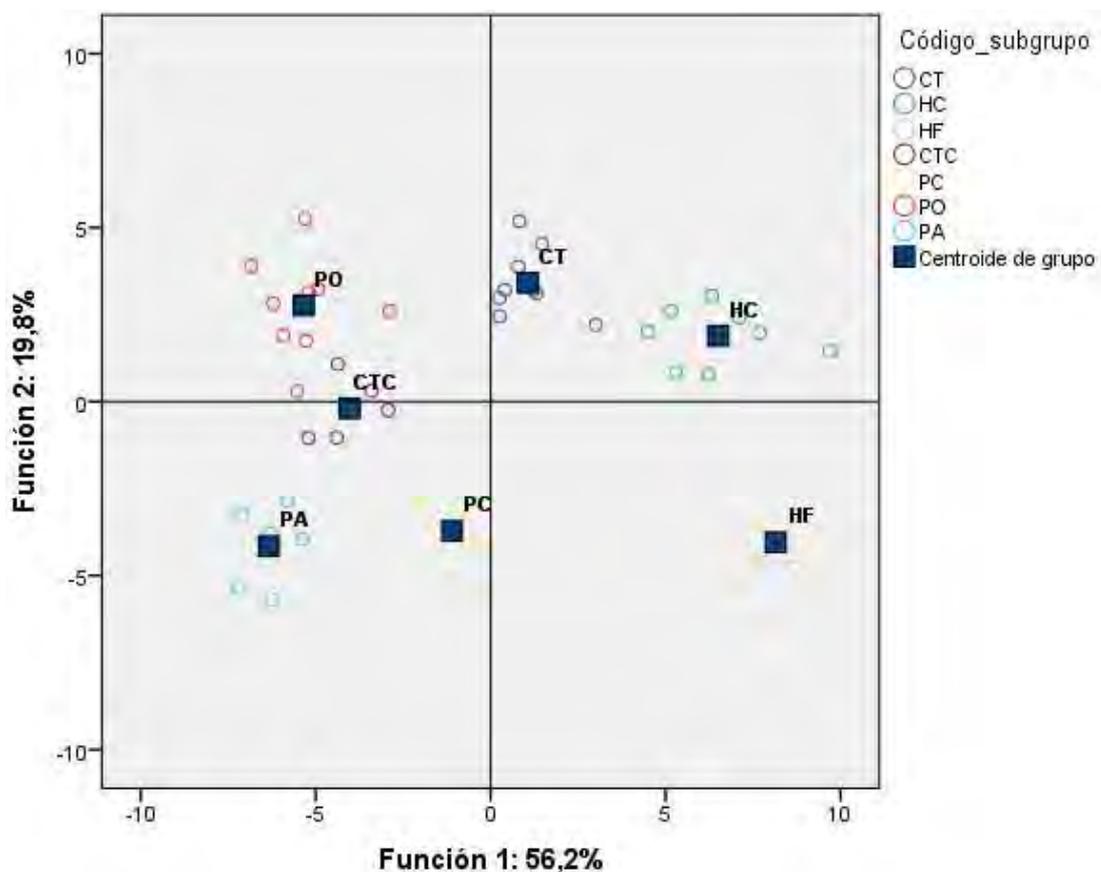


Figura III.20. Análisis discriminante por subgrupos de suelos (2012).

Tabla III.55. Autovalores, varianza y correlación del discriminante por subgrupos (2012).

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	31,632	56,2	56,2	0,985
2	11,161	19,8	76,0	0,958
3	6,612	11,7	87,7	0,932
4	3,328	5,9	93,6	0,877
5	2,565	4,6	98,2	0,848
6	1,022	1,8	100,0	0,711

La lambda de Wilks toma valores próximos a cero. La prueba de funciones es significativa y el 100% de los casos agrupados originales se clasifican correctamente. No se ejecuta la validación cruzada por falta de datos.

## III.12.1.6 Análisis discriminante año 2013. Variable de agrupación: subgrupo de suelos

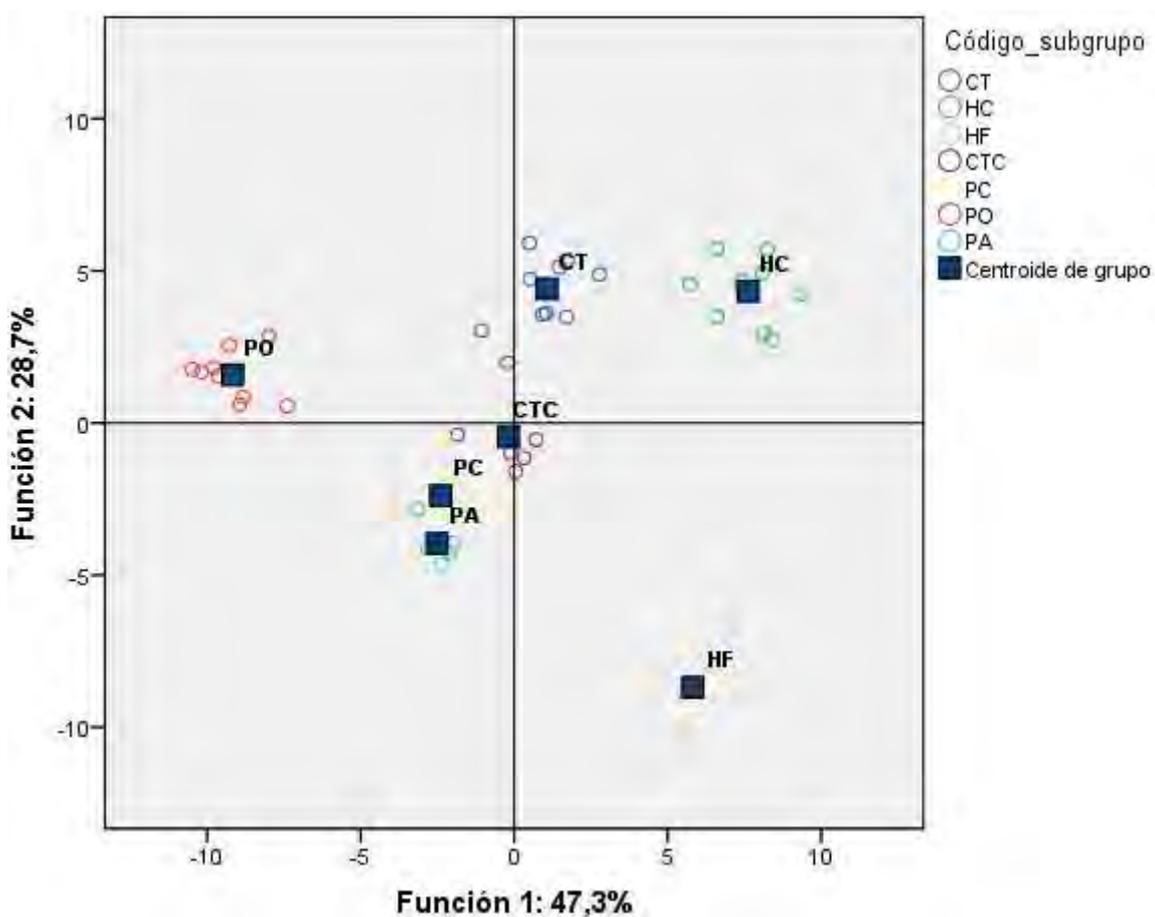


Figura III.21. Análisis discriminante global por subgrupos de suelos (2013).

En el año 2013, lluvioso y más fresco en relación a la media histórica del área de estudio, la F1 explica el 47,3% de la varianza y la F2 el 28,7%, con un total acumulado del 76%.

Tabla III.56. Autovalores, varianza y correlación del discriminante por subgrupos (2013).

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	35,556	47,3	47,3	0,986
2	21,549	28,7	76,0	0,978
3	7,569	10,1	86,1	0,940
4	4,531	6,0	92,1	0,905
5	3,232	4,3	96,5	0,874
6	2,663	3,5	100,0	0,853

Los subgrupos de suelos HF y HC se colocan nuevamente en el lado positivo de la F1, y PC, PO y PA lo hacen en el lado negativo. Por su parte, CT y CTC aparecen muy próximos al cero de la F1, pero con la función 2 el subgrupo CTC se coloca en el lado negativo, próximo al cero y el CT en el lado positivo. Los subgrupos PC y PA se encuentran bastante próximos, algo que solo ocurre en el 2013.

La lambda de Wilks con valores muy bajos, resulta estadísticamente significativa para todas las funciones discriminantes.

En 2013, también el 100% de los casos agrupados originales se clasifican correctamente.

### III.11.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El análisis de componente principales es un método estadístico que se utiliza en investigación agraria para reducir el número de variables dependientes (Cruz-Castillo *et al.*, 1994). En nuestro caso, se extraen dos o tres factores (componentes) de 100 ó más atributos observados y medidos sobre el clima, el subgrupo de suelo, la planta (hojas), y los mostos y vinos.

En primer lugar, se representa el análisis de componentes principales incluyendo todos los parámetros estudiados de clima, suelo, vid, uva y vino, y de todos los años (Figura III.22 ).

En esta sección para poder visualizar todas las variables en los gráficos se ha usado estas abreviaturas: variables (Tm, Temperatura media anual; Pm, Precipitación media anual; pene\_may, Precipitación de enero a mayo; Pabr\_oct, Precipitación de abril a octubre; Psep\_oct, Precipitación de septiembre y octubre, Rsolar, Radiación solar; Eto, Evapotranspiración del cultivo de referencia; IH, Índice de Huglin; IF, índice de frescor nocturno; IS, Índice de sequedad; ProEf, Profundidad efectiva; Res, Reserva útil de agua; EG, Elementos gruesos (%); hsK, Potasio en el horizonte superficial; hsMg, Magnesio en el horizonte superficial; CIC, Capacidad de intercambio catiónico; Arc B, Arcilla en la SC; Carb, Carbonatos totales en la SC, Cal BC, Caliza activa en la SC; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Nitrógeno extraíble del suelo del nitrato; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Nitrógeno amónico extraíble del suelo; N\_L, Nitrógeno en limbo; P\_L, Fósforo en limbo; K\_L, Potasio en limbo; Ca\_L, calcio en limbo; Mg\_L, Magnesio en limbo; K/Mg\_L, relación Potasio/Magnesio en limbo; Fe\_L, Hierro en limbo; Mn\_L, Manganeseo en limbo; Zn\_L, Zinc en limbo; Cu\_L, Cobre en limbo; B\_L, Boro en limbo; Na\_L, Sodio en limbo; C\_L, Carbono en limbo; N\_P, Nitrógeno en peciolo; P\_P, Fósforo en peciolo; K\_P, Potasio en peciolo; Ca\_P, calcio en peciolo; Mg\_P, Magnesio en peciolo; K/Mg\_P, relación Potasio/Magnesio en peciolo; Fe\_P, Hierro en peciolo; Mn\_P, Manganeseo en peciolo; Zn\_P, Zinc en peciolo; Cu\_P, Cobre en peciolo; B\_P, Boro en peciolo; Na\_P, Sodio en peciolo; C\_P, Carbono en peciolo; GAP\_M, Grado alcohólico probable; pH\_M, pH del mosto; AcT\_M, Acidez total del mosto; AcTar\_M, Ácido tartárico del mosto; AcMal\_M, Ácido málico del mosto; K\_M, Potasio del mosto; IC, Intensidad de color; Ton\_M, Tonalidad del mosto; Ant\_M, Antocianos en mosto; IPT\_M, Índice de polifenoles totales en mosto; NFA\_M, Nitrógeno fácilmente asimilable del mosto; Ca\_M, Calcio en mosto; Psar, Peso unitario sarmiento; Pbaya, Peso medio 100 bayas; Pracimo, Peso medio del racimo; Puva, Peso medio uva por cepa; Mad/cepa; Peso de madera por cepa; Ravaz; Índice de Ravaz; GA\_V,

Grado alcohólico del vino; Rs\_V, Extracto seco del vino; Dr\_V, Densidad relativa del vino; pH\_V, pH del vino; AcT\_V, Acidez total del vino; AcTar\_V; Ácido tartárico del vino; AcCit\_V, Ácido cítrico del vino; K\_V, Potasio del vino; Ca\_V, Calcio del vino; AcVol\_V, Acidez volátil del vino; SO<sub>2</sub>\_V, Sulfuroso libre del vino; SO<sub>2</sub>T\_V, Sulfuroso total del vino; A420\_V, Absorbancia del vino a 420 nm; A520\_V, Absorbancia del vino a 520 nm; A620\_V, Absorbancia del vino a 620 nm; a\* roja, coordenada CIELab a\* roja; b\* roja, coordenada CIELab b\* amarilla; C\* crom, C cromaticidad; L\* lum, L\* luminosidad; H\* ton, H\* tonalidad; S\* sat, S\* saturación; IC\_V, Intensidad de color del vino; Ton\_V, Tonalidad del vino; IPT\_V, Índice de polifenoles totales del vino; Ant\_V, Antocianos en vino; Tan\_V, taninos en vino; NFA\_V, Nitrógeno fácilmente asimilable del vino; Namin\_V, Nitrógeno amínico del vino; Namon\_V, Nitrógeno amónico del vino).

Subgrupos de suelos (CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxeralfs cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexeralfs cálcico; PO, Palexerolls petrocálcico; PA, Palexeralfs petrocálcico).

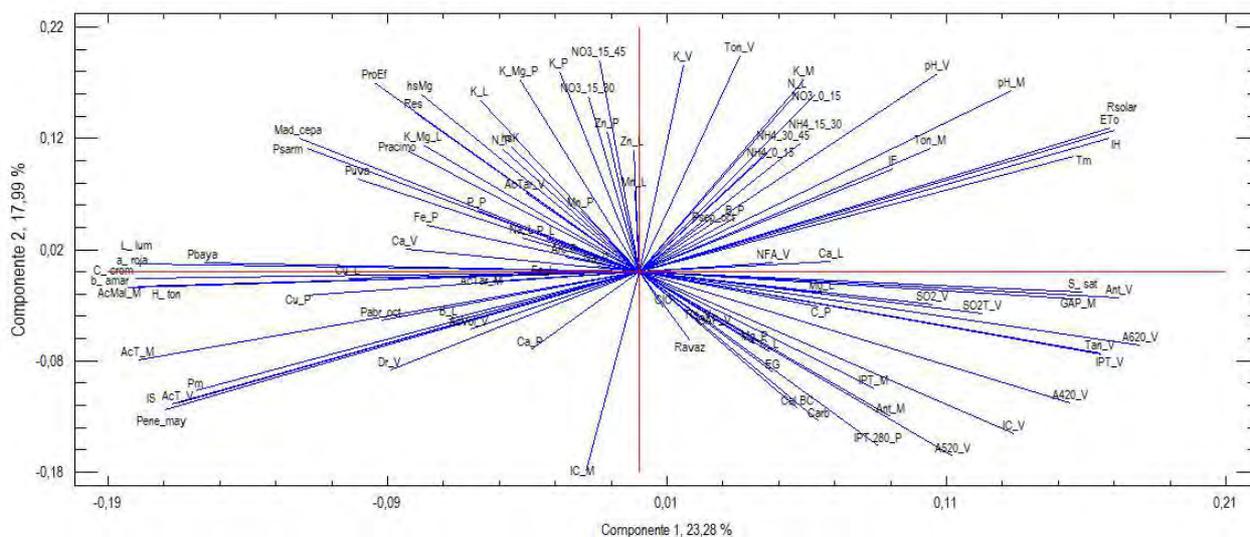


Figura III.22. Análisis de componentes principales (ACP) global.

La representación del factor 1 y 2 explica el 41,27% de la varianza de los datos utilizados. El factor 1, que representa el 23,28% de la variabilidad, está formado por dos grupos de parámetros que correlacionan positiva y negativamente. En el lado negativo del eje de la componente 1, están la Pr\_m, la Pr\_ene-abr, el IS, los componentes de acidez de mostos y vinos, como la acidez total. Muy cerca de este eje, en la parte negativa, hay dos parámetros que tienen gran influencia en esta componente 1, el ácido málico del mosto y el peso de la baya. A la derecha, en la parte positiva del eje, correlacionando con el factor 1, están la T<sup>a</sup> m, la R solar, la ETo, el IH, el pH y la tonalidad del mosto. Los parámetros que más contribuyen en la parte positiva de esta componente 1, son el contenido de azúcares del mosto y los antocianos del vino.

La segunda componente, que explica el 17,99% de la varianza, está construida básicamente en el eje negativo por los componentes del color, el IPT y los antocianos del mosto, junto a los elementos gruesos (EG), los carbonatos equivalentes y la caliza

activa de los horizontes subsuperficiales del suelo. Muy cerca de este eje, en la parte negativa, está la intensidad de color del mosto, como el parámetro que más influye en esta componente 2. En la parte positiva del eje está el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (15-45 y 15-30 cm), el K en pecíolo y en vino, y la tonalidad del vino. Entre la parte positiva de ambas componentes, es decir, que influyen o correlacionan parcialmente con el factor 1 y 2, se encuentran la profundidad efectiva y la reserva útil del suelo, el peso unitario del sarmiento, el peso de madera por cepa, el peso del racimo, la producción de uva por cepa, el K en limbo, el Mg en el horizonte Ap, y el N en pecíolo.

Tesic *et al.* (2001b), en un estudio similar indican como una vez realizado un ACP con la variedad Cabernet Sauvignon, existen correlaciones del ácido málico con el peso de madera de poda, el peso de la baya, el ácido tartárico, y la longitud del pámpano en una componente y en el otro factor correlacionan los antocianos totales y el IPT. Son resultados, en parte, similares a los obtenidos en el análisis global en este estudio, ya que las componentes se explican una con parámetros de acidez, del vigor y del rendimiento, y la otra por algunas determinaciones de los componentes del color.

En nuestro estudio, el ACP global tiene una primera componente de elementos climáticos relacionados con la precipitación junto con los parámetros de acidez, que correlacionan negativamente con la temperatura, la radiación solar y la evapotranspiración. La segunda componente agrupa parámetros edáficos, nutricionales (N y K en hojas) y los componentes del rendimiento y del vigor frente a los parámetros de color de la uva.

Por tanto, los elementos, los índices climáticos y los parámetros edáficos tienen una gran influencia en parámetros del mosto y del vino, según presenta el análisis ACP, siendo posible seleccionar parámetros indicativos de producción, de calidad del fruto... Además, estos dos factores o componentes que correlacionen fuertemente con unos u otros parámetros, permitirán seleccionar aquellos índices característicos para comprender el comportamiento de los siete subgrupos de suelos, permitiendo una buena separación de los mismos con relación a parámetros vegetativos y productivos. Por todo ello, para tener una mayor certeza y seguridad a la hora de interpretar la influencia del suelo bajo las mismas condiciones climáticas, se ha realizado un ACP para cada año de estudio.

El ACP del año 2010 se presenta en la figura III. 23.

En este año 2010, el factor 1 que explica el 30,44 % de la varianza de los datos empleados, en la parte positiva está el  $\text{N-NO}_3^-$  edáfico (0-15 y 30-45 cm), los componentes del vigor (Pu sarmiento y P madera de poda), los componentes de producción (Pm racimo y P uva por cepa), la profundidad efectiva, la reserva útil de agua, el N en pecíolo y el Mg en el horizonte Ap. En la parte negativa del factor 1, se sitúan los componentes del color de mostos y vinos, en especial el IPT del mosto, los carbonatos equivalente, la caliza activa y los elementos gruesos de los horizontes subsuperficiales (B/C). La segunda componente, que explica el 17,08 % de la variabilidad, en su parte positiva está muy influenciada por el contenido de azúcares del mosto, el grado alcohólico del vino, el extracto seco del vino, la acidez total del mosto, y en eje negativo correlacionan el Mg en limbo y pecíolo, y el C en limbo.

Existen un grupo de parámetros que influyen en las dos componentes, correlacionando positivamente: el K del horizonte Ap, el K en limbo y en pecíolo, el ácido málico y el K del mosto, y el K del vino.

El subgrupo HF en el año 2010, se sitúa en la parte positiva de la componente 1, donde se encuentran las variables indicadoras de un mayor desarrollo y vigor de la planta. En la parte negativa de la componente 1, se disponen fundamentalmente agrupadas las parcelas de los subgrupos PO y PA, en la misma posición que ocupan las variables relacionadas con los componentes de color, los carbonatos equivalentes y la caliza activa de los horizontes subsuperficiales. El subgrupo HC se encuentra en el eje de la componente 1, zona entre los subgrupos HF, PO y PA. Dentro del subgrupo CTC, hay una parcela que se acerca a los subgrupos PO y PA. Por otra parte, comentar que la distribución respecto a la componente 2 no permitiría diferenciar de forma tan clara entre los subgrupos de suelos como en el caso de la componente 1.



Para el factor 2, que explica el 11,66% de la varianza de los datos analizados, en su eje negativo figura el P en limbo, el P en pecíolo, y la acidez total del mosto. En la parte positiva de la componente 2, muy próxima al eje, aparece la tonalidad del mosto.

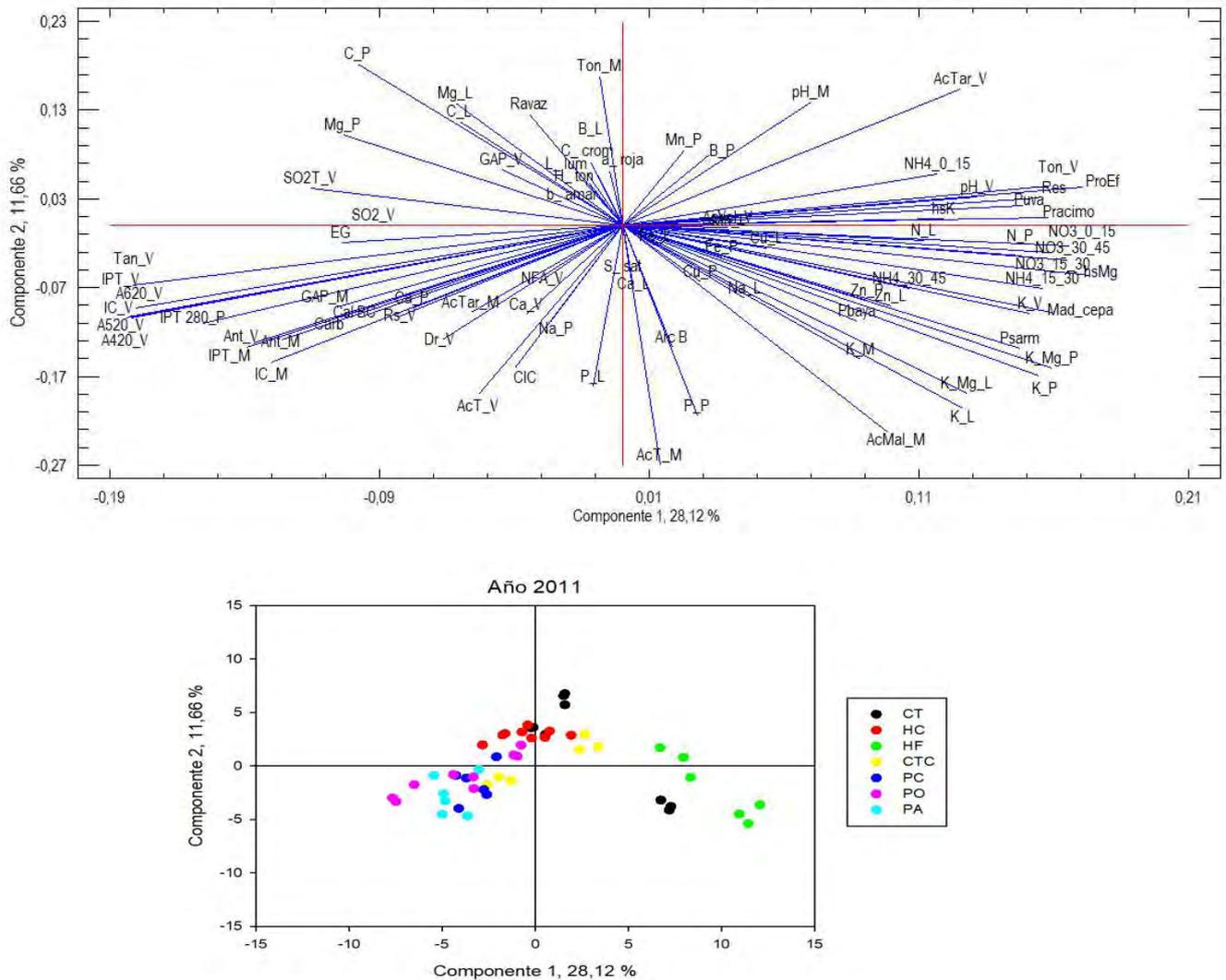


Figura III.24. ACP del año 2011 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).

En el lado positivo del factor 1 y en el negativo del factor 2, correlacionando con las dos componentes, de forma positiva con el eje 1 y negativa con el 2, se encuentran los componentes del vigor (peso de madera de poda, peso unitario del sarmiento), el peso de 100 bayas, el K en limbo y en pecíolo, el K en mosto y también el ácido málico del mosto. En el lado negativo de los factores 1 y 2, es decir, que correlacionan negativamente con ambos, aparecen los carbonatos y la caliza activa de los horizontes B/C, el grado alcohólico probable, los componentes de color de los mostos (intensidad



En 2012, un año climático muy similar a la media histórica en los que a precipitaciones y temperaturas se refiere, el factor o componente 1 explica el 30,96% de la varianza de la totalidad de los datos. El factor 1 está influenciado en el eje positivo por el  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble del suelo (15-30 y 30-45cm), la profundidad efectiva, la reserva útil, el N en limbo, y con la totalidad de parámetros del rendimiento (P 100 bayas, Pm racimo, P uva por cepa), y del vigor (Pu sarmiento y P madera por cepa). En el lado negativo del eje de este factor 1, están los componentes del color la intensidad de color, el IPT, y los antocianos de mostos y vinos, los carbonatos totales y la caliza activa de los horizontes B/C. La componente o factor 2 explica el 12,21% de la varianza, y en su eje positivo está el pH del vino. En su parte negativa correlacionan con este factor Mg en limbo y en pecíolo, C en limbo y en pecíolo.

Entre las dos componentes, en la parte positiva y correlacionando con ambas aparecen el K en limbo y en pecíolo, el ácido málico del mosto, y el K en mosto y en vino.

En el año 2012, la distribución de los subgrupos de suelos fue muy similar a la del año 2010 y 2011, situándose en la parte positiva de la componente 1 el subgrupo HF y en la negativa los subgrupos PO y PA. También se observa que el subgrupo HC es intermedio para esa componente pero más diferenciado de PO y PA que en el año 2011. En 2012, el subgrupo HC está más cercano al subgrupo CT en la componente 1. La componente 2, tal como sucedió en el año 2010 y 2011, no consigue diferenciar los subgrupos de suelos.

El análisis de ACP del año 2013 se representa en la Figura III.26.

En el año 2013, el factor 1 explica el 30,24% de la varianza de los datos utilizados. En la parte positiva del eje, figuran los componentes de vigor (P madera de poda y Pu sarmiento), los componentes de acidez del mosto (acidez total, ácidos málico y tartárico), la profundidad efectiva del suelo, la reserva de agua, Mg en el horizonte Ap, el N en pecíolo, el P en limbo y en pecíolo, y el  $\text{N-NO}_3^-$  edáfico (15-30 y 30-45 cm). En el otro lado del eje, correlacionando negativamente con el factor 1 figuran los componentes de color de mostos y vinos, el grado alcohólico probable del mosto, y los elementos gruesos de los horizontes subsuperficiales. La componente o factor 2 explica

el 15,88% de la varianza de los datos empleados. En la parte positiva del eje se encuentra el grado alcohólico del vino. En el eje negativo, se localizan los parámetros de rendimiento (P uva por cepa, Pm racimo), el Mg en limbo y en pecíolo y el ácido tartárico del vino.

En la parte positiva de los factores 1 y 2, de nuevo figuran el K en limbo y en pecíolo, el K en mosto, el K en vino, el pH del mosto y del vino.

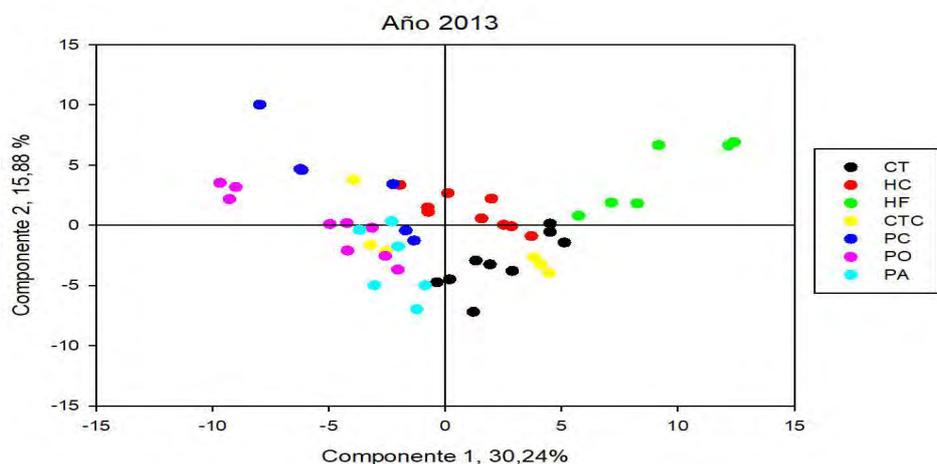
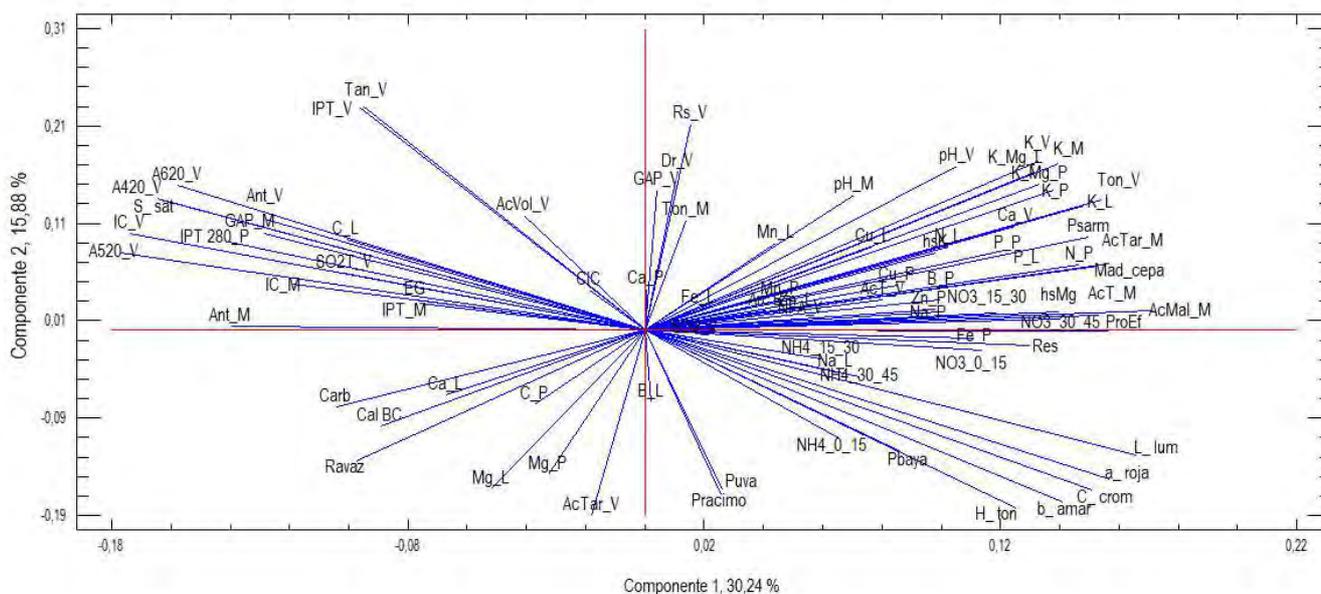


Figura III.26. ACP del año 2013 (proyección de variables y de subgrupos de suelos).

En el año 2013, la componente 2 tal y como sucedió en los años 2010, 2011 y 2012, no consigue diferenciar los subgrupos de suelos. Respecto a la componente 1, los subgrupos PO y PA están más próximos a la zona central que en años anteriores, diferenciándose menos de otros subgrupos como HC, CT y CTC. Por su parte, el

subgrupo HF se mantiene en la parte positiva de la componente 1 como en los años anteriores. Esta nueva distribución de PA y PO podría ser debida a una menor componente de color acompañada de una mayor expresión vegetativa, debido la diferente respuesta del viñedo en cada subgrupo de suelos ante un año con abundantes precipitaciones. Como ejemplo, el subgrupo HF no ha modificado su ubicación a lo largo del estudio a pesar de las diferentes condiciones climáticas asociadas a cada añada.

Según Ubalde *et al.* (2007), tras la aplicación de un ACP, los datos climáticos y la disponibilidad de agua explican el 70% de la variabilidad de la añada y los parámetros edáficos explicarían el 28% de la variabilidad de la añada. Autores que han investigado la influencia de los dos grandes parámetros medioambientales, suelo y clima (van Leeuwen *et al.*, 2004; Reynard *et al.*, 2011b), concluyen que el efecto del año climático es más fuerte que el del suelo. Describen la influencia del año climático como abrumadora sobre la composición de la uva. Este efecto lo califican como muy importante en la calidad de la uva y del vino en los viñedos más septentrionales.

### III.11.3. CONSIDERACIONES SOBRE EL ANÁLISIS MULTIVARIANTE

El análisis discriminante confirma que considerando los datos de nutrición, vigor, producción y composición de mosto y vino se pueden agrupar las parcelas de viñedo según los subgrupos de suelo, bajo unas mismas condiciones climáticas (añada). Si se considera el conjunto de todos los años del estudio y por tanto la variabilidad climática entre años, los subgrupos HF, PC y PA siguen permitiendo diferenciar y clasificar correctamente las parcelas, mientras que los otros subgrupos no permitirían clasificar correctamente sus parcelas en todos los casos, aunque mantienen porcentajes altos superiores al 90 % para CT, PO y HC, y por encima de 80 % para el CTC

Si se considera el factor año para agrupar las parcelas este factor permite clasificar y diferenciar correctamente las parcelas. Por tanto, la agrupación según subgrupos de suelos es efectiva para las condiciones de un mismo año

El análisis de componentes principales, muestra como en todas las condiciones climáticas (añadas), la componente que explica mayor porcentaje (aprox. 30 %) de la

variabilidad entre todos los parámetros de suelo, planta, mosto y vino de las parcelas, indica que una mayor profundidad efectiva y un mayor contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble podrían explicar un mayor vigor y producción, y un menor contenido de antocianos y polifenoles en mosto y vino. Siendo además esta primera componente la que permite distinguir principalmente entre los subgrupos de suelo.

Respecto a la segunda componente principal, se podría relacionar con las características de la acidez del mosto y del vino, y en esta componente no se dan diferencias entre los subgrupos de suelo, lo que sería debido a que los componentes de la acidez está influenciado fundamentalmente por las condiciones climáticas.

### **III.12. CONSIDERACIONES FINALES**

Con relación al trabajo desarrollado en este estudio en el marco de un macroclima tipo mediterráneo, se ha observado que, bajo las mismas condiciones mesoclimáticas, la influencia del tipo de suelo, a nivel de subgrupo es muy importante para el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid, así como para las características del mosto y del vino. Se ha podido evidenciar, mediante el estudio de los siete subgrupos considerados, a lo largo de un periodo de cuatro años, que estos tipos de suelos responden de forma diferente en las mismas condiciones climáticas (añada).

Por otra parte, se ha podido constatar que, además de que los subgrupos de suelos pueden responder de forma singular en la misma añada, los hay que aportan las mismas respuestas frente añadas muy diferentes desde el punto de vista climático.

A continuación, se indican los principales características y aportaciones de cada uno de los siete subgrupos de suelos estudiados, con especial énfasis en las respuestas observadas sobre la composición mineral de la hoja, y por tanto en su estado nutricional, en el vigor y en el rendimiento, así como en la calidad de los mostos y vinos de la variedad Tempranillo, en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja:

### **Subgrupo Calcixerepts típico (CT)**

Suelos de perfil uniforme del orden Inceptisoles, cuya secuencia de horizontes es Ap-Bw-Bk o Ap-Bk. Este subgrupo se caracteriza por presentar profundidad efectiva alta y elevada reserva de agua útil. Su textura es franca, y el porcentaje de elementos gruesos inferior al 5%. El horizonte Ap tiene nivel medio de K y alto de Mg. El horizonte cálcico presenta un contenido en carbonatos del 25% con valores de caliza activa de moderada a alta (10%). Destaca por sus niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble en el suelo (30-45 cm) solo superado por el subgrupo HF, y por lo altos niveles de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble en el suelo (0-15 cm) similares a HF.

Los niveles de N y K en limbo y en pecíolo se pueden considerar como óptimos. Por su parte, el P en limbo y en pecíolo no experimentó variaciones entre añadas. Junto a los subgrupos CTC y PO ha presentado los niveles de Ca en tejido foliar más elevados, circunstancia probablemente relacionada con la presencia de un horizonte cálcico en su perfil. Asimismo, este subgrupo mostró en limbo y en pecíolo los niveles más altos de Mg, junto al subgrupo PA. En este sentido, bajos niveles de K pero elevados de Mg en el horizonte superficial, explicarían en parte el comportamiento observado para este subgrupo.

Por otra parte, destacar el subgrupo CT por sus altos niveles de B en limbo y en pecíolo respecto al resto de subgrupos.

Los valores del potencial hídrico foliar de base indicaron un estado de déficit hídrico débil en 2010 y moderado en 2011.

Respecto a los mostos a que da lugar podemos indicar que presun pH no muy ácido, con una acidez total baja, al igual que lo contenidos en ácido tartárico, en ácido málico, y en K. Referente a los componentes del color se relaciona con los mostos del subgrupo HC, que presentaron valores de intensidad de color, de IPT y de antocianos más bajos respecto al grupo formado por PC, PO y PA. El NFA en los mostos en las añadas 2011, 2012 y 2013 osciló entre 145 y 184 ppm.

Por otra parte, presenta parámetros de vigor intermedios entre HF y el grupo formado por PC, PO y PA, con un peso unitario de sarmiento y un peso de madera de poda, similares a los suelos HC y CTC. Los componentes del rendimiento pueden considerarse en el rango intermedio, con valores más elevados en 2010 y 2013. El índice de Ravaz presentó valores considerados como normales (García-Escudero *et al.*, 2013).

Asimismo, los vinos siguen presentando pH menos ácido, menor acidez total y contenidos algo más elevados de ácido tartárico, como HC, HF y CTC, y respecto a PC, PO y PA. Asimismo, sus vinos han mostrado bajos niveles de K, en situación similar a lo ocurrido para PC, PO y PA.

Es el subgrupo que menor grado alcohólico alcanza y presenta valores más bajos de los parámetros que determinan el color de los vinos junto con HC y HF.

### **Subgrupo Haploxeralfs cálcico (HC)**

Suelos del orden Alfisoles, formados por un horizonte superficial Ap (ócrico), un subsuperficial Bt que cumple para argílico y por debajo un Bk (cálcico). Destaca su elevado contenido en gravas (35% v/v) en superficie y en el perfil. Entre las fracciones domina la arena (>50%) en un perfil de textura franca. Presentan profundidad efectiva media y reserva de agua útil baja. El suelo contiene niveles medios-altos de K y bajos de Mg, y CIC bajas. Los horizontes subsuperficiales tienen contenidos bajos en carbonatos. En el caso del Bk se encuentran en forma de concreciones y revestimientos cementados asociados a las gravas. Estos suelos presentan niveles bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble a profundidad 30-45 cm de forma similar a lo observado en PC, PO y PA. Los niveles de N amoniacal fueron ligeramente más bajos a 0-15 y 30-45 cm con respecto al resto de subgrupos de suelos.

En el tejido foliar, presentan niveles entre óptimos y óptimos bajos como los subgrupos CTC y PO. Los niveles de N y P en hoja fueron intermedios respecto al resto de subgrupos, y bajos los de K en limbo. El suelo HC contribuyó con menores niveles de calcio, óptimos-bajos en limbo y óptimos en pecíolo, al igual que PC y PA. Al igual que el resto de Alfisoles, el subgrupo HC presentó buena disponibilidad de hierro en

tejido foliar a pesar de los niveles bajos. Asimismo, destacó el Mn por sus niveles elevados en limbo, probablemente relacionado con condiciones locales o estacionales de óxido-reducción en la matriz del suelo.

El subgrupo de suelos HC aportó a la vid un estrés hídrico de moderado a fuerte, quizás debido al alto porcentaje de gravas y de arenas en el perfil, que conduce a un suelo caracterizado por una reserva útil y capacidad de retención de agua muy bajas.

Con relación a los componentes de acidez, los mostos de HC experimentaron variaciones en sus valores y niveles dependiendo de la añada. Los mostos resultan con un pH menos ácido, de acidez total media-baja, con contenidos medios en ácido tartárico y medio-bajo en ácido málico, y niveles intermedios de K respecto al resto de subgrupos de suelos. Con relación a los componentes del color, guarda paralelismo con los mostos del subgrupo CT, que presentaron valores de intensidad de color, de IPT y de antocianos más bajos respecto al grupo de PC, PO y PA. En las añadas consideradas, el NFA en los mostos varió entre 145 y 162 ppm.

### **Subgrupo Haploxerepts fluvéntico (HF)**

Suelos fértiles, con materia orgánica distribuida en todo el perfil. Están formados por un horizonte en superficie A, diagnosticado como ócrico y el resto del perfil es una sucesión de horizontes subsuperficiales Bw, que cumplen para cámbico. Entre sus principales características destacan la profundidad efectiva alta, el bajo porcentaje de elementos gruesos (10%), con textura franca (equilibrada), una elevada reserva de agua útil, y niveles altos de K y Mg en el horizonte Ap. El subgrupo de suelos HF ha presentado los valores de  $\text{N-NO}_3^-$  y de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble más elevados, cuestión que podría asociarse a su carácter fluvéntico.

Este tipo de suelos es el que alcanza los niveles más elevados de N, P y K en limbo y pecíolo, siendo estos valores catalogados como altos y óptimos altos. Los suelos HF no mostraron variaciones con relación a la añada para estos elementos.

Asimismo, el subgrupo HF proporciona los valores más bajos de Mg, tanto en limbo como en pecíolo, en contraposición con los altos niveles de K, probablemente

relacionado con el marcado antagonismo entre estos dos elementos. Como consecuencia de tal situación presenta los valores de la relación K/Mg más elevados.

En este tipo de suelo, la vid disfruta de un estado hídrico satisfactorio por lo general, y en ningún caso soporta déficits moderados ni severos.

Las uvas de este subgrupo de suelos son las últimas en alcanzar la madurez glucométrica. Los mostos del subgrupo HF, independientemente de la añada, han manifestado un pH menos ácido, con la mayor acidez total y el contenido más elevado de ácido málico, así como los mayores niveles de K. Respecto al color, los mostos del subgrupo HF, junto a CT y HC, han dado lugar a los mostos con los valores menores de parámetros que contribuyen a determinar el color. El subgrupo de suelos HF aportó a los mostos los contenidos más bajos en antocianos y valores más reducidos del IPT.

El vigor se ha visto estimulado con la mayor intensidad en el subgrupo de suelos, aportando los valores más altos de los componentes de vigor considerados en el estudio. Además, se trata del suelo que proporciona las bayas de mayor peso, así como la producción de uva por cepa y el peso medio de racimo con respecto al resto de subgrupos.

El subgrupo HF ha inducido índices de Ravaz superiores a 5 en los años considerados como normales desde el punto de vista hídrico, si bien en el resto de añadas dio lugar a valores de este índice menores, con un desequilibrio a favor de un exceso de vigor.

El subgrupo HF de nuevo destaca por sus vinos de pH y niveles de K más altos. Los valores de la intensidad de color, del IPT y de los antocianos de los vinos siguen siendo menores para los subgrupos CT, HC y HF.

Finalmente, en el análisis organoléptico los vinos elaborados a partir de uva procedente de este subgrupo de suelo fueron los menos valorados en la fase visual, y en la añada de 2012 recibieron puntuaciones bajas en las fases visual, olfativa, gustativa y en el equilibrio.

### **Subgrupo Calcixerepts típico fase Carbonática (CTC)**

Suelos del orden Inceptisoles, con perfil formado por un horizonte Ap (ócrico), y un horizonte subsuperficial cálcico, con acumulación generalizada de carbonatos (60%), y en el que se observaron cementaciones muy localizadas. Estos horizontes Bk, ligeramente cementados, presentan valores de caliza activa muy altos (15%). Son perfiles de profundidad efectiva media y con reserva de agua útil baja. Los elementos gruesos son frecuentes (20-25%), pero con un alto margen de variación por horizontes y parcelas. El horizonte Ap presenta valores medios de K y de Mg. Por su parte, el horizonte Bk tiene un pH de 8,7 y una CIC muy baja.

Los suelos CTC mostraron niveles intermedios de  $\text{N-NO}_3^-$  y de  $\text{N-NH}_4^+$  extraíble. Asimismo, aportan niveles bajos de N foliar, que podrían relacionarse con la presencia en estos suelos de un horizonte cálcico. Este subgrupo proporciona niveles intermedios de P y bajos de K en tejido foliar. Destacan por sus niveles más elevados de Ca en hoja, circunstancia que podría estar relacionada con la presencia del horizonte enriquecido en carbonato cálcico. Por otro lado, estos suelos destacan por contribuir con bajos niveles de Fe en hojas, ya que presentan valores altos de caliza activa.

Los suelos CTC determinan para la vid un déficit hídrico de débil a moderado en invierno.

Con relación a los componentes de acidez, los mostos del subgrupo CTC experimentaron variaciones en sus valores dependiendo de la añada. Los mostos que aporta el subgrupo CTC son de pH algo más ácidos, de acidez total media, con contenidos más elevados en ácido tartárico y medios en ácido málico, y niveles intermedios de K respecto al resto de subgrupos de suelos. Si se consideran los componentes del color, este tipo de suelo guarda paralelismo con los mostos de los subgrupos PC, PO y PA, que presentaron mayores valores de intensidad de color, de IPT y de antocianos. El NFA en los mostos en las añadas a estudio varió entre 113 y 124 ppm.

Este subgrupo de suelos contribuye con valores intermedios de componentes de vigor, situándose entre los subgrupos HF y PO. Con relación al rendimiento, de nuevo

presenta valores medios, que en el caso de la producción de uva por cepa le sitúa entre HF y un grupo formado por HC, PC, PO y PA.

Los vinos procedentes de suelos CTC presentaron valores de pH menos ácido y niveles bajos de K en los componentes de acidez y respecto a los valores de los aprámetros de color se colocaron entre el grupo formado por PC, PO y PA que son los que presentaron mayor intensidad de color y el grupo CT, HC y HF, con menores valores de intensidad de color, de antocianos y del IPT en los vinos.

### **Subgrupo Palexeralfs cálcico (PC)**

Subgrupo de suelos del orden Alfisoles, con una secuencia de horizontes genéticos Ap-Bt-Ck/Ckm, con horizontes de diagnóstico ócrico, argílico y cálcico respectivamente. El Bt presenta contenidos en arcilla del 30% y valores elevados de CIC (22  $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ ). El Ck en zonas localizadas presenta cementaciones moderadas por carbonato cálcico (45%). Son perfiles de profundidad efectiva y reserva de agua intermedias, con elementos gruesos frecuentes (15%). El horizonte Ap contiene bajos niveles de K y de Mg.

El subgrupo PC mostró los niveles más bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble en la profundidad 30-45 cm.

Asimismo, contribuyó con niveles medios de N y P foliar, que podrían relacionarse con la presencia en estos suelos de un horizonte cálcico. Estos suelos proporcionan niveles bajos de K en tejido foliar, y más elevados de Fe en limbo y pecíolo, con relación a la presencia del horizonte argílico.

Este subgrupo de suelos aportó a la vid un déficit hídrico entre débil y moderado en enero.

Las uvas que proporcionó este subgrupo de suelos son las primeras en alcanzar la madurez tecnológica. Los mostos del subgrupo PC fueron de pH más ácido, con menor acidez total, con contenidos de ácido tartárico y ácido málico más reducidos, así como bajos niveles de K. Respecto al color los mostos, este subgrupo, junto con CTC,

PO y PA, aportó los mostos con los valores mayores de parámetros que contribuyen a determinar el color. El suelo PC proporcionó valores más elevados de intensidad de color y del IPT, así como mayor contenido de antocianos en mostos. El NFA en los mostos en las añadas a estudio varió entre 130 y 162 mg/l.

El subgrupo de suelos PC aportó valores medios de los componentes de vigor. Con relación a parámetros de rendimiento, el suelo PC presentó bayas de menor peso, que podría explicarse porque consiga alcanzar antes la madurez glucométrica de sus uvas.

El subgrupo de suelos PC aportó valores medios de los componentes de vigor. Con relación a parámetros de rendimiento, el suelo PC presentó las bayas de menor peso, circunstancia que favorecería el que las bayas alcanzaran antes la madurez tecnológica. La disminución del peso de la baya, lleva aparejado el hecho de que en este tipo de suelos se hayan observado los menores rendimientos. El índice de Ravaz presentó valores próximos a 4, mostrando un cierto desequilibrio entre producción y vigor.

Los vinos procedentes del subgrupo PC presentaron un pH más ácido y bajos niveles de K, tal y como ocurrió en los mostos. En lo que se refiere a componentes de color de los vinos, el subgrupo PC alcanzó los valores más altos de la intensidad de color, el IPT y los antocianos, como lo observado en los subgrupos PO y PA.

### **Subgrupo Palexerolls petrocálcico (PO)**

Subgrupo de suelos del orden Mollisoles, con un horizonte superficial Ap que cumple para ser un horizonte de diagnóstico móllico, por su estructura mullida y su color oscuro, por la presencia de materia orgánica humificada. El horizonte subyacente es un petrocálcico, con fuerte cementación por carbonato cálcico (52%). Este horizonte constituye una limitación al desarrollo radicular, por ello es el suelo con la menor profundidad efectiva (68 cm). Asimismo, el perfil tiene baja reserva de agua útil, y elementos gruesos muy frecuentes a abundantes (25%). El horizonte móllico presenta niveles medios de K y de Mg, disminuyendo en profundidad. Destacan sus horizontes

subsuperficiales por su alto contenido en carbonatos totales superior al 50%, y su baja CIC.

El subgrupo PO mostró niveles más bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  en la profundidad 30-45 cm, y de N foliar respecto al resto de subgrupos. Estas observaciones se pueden relacionar con la presencia de acumulaciones generalizadas de carbonato cálcico, que pudieran limitar la mineralización de la materia orgánica. Asimismo, fue el subgrupo PO el que presentó los niveles más bajos de P en tejido foliar. Por otra parte, este suelo aportó niveles bajos de K en limbo junto a HC, CTC, PC, PO y PA.

Por otra parte, el subgrupo PO destacó por los niveles más elevados de Ca en tejido foliar, al igual que el suelo CTC. A su vez, determinó al tejido foliar niveles medios de Mg y bajos o muy bajos de Fe, cuestión esta última que podría relacionarse con el alto contenido de carbonato cálcico en el perfil.

Los suelos PO inducen en la vid déficits hídricos entre débiles y moderados a severos en el envero, dependiendo de la añada.

Los mostos que proporcionó el subgrupo PO, fueron de pH más ácido, con menor acidez total, con mayor contenido de ácido tartárico y menor de ácido málico, así como bajos niveles de K. Respecto al color los mostos, este subgrupo PO agrupó con CTC, PC y PA para dar lugar a los mostos con los valores mayores de parámetros que contribuyen al color, proporcionando los valores más elevados de intensidad de color y del IPT, así como el mayor contenido de antocianos en mostos. El NFA en los mostos en las añadas a estudio varió entre 103 y 183 mg/l.

Los suelos PO contribuyeron con los parámetros de vigor más limitados en el conjunto de subgrupos. Además, aportó valores bajos de rendimiento, en especial, la producción de uva por cepa junto a los subgrupos HC, PC y PA. El índice de Ravaz en el subgrupo PO, con limitadas producciones y el menor vigor, presentó valores en el intervalo de equilibrio (4-7).

Por último, los vinos que elaborados con uva del subgrupo a PO fueron más ácidos, y se caracterizaron por presentar los niveles más bajos de K, tal como sucedió

con los subgrupos PC y PA. Los valores de la intensidad de color, el IPT y los antocianos de los vinos fueron más altos y de la misma magnitud que PC y PA.

### **Subgrupo Palexeralfs petrocálcico (PA)**

Suelos del orden Alfisoles, con un perfil muy desarrollado de secuencia, Ap, Bt, Ck y Ckm. Destaca por la presencia de un horizonte Bt, argílico, enriquecido en la fracción arcilla, con alta CIC, y un petrocálcico Ckm que está fuertemente cementado por carbonato cálcico. Son suelos con abundantes elementos gruesos (30% v/v), de profundidad efectiva media y baja reserva de agua. El horizonte Ap presenta reducidos niveles de K y de Mg. Los horizontes subsuperficiales tienen elevado contenido en carbonato cálcico, superior al 50% y valores altos de caliza activa (14,5%).

El subgrupo PA determinó niveles más bajos de  $\text{N-NO}_3^-$  en la profundidad 30-45 cm, como el caso de los suelos HC, PC y PO. Además, indujo valores intermedios de N foliar, como lo han hecho los subgrupos de suelos CT, HC, y PC, y bajos contenidos de K en limbo. Este subgrupo PA contribuyó con altos niveles de Mg en limbo y en pecíolo.

Los subgrupos incluidos en el grupo de Alfisoles (HC, PC, y PA), incluido el PA, muestran los niveles de Fe más elevados, tanto en limbo como en pecíolo. La presencia de un horizonte argílico en todos ellos puede abrir la pista para justificar tal observación.

El subgrupo de suelos PA ofrece a la vid en enero déficits hídricos entre débiles y moderados a severos, dependiendo de la añada.

Los mostos del subgrupo PA, fueron de pH más ácido, con menor acidez total, con contenido medio de ácido tartárico, menor de ácido málico, así como bajos niveles de K. El suelo PA proporcionó valores más elevados de intensidad de color y del IPT, así como mayor contenido de antocianos en mostos, junto al grupo formado por CTC, PC y PO. El NFA en los mostos en las añadas a estudio varió entre 139 y 184 mg/l.

Los suelos PA contribuyeron con parámetros de vigor medios situándose entre los subgrupos HF y PO. Este subgrupo PA aportó valores bajos de rendimiento, con relación a la producción de uva por cepa igual que los subgrupos HC, PC y PO, y peso medio del racimo también bajo. El índice de Ravaz con las limitadas producciones de uva por cepa y un vigor medio, presentó valores próximos a 4.

Por último, los vinos que aportó el subgrupo PA presentaron pH más ácidos, con niveles más bajos de K, tal como sucedió con los subgrupos PC y PO. Los valores de la intensidad de color, el IPT y los antocianos de los vinos fueron más altos y de la misma magnitud que PC y PO.



**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES**



## CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados, a continuación se exponen las conclusiones generales obtenidas en este proyecto de Tesis Doctoral realizado en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja:

La selección de la categoría taxonómica subgrupo de suelos para estudiar el efecto del tipo de suelo se ha mostrado como una agrupación adecuada, confirmada por el análisis multivariante discriminante de los parámetros físico-químicos del suelo.

El estudio de las formas de N extraíble en el suelo realizado para caracterizar los subgrupos de suelos, ha evidenciado que el muestreo que aporta mayor información es el realizado a la profundidad de profundidad 30-45 cm, y en el caso del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es el llevado cabo a 0-15 cm. Los niveles de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo han sido muy superiores a los de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, siendo el subgrupo HF el que ha presentado los valores más altos para ambas formas nitrogenadas.

El factor suelo, tanto a nivel de parcela como de subgrupo de suelos, el factor clima (añada) y la interacción del factor suelo y del factor clima influyen en la totalidad de los parámetros relacionados con la composición mineral del tejido foliar, el estado hídrico de la vid en enero, los componentes de vigor y de rendimiento, así como con las características de mostos y de vinos de la variedad Tempranillo.

El análisis de la influencia del suelo (a nivel de parcela o subgrupo de suelos), la añada y su interacción sobre la varianza de los valores de las variables analizadas, ha permitido cuantificar el posible efecto individual de estos factores sobre cada parámetro estimado. El factor suelo afectaría en mayor grado a la nutrición mineral de la vid, a los parámetros de vigor y a los compuestos determinantes del color de mostos y vinos. La añada influiría sobre el potencial hídrico de base, los componentes de acidez y la tonalidad de los mostos y vinos. Finalmente, la interacción entre el suelo y la añada, se hace patente en relación a los componentes de rendimiento, el contenido de azúcares y de ácido tartárico en los mostos, y el valor del grado alcohólico y el contenido de ácido tartárico en los vinos.

Esta interacción entre el suelo y la añada para los estos parámetros afectados, provoca respuestas diferentes según los tipos de suelo interaccionados.

Se han obtenido evidencias de que el tipo de suelo a nivel de subgrupo afecta a los niveles de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, B y Na) minerales en limbo y en pecíolo.

El N y el Mg en limbo están influenciados por la añada mientras que el N y el Mg en pecíolo, el K en limbo y el P en limbo y en pecíolo, son más dependientes del tipo de suelo. Por el contrario, el Ca en pecíolo podría verse más afectado por la añada que el Ca en limbo.

El subgrupo HF contribuye con los niveles más altos de N, P y K en tejido foliar, y con los valores más bajos de Mg en limbo y en pecíolo. La relación K/Mg permite diferenciar el subgrupo HF del resto de los suelos por su elevado valor, debido a los altos niveles de K y bajos de Mg. El subgrupo PO aporta los niveles más bajos de N y P en tejido foliar y de K en limbo. Los suelos CTC y PO destacan por sus altos niveles de Ca en tejido foliar y los subgrupos del orden Alfisoles, HC, PC y PA mostraron los niveles más altos de Fe en limbo y pecíolo.

Entre las propiedades de los suelos que influyen en la nutrición mineral de la vid, se encuentra la profundidad efectiva de los suelos (N, P, K), la fertilidad del suelo (N, P, K, Mg), la reserva de agua útil (N, K, Ca), los niveles de K y Mg en el horizonte superficial (K, Mg), los carbonatos y la caliza activa de los horizontes cálcicos y petrocálcicos (Ca, Fe, Cu), la CIC y la arcilla del horizonte argílico (P, Fe).

La medida de los potenciales hídricos de base en enero ha permitido obtener diferencias entre los subgrupos de suelos con relación al estado hídrico de la vid. El subgrupo de suelos HF proporciona a la planta un estado hídrico sin déficits, incluso en años secos aportando una buena disponibilidad de agua. Sin embargo, el subgrupo de suelos HC induce un estado hídrico deficitario de moderado a severo.

La propiedad de los suelos que se ha relacionado con el potencial hídrico de base en envero ha sido la profundidad efectiva de los suelos.

Se ha podido constatar cómo las características de los diferentes subgrupos de suelos influyen en los componentes de acidez, en el contenido de azúcares y en los componentes que contribuyen a determinar el color de los mostos en la variedad Tempranillo.

La añada condiciona los componentes de acidez del mosto en todos los subgrupos de suelos, excepto en el HF que aporta los valores más elevados independientemente de las condiciones climáticas que se han dado durante el periodo de estudio. La acidez total y el ácido málico se relacionan de forma positiva con la temperatura media anual, la precipitación media anual, y de forma negativa con la insolación y la evapotranspiración de referencia.

Los valores de los componentes de color de los mostos agrupan en dos bloques a los subgrupos de suelos, de tal modo que los que aportan más color serían, CTC, PC, PA y PO, mientras que CT, HC y HF daría lugar a mostos con menores niveles en lo que a parámetros de color se refiere. Las añadas establecen modificaciones del color pero de menor amplitud que los subgrupos de suelos. La intensidad de color solo presenta variaciones en la añada con mayor registro de precipitación. Los antocianos y el IPT no experimentan cambios significativos en las diferentes añadas.

Los parámetros del suelo que más influyen en los componentes de color de los mostos son, la profundidad efectiva, los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble y la reserva de agua que influyen de forma negativa, mientras que el contenido de arcilla (PC y PA) y los carbonatos totales equivalentes (CTC y PO) lo hacen positivamente.

Los componentes de vigor, es decir, el peso unitario del sarmiento y el peso de madera de poda, han mostrado eficiencia a la hora de diferenciar los subgrupos de suelos, mostrándose más sensibles al tipo de suelo que a las variaciones entre añadas. Los subgrupos HF y PO presentan los componentes de vigor más extremos, HF el de mayor vigor y PO el de menor vigor.

Los parámetros de suelo que influyen en el vigor han sido, la profundidad efectiva, la reserva de agua útil y los niveles de Mg en el horizonte Ap, que expresan una correlación positiva, y los carbonatos equivalentes y la caliza activa de los horizontes subsuperficiales, que lo hacen de forma negativa.

Los componentes del rendimiento, como el peso de 100 bayas y el peso medio del racimo han estado muy influenciados por las condiciones climáticas de cada añada. Se ha observado una relación positiva entre el peso de baya y la precipitación entre enero y mayo, siendo negativa con la radicación solar y la evapotranspiración de referencia.

El subgrupo de suelos HF proporciona pesos de 100 bayas y producciones de uva por cepa mayores que el resto de suelos. Entre las características de los suelos que influyen en el peso de 100 bayas habría que destacar la reserva de agua útil, que en el caso del subgrupo HF es elevada.

En relación al índice de Ravaz se ha comprobado que los suelos que aportan un mayor equilibrio entre componente vegetativa y productiva serían los subgrupos CT, CTC y PO, mientras que los subgrupos HC y HF presentan valores que indicarían un desequilibrio.

Los componentes de acidez y de color de los vinos siguen las mismas pautas de comportamiento respecto a los subgrupos de suelos y a las añadas que han sido ya evidenciados en los mostos. El grado alcohólico, y los componentes de acidez y de color de los vinos elaborados a pequeña escala, son afectados por el subgrupo de suelos y la añada.

En este contexto, los parámetros de acidez de los vinos presentan las mismas tendencias que se indicaron en los mostos, es decir, se muestran muy sensibles a la añada: los valores del pH, la acidez total, el ácido málico y el K.

Los valores de la intensidad de color, del IPT y de los antocianos establecen un agrupamiento de los diferentes tipos de suelos: PC, PO y PA contribuyen favorablemente

al color, y por otra CT, HC y HF, proporcionan vinos con menores valores de los parámetros de color considerados.

Los parámetros de acidez se relacionan preferentemente con los elementos climáticos, mientras que los componentes de color, como los antocianos y el IPT, lo hacen con parámetros del suelo.

La determinación de aromas en vinos ha permitido obtener diferencias significativas en las concentraciones de los compuestos aromáticos entre añadas. Se han observado correlaciones positivas de la temperatura media anual, de la insolación, de la evapotranspiración de referencia y del índice de Huglin con el grupo de alcoholes, ésteres, ácidos y cetonas de los vinos. En el caso de la precipitación media anual, de la precipitación entre enero-mayo y del índice de Sequía, las correspondencias con estos compuestos aromáticos han sido negativas. En general, respecto a los subgrupos de suelos no se han observado variaciones significativas en los perfiles aromáticos aportados a los vinos.

En los vinos de Tempranillo analizados, los alcoholes y los ésteres han constituido los grupos mayoritarios, representando el 94% de los volátiles libres.

Se han establecido correlaciones del perfil aromático de los vinos con el N extraíble ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$ ) en el suelo, con el N en limbo y con el NFA en mostos. Esto confirmaría la relación entre el estatus nitrogenado de la vid y el perfil sensorial de los vinos.

La valoración organoléptica de los vinos ha permitido establecer diferencias entre vinos procedentes de diferentes subgrupos de suelos. Se han distinguido los vinos proporcionados por el subgrupo HF en relación por sus aspectos visuales y olfativos escasamente valorados. Los vinos aportados por PO y PA se han distinguido por la fase visual y la fase gustativa sobre el resto de los vinos. En los vinos procedentes de HC han brillado por su fase visual y por su equilibrio.

El análisis discriminante ha permitido confirmar que considerando los valores de los parámetros de nutrición, vigor, producción y composición de mosto y vino se pueden agrupar las parcelas de viñedo según los subgrupos de suelo, bajo las mismas condiciones climáticas (añada).

El análisis de componentes principales ha mostrado que la componente que explica un mayor porcentaje de la variabilidad, está asociada a la profundidad efectiva, el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble, a la producción, al vigor, al contenido de antocianos y polifenoles en mosto y en vino. De tal forma, que el incremento de la profundidad y el  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble explica un mayor vigor y producción, y un menor contenido de antocianos y polifenoles en mosto y vino. Además, esta primera componente es la que produce principalmente las diferencias entre los subgrupos de suelos.

En general, se ha puesto de manifiesto la influencia que ejerce el tipo de suelo desde el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid, en especial en la composición mineral del tejido foliar, pasando por los componentes de vigor y del rendimiento hasta las características de los mostos y de los vinos. Observaciones que han sido confirmadas con el K extraíble en el horizonte Ap y con el Ca en los horizontes subsuperficiales. Para el potasio del suelo, se ha constatado la existencia de una cadena de correlaciones que se inicia en el K extraíble en el suelo del horizonte Ap, y finaliza en el K del vino, pasando a través del K en tejido foliar, tanto en limbo como en pecíolo, y del K en el mosto.

En el caso de los niveles de calcio en los horizontes subsuperficiales, estos se han relacionado de forma negativa con los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble en el suelo, con el N y el K foliar, con el ácido málico y el K de mostos, y positivamente con la intensidad de color, los antocianos y el IPT de mostos y de vinos. Asimismo con componentes de vigor y de rendimiento.

## CONCLUSIÓN FINAL GLOBAL

En relación a la influencia que ejercen los diferentes subgrupos de suelos estudiados, se puede considerar que el subgrupo Haploxerepts fluvéntico (HF) aporta un mayor vigor y rendimiento, pero concentraciones de polifenoles, antocianos en el mosto y vinos menores que para los subgrupos de suelos Palexerolls y Palexeralfs, que son los suelos que proporcionan el vigor y el rendimiento más reducido, pero con, las concentraciones más elevadas de polifenoles y de antocianos, tanto en mosto como en vino. Los subgrupos de suelo CTC y PC presentan un comportamiento intermedio entre los subgrupos HF y los PO y PA.

Finalmente, comentar que mediante la caracterización del perfil del suelo, incluyendo su clasificación a nivel de subgrupo y el análisis de propiedades como el  $\text{N-NO}_3^-$  extraíble, el K intercambiable, la profundidad efectiva y la capacidad de retención de humedad del suelo, se podrían diferenciar áreas con diferente expresión del vigor y del rendimiento, así como de la calidad del mosto y del vino, bajo unas condiciones mesoclimáticas similares en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja.



**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleixandre, J.L., Giner, J.F., Aleixandre-Tudó, J.L. 2013a. Evaluación del efecto terroir sobre la calidad de la uva y el vino (I). *Enoviticultura*, 20.
- Aleixandre, J.L., Giner, J.F., Aleixandre-Tudó, J.L. 2013b. Evaluación del efecto terroir sobre la calidad de la uva y el vino (II). *Enoviticultura*, 21.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and drainage*, paper 56. FAO, Rome, Italy, 300 p.
- Amstrong, D.N., Wheterby, K.J. 1976. Soils, grapes and quality- Is there a relationship? *Aust. Wine Brew & Spirit Rev.*, 94, 14.
- Andrés-de-Prado, R., Yuste-Rojas, M., Sort, X, Andrés-Lacueva, C., Torres, M., Lamuela-Raventós, R.M. 2007. Effect of soil type on wines produced from *Vitis vinifera* L. cv. Grenache in commercial vineyards. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 779-786.
- Babaresco, L. 1989. Nutrizione minerale e resistenza alle malattie (dovute a fattori biotici) della vite. *Vignevini*, 9, 25-35.
- Baggiolini, M., 1952. Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue romande d'Agriculture, de Viticulture et d'Arboriculture* 8 (1), 4-6.
- Baillod, M., Baggiolini, M., 1993. Les stades repères de la vigne. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 25, 7-9.
- Barbeau, G., Morlat, R., Asselin, C., Jacquet, A. 1998. Relations entre la précocité de la vigne et composition des baies de divers cépages du Val de Loire. *Progrès Agricole et Viticole*, 6, 127-130.
- Becker, N., Zimmermann, H. 1984. Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maduration des sarments, le development des baies et la qualité des vins. *Bull. O.I.V.*, 34, 169-176.
- Bell, S.J., Henschke, P.A. 2005. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Austr. J. Grape Wine Res.*, 11, 242-295.
- Benito, P. (2014). Bodegas Urbina <http://urbinavinos.blogspot.com/es/>
- Bergqvist, J., Dokoozlian, N., Ebisuda, N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52, 1-7.
- Bigorre, F., Tessier, D., Pedro, G. 2000. Contribution des argiles et des matières organiques á la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fundamental de la capacité d'échange en cations. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, 330, 245-250.
- Bindi, M., Maselli, F. 2001. Extension of crop model outputs over Surface by the application of statistical and neural network techniques to topographical and satellite data. *Climate Research*, 16, 237-246.

- Bodin, F., Morlat, R. 2006. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, 281, 37-54.
- Böhm, J. (Autor-Coordenador) 2011. Atlas das Castas da Península Ibérica: Historia, Terroir, Ampelografía. Ed. Dinalivro, Lisboa, 319 p.
- Böhm, J. (2011). <http://www.vinetowinecircle.com/>
- Bois, B. 2002. Variabilité mésoclimatique à l'intérieur du département de la Gironde et ses conséquences sur la culture de la vigne en Bordelais. Bordeaux, Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles, 66 p.
- Boulton, R. 1980. The relationships between total acidity, Titratable acidity and Ph in wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 31 (1), 76-80.
- Bramley, R.G.V., Hamilton, R.P. 2007. Terroir and precision viticulture: are they compatible?. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 41, 1-8.
- Branas, J. 1974. Viticulture. Imprimerie Déhan-Montpellier., 356 p.
- Bravdo, B., Hepner, Y. 1987. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. In: Proceedings of the Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management. *Acta Hortic.* 206, 49-67.
- Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H. 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 132-139.
- Brenon, E., Bernard, N., Zebic, O., Deloire, A. 2005. Maturité du raisin: Proposition d'une méthode utilisant le volume des baies comme indicateur. *Rev. OEnol.*, 117,1-3.
- Brossaud, F., Cheynier, V., Noble, A.C. 2001. Bitterness and astringency of grape and wine polyphenols. *Austr. J. Grape Wine Res.*, 7, 33-39.
- Bruand, A., Tessier, D., Baize, D. 1988. Contribution à l'étude des propriétés de rétention en eau des sols argileux: importance de la prise en compte de l'organisation de la phase argileuse. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences* 307, 1937-1941 p.
- Buttrose, M., Hale, C., Kliewer, W. 1971. Effect of temperature on the composition of Cabernet Sauvignon berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 22, 71-75.
- Cabello, F.; Rodriguez-Torres, I.; Muñoz-Organero, G.; Rubio, C.; Alejandro, B.; García-Beneytez, S., 2003. La colección de variedades de "El Encin". IMIA, Comunidad de Madrid, España, 207 p.
- Caló, A., Tomasi, D., Crespan, M., Costacurta, A. 1996. Relationship between environmental factors and the dynamics of growth and composition of the grapevine. *Acta Hortic.*, 427, 27.
- Carbonneau, A. 1986. Stress modérés sus feuillage induits par le système de conduite et regulation photosynthétique de la vigne. In Symposium physiologie de la vigne. OIV. Bordeaux, 378-385 p.

- Carbonneau, A. 1998. Aspects in qualitatifs. In: *Traté d'irrigation*, 258-276. Tiercelin J.R. (ed.), Tec et Doc Lavoisier, Paris.
- Carbonneau, A., Riou, C., Guyon, D., Riou, J., Schneider, C. 1992. *Agrometeorologie de la vigne en France*. Luxembourg, LUX : Office des publications officielles des Communautés Européennes, 168 p.
- Castellarin, S.D., Degan, M., Di Gaspero, G., Peterlunger, E. 2005. Impact of the water deficit on the phenolic compounds during berry ripening of *Vitis vinifera* L. cv. Merlot. In: *Proceedings GESCO Geisenheim*, 2, 173-179.
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A. Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*, 227, 101-112.
- Cellier, P., Jacqued, A., Bautrais, P., Morlat, R., Delanchy, P. 1996. Modélisation du régime thermique des sols de vignoble du val de Loire: relations avec des variables utilisables pour la caractérisation des terroirs. *Actes du 1<sup>o</sup> Colloque international sur les terroirs viticoles*, Angers, France, 26-32 p.
- Chalmers, Y., Downey, M., Krstic, M., Loveys, B., Dry, P.R. 2010. Influence of sustained deficit irrigation on colour parameters of Cabernet Sauvignon and Shiraz microscale wine fermentation. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 16, 301-313.
- Champagnol, F. 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Champagnol, St-Gély du Fec, France, 351 p.
- Chomé, P.M., et al. 2006. *Variedades de vid. Registro de variedades comerciales*. Coordinador: Chomé, P.M. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España
- Choné, X., van Leeuwen, C., Chéry, P., Ribéreau-Gayon, P. 2001. Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, 1997). *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 22(1), 8-15.
- Choné, X., Lavigne-Cruège, V., Tominaga, T., van Leeuwen, C., Castagnede, C., Saucier, C., Dubourdieu, D. 2006. Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential: flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 40, 1-6.
- Coipel, J., Rodriguez-Lovelle, B., Sipp, C., van Leeuwen, C. 2006. "Terroir" effect, as a result of environmental stress, depends more of soil depth than on soil type (*Vitis vinifera* L. cv. Grenache noir, Côthes du Rhône, France, 2000). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 40 (4), 177-185.
- Commission Internationale de l'éclairage (CIE), 1986. *CIE 15: Technical report Colorimetry*, 2nd edition, Vienna, Austria.
- Conradie, W.J. 2001. Timing of nitrogen fertilization and the effect of poultry manure on the performance of grapevines on sandy soil. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 22, 60-68.
- Conradie, W.J., Saayman, D. 1989. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on Chenin blanc vines. II Leaf analyses and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 91-98.

- Conradie, W.J., Carey, V.A., Bonnardot, V., Saayman, D., Shoorvan, L.H. 2002. Effect of different environmental factors on the performance of Sauvignon blanc grapevines in the Stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 23(2), 79-91.
- Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja. (2014). [www.riojawine.com/](http://www.riojawine.com/)
- Coombe, B. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *ISHS Acta Horticulturae*, 206, 25-35.
- Crowe, P.R. 1971. *Concepts in Climatology*. Longman Group Limited, London, 589 p.
- Cruz-Castillo, J.G., Ganeshanandam, S., Mackay, B.R., Lawes, G.S., Lawoko, C.R.O., Woolley, D.J. 1994. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. *HortScience*, 29, 1115-1119.
- De Kochko, P., Kurmi, P. 1985. Porosité et comportement thermique des sols d'un vignoble d'Anjou. *Science du Sol*, 3, 169-174.
- Delas, J., Molot, C., Soyer J.P. 1991. Effects of nitrogen fertilization and grafting on the yield and quality of the crop of *Vitis vinifera* L. cv. Merlot. In: *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Am Soc Enol Vitic, Seattle, Washington, USA, 242-248.
- Deloire, A., Vaudour, E., Carey, V., Bonardot, V., van Leeuwen, C. 2005. Grapevine responses to Terroir: A global approach. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 39, 149-162.
- Dorransoro, C., Aguilar, J. 1988. El proceso de iluviación de arcilla. *An. Edafol. Agrobiología XLVII*: 311-350.
- Downey, M.O., Dokoozlian, N.K., Krstic, M.P. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine. A review of recent research. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57, 257-267.
- Duteau, J., 1990. Relations entre l'état de maturité des raisins (Merlot noir) et un indice climatique. Utilisation pour fixer la date des vendanges en année faiblement humide dans les crus de Bordelais. In : Dunod (eds). *Actualités œnologiques* 89, 7-12.
- Duteau, J., Guilloux, M., Seguin, G. 1981. Influence des facteurs naturels sur la maturation du raisin, en 1979, à Pomerol et Saint-Emilion. *Conn. Vigne Vin* 15(3), 1-27.
- Dumas, V., Lebon, E., Morlat, R. 1997. Differentiation of local climate in the Alsatian vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 31, 1, 1-9.
- Elliot-Fisk, D. 1993. Viticultural soils of California, with special reference to the Napa Valley. *Journal of Wine Research* 4: 67-77.
- Esteban, M., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. *Am. J. Enoc. Vitic.*, 50, 418-434.
- Esteban, M., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *J. Sc. Food and Agriculture*, 81 (4), 409-420.

- Esteban, M., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2002. Relation-ships between different bberry components in Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 1136-1146.
- Freeman, B.M., Kliwer, W.M. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on carignane vines. II. Grape and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, 39, 197-204.
- Fregoni, M. 1973. Ecología vitícola: Adaptación de los objetivos de la producción al medio natural. Simposium Internacional de Viticultura, CONAFRUTSAG, México, 23 p.
- Fregoni, M. 2005. Viticoltura di qualità. Tecniche Nuove, Milano.
- Fregoni, M. 2009. Atlante nutrizionale della vite. Tecniche Nuove, Milano.
- Fregoni, M., Gatti, M. 2007. Changements climatiques et désertification: la viticulture mondiale réagira en fonction des latitudes. *Congres sur le climat et la viticulture*. Zaragoza, 10-14.
- Fregoni, C., Pezzutto, S. 2000. Principes et premières aproches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Prog. Agric. Vitic.* 18, 390-396.
- García-Escudero, E. 1991. Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- García-Escudero E., Santamaría P., López R., Palacios I. 1991. Aplicación de dosis moderadas de agua durante el proceso de maduración del cv. Tempranillo en Rioja. *Vitivinicultura*, 1: 30-34.
- García-Escudero, E., López, R., Santamaría, P., Zaballa, O., Arroyo, M.C. 1997. Ensayo de riego localizado en viñedos productivos cv. Tempranillo. *Viticultura/Enología profesional*, 50, 35-47.
- Gatti, M., Fregoni, M., 2009. Vitigno-Terroir: le acópiate vincenti. *VQ 3*, 18-24.
- Gawel, R., Ewart, A., Crami, R. 2000. Effect of rootstock on must and wine composition and sensory properties of the Cabernet Sauvignon grown at Langhorne Creek, South Australia. *Australian and New Zealand Wine Industry J.*, 15, 67-73.
- Gladstones, J. 1992. *Viticulture and environment*. Winetitles, Adelaide, 310 p.
- Gladstones, J. 2000. Past and future climatic indices for viticulture. 5th International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Melbourne, Australia, 16-20 January.
- Gladstones, J. 2011. *Wine, Terroir and Climate Change*. Kent Town, South Australia; Wakefield press, 288 p.
- Gobierno de La Rioja (2015). [www.iderioja.larioja.org](http://www.iderioja.larioja.org).
- Gobierno de La Rioja (2013). [www.larioja.org](http://www.larioja.org).
- Gómez Urdáñez, J.L. 2000. El Rioja Histórico. La Denominación de Origen y su Consejo Regulador. Consejo Regulador de la Denominación de Origen Calificada Rioja, Logroño, España.

- Gonzalez-Sanjosé, M.L., Gómez-Miguel, V. 2005. Influencia del clima y del suelo en la calidad de la uva. *Tecnología del Vino*, 27, 25-33.
- Gonzalo-Moreno, A.N., 1981. El relieve de La Rioja. Análisis de geomorfología estructural. Ed. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, España, 508 p.
- Goldspink, B.H., Frayne, B. 2001. The effect of nutrients on vine performance, juice parameters and fermentation characteristics. In: *Fertilisers for wine grapes 3rd edn.* (eds B.H. Goldspink, K.M. Howes) Bulletin 4421, Agriculture Western Australia, Perth, 1-8.
- Gurovich, L.A. Páez, C.I. 2004. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. *Ciencias e investigación agraria*, 31(3), 175-186.
- Halliday, J. 1993. Climate and soil in Australia. *J. Wine Research*, 4, 19-34.
- Hardie, W.J., Considine, J.A. 1976. Response of grapes to water deficits stress in particular stages of development. *Am.J. Enol.Vitic.*, 27, 55-61.
- Hidalgo, L. 1999. *Tratado de viticultura general*. Ed. Mundiprensa, Madrid, 1172 p.
- Hilbert, G., Soyer, J. P., Molot, C., Giraudon, J., Milin, S., Gaudillere J. P. 2003. Must quality and anthocyanin accumulation in berries: Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. *Vitis*, 42 (2), 69-76.
- Huggett, J.M. 2005. Geology and wine: a review. In *Proceedings of the Geologists' Association*, 117, 239-247.
- Huglin, P. 1986. *Biologie et Écologie de la Vigne*. Payot, Lausanne, Switzerland.
- Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticoles. *Comptes rendus de l'Académie de l'Agriculture de France* 64, 1117-1126.
- Huglin, P., Schneider, Ch.1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Lavoisier Tec. et Doc., Paris, 370 p.
- Hunter, J.J., Deloire, A. 2005. Relationship between sugar loading and berry size of ripening Syrah/R99 grapes as affected by grapevine water status. *GESCO XIV journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduit de la vigne*, Geisenheim, Allemagne, 127-133 p.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2008. Effects of irrigation on the performance of grapevine cv. Tempranillo in Requena, Spain. *Am. J. Enol. Vitic.* 59, 30-38.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2010. Response of grapevine cv. Tempranillo to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrig. Scie.*, 28, 113-125.
- I.T.G.E., 1990. Mapa y memoria de la hoja geológica nº 203 (22-10) Nájera. Proyecto MAGNA, Ministerio de Industria y Energía, Madrid, España, 28 p.
- Jackson, D.I., Sherry, N.J. 1988. Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *Am. J. Enol. Vitic.* 1, 19-28.

- Jackson, D.I., Lombard, B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44(4), 409-430.
- Jackson, M.L., Sherman, G.D. 1953. Chemical weathering of minerals in soils. *Adv. Agron.*, 5, 219-318.
- Jackson, R.E. 2000. *Wine Science: Principles, practice, perception*, 2nd ed. London: Academic Press.
- Johnson, H. 1971. *The World Atlas of Wine*. Mitchell Beazley, London.
- Jones, G.V., Davis, R.E. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51 (3), 249-261.
- Jones, G.V., Nelson, P., Snead, N. 2004. Modeling Viticultural Landscapes: A GIS Analysis of the Terroir Potential in the Umpqua Valley of Oregon. *Geoscience Canada* 31, 4, 167-178.
- Katergi, N., Hallaire, M. 1984. Las grandeurs de reference utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*, 4 (10), 999-1008.
- Katergi, N., Hallaire, M., Perrier, A., Durand, R. 1983. Transfert hydrique dans le végétal. I Modelisation à l'échelle du couvert végétal en conditions naturelles. *Oecol. Plant.*, 4, 11-26.
- Keller, M., Hrazdina, G. 1998. Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *Am. J. Enol. Vitic.*, 49, 341-349.
- Keller, M., Pool, R.M., Henick-Kling, T. 1999. Excessive nitrogen supply and shoot trimming can impair colour development in Pinor noir grapes and wine. *Austr. J. Grape Wine Res.*, 5, 45-55.
- Keller, M. 2010. *The science of grapevines: anatomy and physiology*. Academic Press, London, Reino Unido, 377 p.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L. 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 268-274.
- Klepper, B. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant, Physiol.* 43, 1931-1934.
- Kliewer, W. M. 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 2, 153-159.
- Kliewer, W. M. 1991. Methods for determining the N status of vineyards. In *Nitrogen in grapes and wine*. Ed. J.M. Rantz, American Society for Enology and Viticulture, Davis, California, 133-147 p.
- Kliewer, W. M., Torres, R. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *American Journal of Enology and Viticulture*, 23(2), 71-77.
- Köppen, W., Geiger, R., 1930. *Handbuch der Klimatologie*. Gebrueder Borntraeger, Berlin.

- Koundouras, S., van Leeuwen, C., Seguin, G., Glories, Y. 1999. Influence of water status on vine vegetative growth, berry ripening and wine characteristics in Mediterranean zone (example of Nemea, Greece, variety Saint-George, 1997). *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 33(4), 149-160.
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., van Leeuwen, C. 2006. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *J. Agric. Food Chem.*, 12, 54(14), 5077-86.
- Koundouras, S., Hatzidimitriou, E., Karamolegkou, M., Dimopoulou, E., Kallithraka, S., Tsiatas, J.T., Zioziou, E., Nikolaou, N., Kotseridis, Y. 2009. Irrigation and rootstock effects on the phenolic concentration and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. cabernet sauvignon grapes. *J. Agric. Food Chem.* 9, 57(17), 7805-13.
- Lambert, J.J., McElrone, A., Battany, M., Dahlgren, R., Wolpert, J.A. 2008. Influence of soil type and changes in soil solution chemistry on vine growth parameters and grape and wine quality in a central coast California vineyard. In: *Proceedings of VIIth International Terroir Congress (Nyon, Suisse)*, 1, 38-44.
- Lambert, J.J., Fujita1, J., Gruenwald1, C., Dahlgren, R.A., Heymann, H., Wolpert, J.A. 2010. Influence of soil characteristics on vine growth, plant nutrient levels and juice properties: a multi-year analysis. In: *Proceedings of VIII International Terroir Congress (Soave, Italy)*, 4, 26-31.
- Larrea Redondo, A. 1974. Notas sobre Historia y Geografía del Vino de Rioja. *Berceo*, 87, 209-219.
- Lipka, Z., Tanner, H., 1974. Une nouvelle méthode de dosage de l'acide tartrique dans les moûts, les vins et autres boissons (selon Rebelein). *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*, VI (1) 5-10.
- Lohnertz, O. 1991. Soil nitrogen and the uptake of nitrogen in grape vines. In: *Nitrogen in grapes and vine.* (ed. J. M. Rantz) American Society for Enology and Viticulture, Davis, CA, 1-11.
- Lohnertz, O., Böhm, P., Muskat, S. 2008. Soil determines wine style. *Proceedings of the VIIth International Terroir Congress*, 20-24. Nyon, Switzerland.
- Maigre, D. 2002. Comportement du Pinot noir en présence d'enherbement permanent et influence de la fumure azotée. 2. Résultats analytiques et organoleptiques. *Rev. Suisse vitic., Arboric., Hortic.*, 34, 239-244.
- Mº de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2010). <http://www.mapama.gob.es/>
- Martínez de Toda, F., Martínez, M.T., Sancha, J.C.; Blanco, C. Martínez, J. et al. 2004. Variedades minoritarias de vid en la DOCa. Rioja. Coord. F. Martínez de Toda. Monografía, Gobierno de La Rioja, 180 p.
- Martínez-Vidaurre, J.M., 2001. Un mapa con todos los suelos. *Cuaderno de campo*, 20, 35-39. Gobierno de La Rioja, Logroño, España.
- Martínez-Vidaurre, J.M., Arpón, L., Quintanar, A.B., 2003. Mapa de suelos de Uruñuela. *Cuaderno de campo*, 25, 34-39. Gobierno de La Rioja, Logroño, España.

- Mateo, J.J., Jimenez, M., Pastor, A., Huerta, T. 2001. Yeast starter cultures affecting wine fermentation and volatiles. *Food Res. Int.*, 34, 307-314.
- Matthews, M., Anderson, M. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.*, 39, 313-320.
- Matthews, M., Anderson, M., Shultz, R. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet Franc. *Vitis*, 26, 47-160.
- May, P. 1997. Using Grapewine Rootstocks. The Australian Perspective. *Winetitles*, Adelaide, 62 p.
- McCarthy, M.G. 2000. Development variation in sensitivity of *Vitis vinifera* L. (Shiraz) berries to soil water deficit. *Aus. J. Grape Wine Res.*, 6, 139-140.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Cifre, J., Bota, J., 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.
- Merougé, I., Segui, G., Arrouays, D. 1998. Les sols et l'alimentation hydrique de la vigne à Pomerol: état hydrique et croissance de la vigne en 1995. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 32(2) 59-68.
- Morlat, R. 1989. Le terroir viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Applications aux vignobles rouges de la moyenne vallée de la Loire. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux II, 289 p. + annexes.
- Morlat, R., Jacquet, A. 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis*, 32, 35-42.
- Morlat, R. 2001. Terroirs viticoles: étude et valorisation. *Chaintré: Oenoplurimédia*, 118 p.
- Morlat, R., Bodin, F. 2006. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth – II. Validation of the grape yield and berry quality in the Anjou vineyard (France). *Plant soil*, 281 (1-2), 55-69.
- Mpelasoka, B., Shachtman, D., Treeby, M.T., Thomas, M. 2003. A review of potassium nutrition in grapevine with special emphasis on berry accumulation. *Aust. J. Grape Wine Research* 9, 157-168.
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen–Inorganic forms. In: Sparks D.L., et al., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Ser. 5. Madison, WI: SSSA*, 1123-1184.
- Nadal, M., Lampreave, M. 2003. Influence de l'irrigation sur la réponse hydrique du cep, le rendement et la composition des vins de cv. Tempranillo en climat méditerranéen. *J. Int. Sci. Vigne Vin.*, 37, 119-123.
- Navarro, G. 2003. *Química Agrícola*. Eds. Mundiprensa, Madrid, 487p.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., Deloire, A. 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53: 261-267.

- Oliveira, M. 1995. Efeito da disponibilidade de agua no solo nas produções da casta Touriga francesa na Regiao Demarcada do Douro (Cima-Corgo). *Ciencia Téc. Vitiv.* 12, 59-71.
- Ollat, N., Diakou-Verdin, P., Carde, J.P., Barrieu, F., Gaudillère, J.P., Moing, A. 2002. Grape berry development: A review. *J. Int. Sci. Vigne Vin.*, 36(3), 109-131.
- Ortega, C., Lopez, R., Cacho, J., Ferreira, V. 2001. Fast analysis of important wine volatile compounds. *Journal of Chromatography A*, 923 (1-2): 205-214.
- Parker, A.K., G. de Cortázar-Atauri, I., van Leeuwen, C., Chuine, I. 2011. General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Aus. J. Grape Wine Res.*, 17, 206-216.
- Peregrina, F., López, D., Zaballa, O., Villar, M.T., Gonzalez, G., García-Escudero, E. 2010. Soil quality of vineyards in the origin denomination Rija: index of overcrusing risk (FAOPNUMA), content of organic carbón and relation with soil fertility. *Rev. Ciénc. Agrárias*, 33, 338-345.
- Pérez-Álvarez, E.P. 2015. Utilización de cubiertas vegetales en un viñedo de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) de la D.O.Ca. Rioja como sistema de mantenimiento del suelo alternativo al laboreo. Incidencia sobre la calidad y fertilidad del suelo, y su efecto sobre la expresión vegetativa, el potencial productivo y la calidad de la uva y del vino. Tesis doctoral. Logroño, 363 p.
- Peyrot des Gachons, C., van Leeuwen, C., Tominaga, T., Soyer, J.P., Gaudillère, J.P., Dubordieu. 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potencial of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 73-85.
- Pieri, P., Fermaud, M. 2005. Effects of defoliation on temperature and wellness of grapevine berries. *Acta horticulturae*, 689, 109-116.
- Pirie, A., Mullins, M. 1976. Changes in Anthocyanin and Phenolics Content of Grapevine Leaf and Fruit Tissues Treated with Sucrose, Nitrate, and Abscisic Acid. *Plant Physiol.* 58, 468-472.
- Poni, S., Intrieri, C., Silvestroni, O. 1994. Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I, Gas Exchange. *Am. J. Enol. Vitic*, 45, 71-78.
- Porta, J., López-Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos. Ed. Mundiprensa, Madrid-Barcelona-Mexico, 541 p.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C., 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3ª edic. Ed. Mundi-Prensa, Madrid-Barcelona-Mexico, 929 p.
- Rankine, B., Fornachon, J., Boehm, E., Cellier, K. 1971. Influence of grape variety, climate and soil on grape composition and the composition and quality of table wines. *Vitis*, 10: 33-50.
- Rapp, A., Versini, G. 1995. Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wines. In *Developments in Food Science. Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence*. Proc. 8th Int. Flavor Conf., 1659- 1694.

- Renouf, V., Tregoat, O., Roby, J.P., van Leeuwen, C. 2010. Soils, rootstocks and grapevine varieties in prestigious Bordeaux vineyards and their impact on yield and quality. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 44 (3), 127-134.
- Reyes, J. M., del Campillo, M. C., Torrent, J. 2006. Soil properties influencing iron chlorosis in grapevines grown in the Montilla-Moriles area, Southern Spain. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* Vol. 37 , Iss. 11-12.
- Reynard, J.S., Zufferey, V., Nicol, G.C., Murisier, F. 2011a. Vine water status as a parameter of the Terroir effect under the non-irrigated conditions of the Vaud viticultural area (Switzerland). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 45 (3), 139-147.
- Reynard, J.S., Zufferey, V., Nicol, G.C., Murisier, F. 2011b. Soil parameters impact the vine-fruit-wine continuum by altering vine nitrogen status. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 45 (4), 211-221.
- Reynier, A. 2005. *Manual de viticultura*. Ed. Mundiprensa, Madrid, 497 p.
- Reynolds, A.G., Senchuk, I.V., van der Reest, C., de Savigny, C. 2007. Use of GPS and GIS for elucidation of the basis for terroir: spatial variation in a Ontario Riesling vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.*, 58(2), 145-162.
- Reynolds, A.G. 2010. *Managing wine quality*. Vol. 1: Viticulture and wine quality. Woodhead P. Ltd, 624 p.
- Ribéreau-Gayon, P., Stonestreet, E. 1965. Le dosage des anthocyanes dans le vins rouge. *Bull. Soc. Chim.*, 9, 2649.
- Ribéreau-Gayon, P, Glories, Y, Maujean, A, Dubourdieu, D. 1998. *Traité d'Oenologie: 2. Chimie du vin, Stabilisation et traitements*. Vol. 2. Paris : Dunod. 1184 p.
- Riou, C. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucres dans la communauté européenne. Office des Publications Officiales des Communautés Européennes, Luxembourg, 319 p.
- Rodrigues-Lovelle, B., Gaudillere, J.P. 2002. Carbon and nitrogen partitioning in fruiting and non-fruiting grapevines: effects of nitrogen limitation before and after veraison. *Aust. J. Grape & Wine Res.*, 8, 86-94.
- Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 10, 100-107.
- Roby, G., Matthews, M.A. 2004. Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries of Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Aus. J. Grape Wine Res.*, 10, 74-82.
- Ruffner, H.P. 1982. Metabolism of tartaric and malic-acids in Vitis- A review. *Vitis*, 21, 346-358.
- Ruhl, E.H. 1989. Effect of potassium and nitrogen supply on the distribution of minerals and organic acids and the composition of grape juice of Sultana vines. *Aust. J. Exper. Agric.*, 29, 133-137.
- Salon, J.L., Chirivella, C., Castel, J.R. 2005. Response of cv. Bobal to timing of deficit irrigation in Requena, Spain: Water relations, yield and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, 56,1-8.

- Sampaio, T.L., Kennedy, J.A., Vasconcelos, M.C. 2007. Use of microscale fermentations in grape and wine research. *Am. J. Enol. Vitic.* 58:4:534-539.
- Saxton, V. 2002. Calcium in viticulture – unravelling the mystique of French terroir. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal* , 17(3), 28-33.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1569–1578.
- Scholander, P.F., Hammel, H.J., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339-346.
- Schultz, H.R., Stoll, M. 2010. Some critical issues in environment physiology of grapevines: Future challenges and current limitations. *Aust. J. Grape Wine Res*, 16 (Suppl. 1), 4-24.
- Seguin, G. 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bull. O.I.V.* 623, 3-18.
- Seguin, G. 1986." Terroirs" and pedology of vine growing. *Experientia*, 42:861-873.
- Selli, S., Cabaroglu, T., Canbas, A., Erten, H., Nurgel, C., Lepoutre, J.P., Gunata, Z. 2004. Volatile composition of red wine from cv. Kalecik Karasi grown in central Anatolia. *Food Chemistry*, 85, 207-213.
- Shackel, K.A. 2007. Water relations of woody perennial plant species. *J. Inter.Sci. vigne vin*, 41, 121-129.
- Shange, L.P., Conradie, W.J. 2012. Effects of Soil Parent Material and Climate on the Performance of *Vitis vinifera* L. cvs. Sauvignon blanc and Cabernet Sauvignon. Part II. Climate, Leaf Analysis, Juice Analysis and Wine Quality. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 33 (2) 174-183.
- Singleton, V.L., Esau, P. 1969. Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Adv. Food Res. Supp.* 1, 112-133.
- Sipiora, M.J., Anderson, M.M., Matthews, M.A. 2005. Composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir fruit and wines from Carneros appellation in response to potassium fertilization and supplemental irrigation. In: *Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium* (eds L.P. Christensen, D.R. Smart). American Society of Enology and Viticulture, Davis CA, 185-192.
- Sivilotti, P., Bonetto, C., Paladin, M., Peterlunger, E. 2005. Effect of soil moisture availability on Merlot: From leaf water potential to grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (1), 9-18
- Smart, R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulations with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 26, 230-239.
- Smart, R., Coombe, B. 1983. Water relations of grapevines. In Kozlowski T.T (Ed.), *Water deficits and plant growth*, Vol. VII: Additional woody crop plants, 137-196.
- Smart, R., Robinson, M. 1991. *Sunlight into wine. A handbook for winegrape canopy management*, Adelaide: Winetitles, 88 p.

- Spring, J.L., Lorenzini, F. 2006. Effect de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée. Rev. Suisse Vitic., Arboric., Hortic., 38, 105-113.
- Sotés, V., Gómez-Miguel, V. 2003. Caracterización de áreas vitivinícolas: zonificación, in: memorias del I Seminario Internacional de Vitivinicultura. B.C. Mexico, Ensenada, 40-60 p.
- Sotés, V. 2004. Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el periodo de maduración de la uva. In: I Workshop Internacional de Pesquisa. A Produção de vinhos em Regiões Tropicais. Petrolina e Recife, Brasil, 75-83.
- Spayd, S.E, Tarara, J., Mee, D., 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.
- Spayd, S.E, Wample, R.L., Evans, R.G., Stevens, R.G., Seymour, B.J., Nagel, C.W. 1994. Nitrogen- fertilization of wine Riesling grapes in Washington – must and wine composition. Am. J. Enol. Vitic., 45, 34-42.
- Soil Survey Staff. 2003. Soil survey manual. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. Ed. Pocahontas Press, Inc, Virginia, USA, 600 p.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th edition. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. Handbook, 18, 532 p.
- Steinhardt, R., Ehlers, W., Van der Ploeg, R.R. 1981. Analysis of soil water uptake from a drying loess soil by an oat crop using a simulation model. Irrig. Sci., 2, 237-258.
- Stoll, M., Loveis, B., Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. J. Exp. Botany, 51, 1627-1634.
- Storchi, P., Costantini, E. A. C., Bucelli, P. 2005. The influence of climate and soil on viticultural and enological parameters of “Sangiovese” grapevines under non-irrigated conditions. Acta Hortic., 689:333–340.
- Swinchatt, J., Howel, D.G. 2004. The winemaker's dance: Exploring terroir in the Napa Valley. Berkeley: University of California Press.
- Styger, G., Prior, B., Bauer, F.F. 2011. Wine flavor and aroma. J. Ind. Microbiol. Biotechnol., 38(9), 1145-1159.
- Terra Space Inc. (2003). Napa Wine Region. <https://napavintners.com/>
- Tesic, D., Woolley, D.J., Hewett, E.W., Martin, D.J. 2001a. Environmental effects on cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand.: 1. Phenology and characterisation of viticultural environments. Aust. J. Grape Wine Res., 8 (1), 15-26.
- Tesic, D., Woolley, D.J., Hewett, E.W., Martin, D.J. 2001b. Environmental effects on cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand.: 2. Development of a site index. Aust. J. Grape Wine Res., 8 (1), 27-35.
- Tomana, T., Utsunomiya, N., Dataoka, L. 1979. The effect of environment temperatures on fruit on ripening on the tree. II The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of “Kyoho” grapes. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 48, 261-266.

- Tonietto, J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat d'Hamburg dans le sud de la France. Thèse de Doctorat ENSA Montpellier, 233 pp.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 1998. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'A.O.C., Muscat de Ventoux dans le Département de Vaucluse. Progrès Agricole et Viticole, 12, 271-279.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 2000. Système de Classification Climatique Multicritères (C.C.M.) Géoviticole. In Proceedings of the 3rd International Symposium. "Zonification vitivinicole", 6-13 May, Sotes (Ed.) Tenerife, Spain.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agr. Forest Meteorol. 124 (1-2), 81-97.
- Torrea, D., Henschke, P.A. 2004. Ammonium supplementation of grape juice-effect on the aroma profile of a Chardonnay wine. Technical Review, 150, 59-63.
- Tregoat, O., van Leeuwen, C., Choné, X., Gaudillère, J.P. 2002. The assessment of vine water and nitrogen uptake by means of physiological indicators influence on vine development and berry potential (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, Bordeaux). J. Int. Sci. Vigne Vin, 36 (3), 133-142.
- Vaudour, E. 2003. Les terroirs viticoles. Définitions, Caractérisation, Protection. Dunod, Paris.
- Van Leeuwen, C. 1995. Comportement de deux cépages (*Vitis vinifera* variété Merlot et variété Cabernet franc) dans trois sols de la région viticole de Saint-Emilion. In Oenologie 1995: 5e Symposium International d'Oenologie. A. Lonvaud -Funel (Ed.), Lavoisier Tec & Doc, Paris, 3-8.
- van Leeuwen, C., Bois, B., Pieri, P., Gaudillère, J.P. 2007. El clima como un componente del terroir. Enología, año IV, mayo-julio: 1-14.
- van Leeuwen, C., Friant, P., Soyer, J.P., Molot, C., Choné, X., Dubordieu, D. 2000. L'intérêt du dosage de l'azote total et l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne. J. Int. Sci. Vigne Vin, 34 (2), 75-82.
- van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., Dubordieu, D. 2004. Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. Am. J. Enol. Vitic., 55 (3), 207-217.
- van Leeuwen, C., Merouge, I. 1998. Les sols viticoles de St. Emilion et de Pomerol (guidebook), 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France.
- van Leeuwen, C., Renard, R., Leriche, O., Molot, C., Soyer, J. P. 1998. Le fonctionnement de trois sols viticoles du Bordelais: Conséquences sur la croissance de la vigne et sur le potentiel oenologique du raisin en 1997. Revue Française d'Oenologie 170, 28-32.
- van Leeuwen, C., Renouf, V., Tregoat, O., Marguerit, E., Roby, J.P. 2008. Soils and plant material in prestigious Bordeaux vineyards Impacts on yield and quality. VIIIth International Terroir Congress © ACW, Agroscope Changins-Wädenswil
- van Leeuwen, C., Seguin, G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du

- raisin (*Vitis vinifera* L. variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). J. Int. Sci. Vigne Vin, 28 (2), 81-110.
- van Leeuwen, C., Tregoat, O., Choné, X., Jaeck, M.E., Rabusseau, S., Gaudillère, J.P. 2003. Le suivi du régime hydrique de la vigne et son incidence sur la maturation du raisin. Bull O.I.V. 76, 867-868, 367-378.
- van Leeuwen, C., Tregoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillere, J.P. 2009. Vine water is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? J. Int. Sci. Vigne Vin, 43 (3), 121-134.
- van Leeuwen, C. 2010. Étude des terroirs viticoles par une approche systémique. Habilitation à diriger des recherches (Université de Bordeaux 2).
- Verbrugge, M., Guyot, G., Hanoocq, J.F., Ripoché, D. 1991. Influence des différents types de sol de la basse vallée du Rhône sur les températures de surface des raisins et des feuilles (*Vitis Vinifera* L.). Rev. Fr. Œnol., 128, 14-20.
- Vilanova, M., Zamuz, S., Vilariño, F., Sieiro, C. 2007. Effect of terroir on the volatiles of *Vitis vinifera* L. cv. Albariño. J. Sci. Food Agric., 87, 1252-1257.
- Ubalde, J.M., Sort, X., Poch, R.M., Porta, M. 2007. Influence of edapho-climatic factors on grape quality in Conca de Barberá vineyards (Catalonia, Spain). J. Int. Sci. Vigne Vin., 41 (1), 33-41.
- Ubalde, J.M., Sort, X., Zayas, A., Poch, R.M. 2010. Effects of Soil and Climatic Conditions on Grape Ripening and Wine Quality of Cabernet Sauvignon. J. of Wine Research, 21 (1), 1-17
- Unamunzaga, O., Castellón, A., Besga, G., Gallejones, P., Usón, A., Aizpurua, A. 2010. Influence of soil type on juice quality in a vineyard from DOCa Rioja. In: Proceedings of VIII International Terroir Congress. Soave (Italy), 4, 126-132.
- USDA, 1993. National Soil Handbook. Soil Conservation Service. Washington.
- Van Wanbeke, A., Forbes, T.R. (eds) 1986. Guidelines for using "Soil Taxonomy" in the names of soil map units. Soil manage. Support Serv. Tech. Monogr. 10. U.S. Dep. Agric., Soil Conserv. Serv., and Cornaell Univ., Agron. Dep.
- Wagner, P.M. 1976. Grapes into Wine: The art of wine making in America. A. A. Knopf (eds), New York, 314 p.
- Wahl, K. 1988. Climate and soil effects on grapevine and wine: the situation on the northern border of viticulture – the example Franconia. In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology. Eds. R.E: Smart, R. J. Thornton, S.B. Rodriguez, and J.E. Young. Auckland, NZ, 1-5 p.
- White, R. E. 2003. Soils for fine wines. Oxford University Press. New York, USA, 279 p.
- White, R. E. 2015. Understanding vineyard soils. Oxford University Press. New York, USA, 272 p.
- White, R., Balachandra, L., Edis, R., Chen, D. 2007. The soil component of terroir. J. Int. Sci. Vigne Vin., 41 (1), 9-18.

- Wilson, J.E. 1998. Terroir. The role of geology, climate, and culture in the making of French wines. London, Mitchell Beazley.
- Winkler, A.J. 1962. General Viticulture. Berkeley, University of California
- Winkler, A., Cook, J., Kliewer, W., Lider, L. 1974. General viticulture. University of California press, Berkeley, 710 p.
- Winkler, Amerine, 1974
- Zamboni, M. 1996. Maturaciones dell'uva e previsione dell'epoca di vendemmia. L'informatore Agrario 30, 55-59.
- Zamboni, M., Nigro, G., Vespignani, G., Scotti, C., Raimonsi, S., Simoni, M., Fregoni, M. 2008. Relations between soil characteristics and must and wine composition in different terroirs of Emilia Romagna (Italy). In: Proceedings of VIIth International Terroir Congress, Agroscope Changins-Wädenswil, 25-32.
- Zelleke, A., Kliewer, W.M. 1979. Influence of root temperature and root-stock on budbreak, shoot growth, and fruit composition of Cabernet Sauvignon grapevines grown under controlled conditions. Am. J. Enol. Vitic., 30, 312-317.
- Zhang, H., S. Kariuki, J. Schroder, M. Payton, and C. Focht. 2009. Inter-laboratory validation of the Mehlich 3 for extraction of plant-available phosphorus. J. AOAC International Vol. 92 (1), 91-102.
- Zsófi, Zs., Gál, L., Szilágyi, Z., Szücs, E., Marschall, M., Nagy, Z., Bálo, B. 2009. Use of stomatal conductance and pre-dawn water potential to classify terroir for the grape variety Kékfrankos. Aust. J. Grape Wine Res., 15, 36-47.

# **ANEXOS**



# **ANEXO I**



## MATERIAL Y MÉTODOS



Anexo I, Figura 1. Mapa de suelos de Uruñuela a escala 1:20.000.

Anexo I, Tabla 1. Unidades de suelos y series seleccionadas del “Mapa de suelos de Uruñuela”.

Código	Unidad cartográfica	Serie de suelos*
<b>C</b>	Complejo	<b>Torremontalbo:</b> Haploxeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica
	Torremontalbo-Carrera	<b>Carrera:</b> Palexeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica
<b>E</b>	Consociación Carrera	<b>Carrera:</b> Palexeralfs cálcico, esquelético franca, mezclada, mésica
<b>F</b>	Complejo	<b>Coronilla:</b> Haploxeralfs cálcico, franca, mezclada, mésica
	Coronilla-La Calera	<b>La Calera:</b> Calcixerepts típico, franca fina, carbonática, mésica
<b>G</b>	Complejo	<b>La Calera:</b> Calcixerepts típico, franca fina, carbonática, mésica
	La Calera-Cenicero	<b>Camino Cenicero:</b> Palexeralfs cálcico, arcillosa, mezclada, mésica
<b>H</b>	Complejo	<b>La Poza:</b> Calcixerepts típico, franca fina, mezclada, mésica
	La Poza-La Calera	<b>La Calera:</b> Calcixerepts típico, franca fina, carbonática, mésica
<b>I</b>	Consociación Llano Tricio	<b>Llano Tricio:</b> Palexerolls petrocálcico, esquelético franca, carbonática, mésica
<b>J</b>	Consociación Llanoluengo	<b>Llanoluengo:</b> Calcixerepts típico, franca, carbonática, mésica
<b>K</b>	Consociación Cenicero	<b>Camino Cenicero:</b> Palexeralfs cálcico, arcillosa, mezclada, mésica
<b>T</b>	Consociación Sobaco	<b>Sobaco:</b> Haploxerepts fluvéntico thapto álfico, franca, mezclada, mésica
<b>V</b>	Consociación Yalde	<b>Yalde:</b> Haploxerepts fluvéntico, franca, mezclada, mésica

\* Nombre de la serie compuesto por: subgrupo de suelos, familia textural, mineralógica y de temperatura

Anexo I, Tabla 2. Descripción geolitológica de los materiales y del relieve por subgrupos de suelos.

<b>P</b>	<b>Código Subgr.</b>	<b>Formación geológica Litología de los materiales</b>	<b>Forma de relieve</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Orient.</b>	<b>Pendiente (%)</b>
11	CT	Terraza baja (nivel II) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	455	-	0-2
23	CT	Llanura de inundación Arenas, limos y arcillas sobre gravas	Plataforma	484	-	0-2
32	CT	Terraza media (nivel III) Coluvio sobre gravas en matriz arenosa	Ladera de empalme	515	NW	2-5
13	HC	Terraza baja (nivel II) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	472	-	0-2
14	HC	Terraza baja (nivel II) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	465	-	0-2
15	HC	Terraza baja (nivel II) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	467	-	0-2
21	HF	Llanura de inundación Arenas, limos y arcillas sobre gravas	Plataforma	475	-	0-2
22	HF	Llanura de inundación Arenas, limos y arcillas sobre gravas	Plataforma	476	-	0-2
31	CTC	Terraza media (nivel III) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	508	-	0-2
53	CTC	Glacis IV Gravas en matriz areno-limosa	Plataforma tipo cerro	564	-	0-2
33	PC	Terraza media (nivel III) Gravas en matriz arenosa	Plataforma	510	-	0-2
34	PC	Terraza media (nivel III) Gravas en matriz arenosa	Ladera de empalme	517	NW	2-5
41	PO	Terraza alta (nivel IV) Gravas en matriz arenosa	Plataforma tipo cerro	552	-	0-2
42	PO	Terraza alta (nivel IV) Gravas en matriz arenosa	Plataforma tipo cerro	555	-	0-2
43	PO	Terraza alta (nivel IV) Gravas en matriz arenosa	Plataforma tipo cerro	558	-	0-2
51	PA	Glacis IV Gravas en matriz areno-limosa	Plataforma tipo cerro	566	-	0-2
54	PA	Glacis IV Gravas en matriz areno-limosa	Plataforma tipo cerro	565	-	0-2

\* CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerepts cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palexerepts cálcico; PO, Palexerepts petrocálcico; PA, Palexerepts petrocálcico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo I, Tabla 3. Niveles de referencia para diagnóstico nutricional de macronutrientes (peso seco, g.100 g<sup>-1</sup>) en limbo y peciolo medidos en floración y envero para cv. Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja.

NIVELES NUTRICIONALES DE REFERENCIA (Peso seco, g 100 g <sup>-1</sup> )										
Nutrientes	FLORACIÓN					ENVERO				
	BAJO	ÓPTIMO BAJO	ÓPTIMO	ÓPTIMO ALTO	ALTO	BAJO	ÓPTIMO BAJO	ÓPTIMO	ÓPTIMO ALTO	ALTO
N	< 2,96	2,96-3,13	3,13-3,28	3,28-3,46	> 3,46	< 2,08	2,08-2,19	2,19-2,29	2,29-2,42	> 2,42
P	< 0,243	0,24-0,27	0,27-0,31	0,31-0,36	> 0,36	< 0,13	0,13-0,15	0,15-0,16	0,16-0,18	> 0,18
K	< 0,78	0,78-0,89	0,89-1,00	1,00-1,15	> 1,15	< 0,63	0,63-0,77	0,77-0,91	0,91-1,13	> 1,13
Mg	< 0,28	0,28-0,32	0,32-0,36	0,36-0,41	> 0,41	< 0,31	0,31-0,38	0,38-0,45	0,45-0,56	> 0,56
Ca	< 1,90	1,90-2,10	2,10-2,29	2,29-2,53	> 2,53	< 2,82	2,82-3,10	3,10-3,34	3,34-3,62	> 3,62
	PECÍOLOS					PECÍOLOS				
N	< 0,76	0,76-0,94	0,94-1,10	1,10-1,27	> 1,27	< 0,43	0,43-0,47	0,47-0,51	0,51-0,56	> 0,56
P	< 0,24	0,24-0,30	0,30-0,34	0,34-0,39	> 0,39	< 0,07	0,07-0,09	0,09-0,13	0,13-0,18	> 0,18
K	< 0,97	0,97-1,3	1,3-1,75	1,75-2,36	> 2,36	< 0,71	0,71-1,14	1,14-1,68	1,68-2,36	> 2,36
Mg	< 0,47	0,47-0,56	0,56-0,66	0,66-0,78	> 0,78	< 0,61	0,61-0,78	0,78-0,95	0,95-1,21	> 1,21
Ca	< 1,28	1,28-1,42	1,42-1,55	1,55-1,72	> 1,72	< 1,66	1,66-1,86	1,86-2,09	2,09-2,36	> 2,36

Anexo I, Tabla 4. Niveles de referencia para diagnóstico nutricional de micronutrientes (peso seco, mg.kg<sup>-1</sup>) en limbo y peciolo medidos en floración y envero para cv. Tempranillo en la D.O.Ca. Rioja.

NIVELES NUTRICIONALES DE REFERENCIA (Peso seco, mg kg <sup>-1</sup> )										
Nutrientes	FLORACIÓN					ENVERO				
	BAJO	ÓPTIMO BAJO	ÓPTIMO	ÓPTIMO ALTO	ALTO	BAJO	ÓPTIMO BAJO	ÓPTIMO	ÓPTIMO ALTO	ALTO
Fe	< 87	87-105	105-131	131-180	> 180	< 99	99-134	134-164	164-205	> 205
Mn	< 54	54-68	68-87	87-111	> 111	< 77	77-99	99-124	124-156	> 156
Zn	< 15	15-18	18-20	20-25	> 25	< 14	14-16	16-19	19-23	> 23
Cu	< 9,0	9,0-12	12-17	17-82	> 82	< 59	59-117	117-221	221-350	> 350
B	< 48	48-58	58-67	67-80	> 80	< 30	30-34	34-40	40-48	> 48
	PECÍOLOS					PECÍOLOS				
N	< 18	18-22	22-25	25-31	> 31	< 19	19-23	23-27	27-33	> 33
P	< 17	17-23	23-29	29-38	> 38	< 24	24-44	44-74	74-140	> 140
K	< 10	10-14	14-17	17-23	> 23	< 15	15-19	19-24	24-30	> 30
Mg	< 6,7	6,7-8,3	8,3-10	10-15	> 15	< 8,9	8,9-16	16-26	26-46	> 46
Ca	< 36	36-40	40-42	42-46	> 46	< 32	32-35	35-38	38-44	> 44

Anexo I, Tabla 5. Parámetros CIEL\*a\*b\* de los vinos elaborados a pequeña escala de cv. Tempranillo por subgrupos de suelos y en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
<b>L*</b> claridad	CT <sup>1</sup>	18,51 <b>cBC</b> <sup>2</sup>	13,33 <b>abA</b>	15,13 <b>bcAB</b>	22,83 <b>cdC</b>
	HC	14,71 <b>abcB</b>	11,32 <b>abA</b>	16,39 <b>cBC</b>	19,15 <b>bcC</b>
	HF	17,24 <b>bcB</b>	8,52 <b>aA</b>	20,81 <b>dC</b>	25,83 <b>dD</b>
	CTC	12,47 <b>abA</b>	11,28 <b>abA</b>	12,09 <b>abA</b>	22,61 <b>cdB</b>
	PC	12,33 <b>ab</b>	14,75 <b>b</b>	8,89 <b>a</b>	13,71 <b>a</b>
	PO	11,05 <b>aA</b>	10,33 <b>abA</b>	8,89 <b>aA</b>	15,01 <b>abB</b>
	PA	12,85 <b>abA</b>	9,91 <b>aA</b>	10,25 <b>aA</b>	21,15 <b>cdB</b>
<b>a*</b> verde/roja	CT	50,73 <b>cB</b>	44,83 <b>abA</b>	47,01 <b>bcAB</b>	55,57 <b>bcC</b>
	HC	47,13 <b>abcB</b>	42,60 <b>abA</b>	48,52 <b>cdBC</b>	51,81 <b>bcC</b>
	HF	49,61 <b>bcB</b>	39,04 <b>aA</b>	52,62 <b>dC</b>	57,31 <b>dD</b>
	CTC	44,18 <b>abA</b>	42,91 <b>abA</b>	43,43 <b>abA</b>	54,81 <b>bcB</b>
	PC	44,15 <b>ab</b>	46,67 <b>b</b>	39,22 <b>a</b>	45,74 <b>a</b>
	PO	42,36 <b>aA</b>	41,43 <b>abA</b>	38,84 <b>aA</b>	47,54 <b>abB</b>
	PA	45,07 <b>abcA</b>	39,60 <b>aA</b>	40,08 <b>aA</b>	54,28 <b>bcB</b>
<b>b*</b> azul/amarilla	CT	27,02 <b>bcB</b>	21,38 <b>abA</b>	24,53 <b>bcAB</b>	35,41 <b>bC</b>
	HC	24,97 <b>abcB</b>	18,89 <b>abA</b>	25,93 <b>cdB</b>	31,31 <b>bcC</b>
	HF	28,37 <b>cB</b>	14,67 <b>aA</b>	30,40 <b>dB</b>	36,02 <b>bC</b>
	CTC	21,25 <b>abA</b>	19,28 <b>abA</b>	20,06 <b>abA</b>	34,10 <b>bbB</b>
	PC	21,12 <b>ab</b>	24,22 <b>b</b>	15,27 <b>a</b>	23,46 <b>a</b>
	PO	18,86 <b>aA</b>	17,59 <b>abA</b>	15,29 <b>aA</b>	25,59 <b>abB</b>
	PA	22,06 <b>abcA</b>	16,65 <b>aA</b>	17,51 <b>aA</b>	35,00 <b>bbB</b>
<b>C*</b> croma	CT	57,50 <b>bB</b>	49,77 <b>abA</b>	53,04 <b>bcAB</b>	65,90 <b>bC</b>
	HC	53,34 <b>abB</b>	46,72 <b>abA</b>	55,03 <b>cdB</b>	60,56 <b>bcC</b>
	HF	57,17 <b>bB</b>	41,73 <b>aA</b>	60,77 <b>dB</b>	67,72 <b>bC</b>
	CTC	49,11 <b>abA</b>	47,12 <b>abA</b>	47,93 <b>abA</b>	64,58 <b>bbB</b>
	PC	49,08 <b>ab</b>	52,66 <b>b</b>	42,15 <b>a</b>	51,60 <b>a</b>
	PO	46,48 <b>aA</b>	45,11 <b>abA</b>	41,81 <b>aA</b>	54,14 <b>abB</b>
	PA	50,23 <b>abA</b>	43,17 <b>aA</b>	43,96 <b>aA</b>	64,64 <b>bbB</b>
<b>H*</b> tonalidad	CT	27,87 <b>bcB</b>	24,91 <b>abA</b>	27,49 <b>bcB</b>	32,49 <b>bC</b>
	HC	27,89 <b>bcB</b>	23,36 <b>abA</b>	28,03 <b>bcB</b>	31,02 <b>bcC</b>
	HF	29,66 <b>cB</b>	20,41 <b>aA</b>	30,00 <b>cB</b>	32,15 <b>bC</b>
	CTC	25,28 <b>abA</b>	23,87 <b>abA</b>	24,36 <b>abA</b>	31,72 <b>bbB</b>
	PC	24,97 <b>ab</b>	27,06 <b>ab</b>	20,92 <b>a</b>	26,28 <b>a</b>
	PO	23,43 <b>aA</b>	22,50 <b>abA</b>	21,00 <b>aA</b>	27,66 <b>abB</b>
	PA	25,84 <b>abcA</b>	21,50 <b>aA</b>	22,32 <b>aA</b>	32,55 <b>bbB</b>
<b>S*</b> saturación	CT	3,32 <b>aAB</b>	4,04 <b>abC</b>	3,53 <b>abBC</b>	2,91 <b>aA</b>
	HC	3,63 <b>abA</b>	4,39 <b>abB</b>	3,42 <b>abA</b>	3,20 <b>aA</b>
	HF	3,35 <b>aB</b>	5,01 <b>bC</b>	2,94 <b>aAB</b>	2,64 <b>aA</b>
	CTC	4,09 <b>abB</b>	4,31 <b>abB</b>	4,16 <b>bcB</b>	2,96 <b>aA</b>
	PC	4,17 <b>bAB</b>	3,71 <b>aA</b>	4,94 <b>cB</b>	4,03 <b>bAB</b>
	PO	4,44 <b>bAB</b>	4,61 <b>abAB</b>	4,95 <b>cB</b>	3,79 <b>bA</b>
	PA	3,99 <b>abAB</b>	5,00 <b>bB</b>	4,87 <b>cB</b>	3,12 <b>aA</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerals cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palixeralfs cálcico; PO, Palixerolls petrocálcico; PA, Palixeralfs petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Anexo I, Tabla 6. Parámetros CIEL\*a\*b\* de los vinos de cv. Tempranillo elaborados en la bodega experimental por subgrupos de suelos y en el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
<b>L*</b> claridad	CT <sup>1</sup>	30,02 <b>bB</b> <sup>2</sup>	20,17 <b>bcA</b>	22,73 <b>cAB</b>	22,23 <b>AB</b>
	HC	25,30 <b>bC</b>	14,23 <b>abcA</b>	19,30 <b>bcB</b>	19,07 <b>B</b>
	HF	26,30 <b>bB</b>	20,60 <b>cA</b>	32,35 <b>dC</b>	26,20 <b>B</b>
	CTC	20,90 <b>ab</b>	18,45 <b>bc</b>	16,55 <b>abc</b>	26,90
	PC	21,00 <sup>3</sup>	13,05 <b>abAB</b>	8,10 <b>aA</b>	18,05 <b>B</b>
	PO	15,10 <b>a</b>	12,77 <b>ab</b>	13,23 <b>ab</b>	20,77
	PA	14,30 <b>aA</b>	10,50 <b>aA</b>	12,50 <b>abA</b>	23,20 <b>B</b>
<b>a*</b> verde/roja	CT	57,12 <b>b</b>	51,88 <b>b</b>	52,18 <b>bc</b>	52,48
	HC	56,16 <b>bB</b>	46,26 <b>abA</b>	49,85 <b>bcA</b>	49,47 <b>A</b>
	HF	54,76 <b>bB</b>	52,01 <b>bA</b>	54,65 <b>cB</b>	54,09 <b>B</b>
	CTC	52,94 <b>ab</b>	51,09 <b>b</b>	46,38 <b>abc</b>	55,68
	PC	54,02 <sup>3</sup>	44,78 <b>abAB</b>	38,01 <b>aA</b>	50,29 <b>B</b>
	PO	46,98 <b>a</b>	44,73 <b>ab</b>	44,84 <b>abc</b>	52,78
	PA	46,28 <b>aA</b>	42,23 <b>aA</b>	43,58 <b>abA</b>	54,94 <b>B</b>
<b>b*</b> azul/amarilla	CT	25,86	29,30 <b>b</b>	26,58 <b>b</b>	30,10
	HC	29,61 <b>B</b>	23,70 <b>abA</b>	26,34 <b>bAB</b>	28,45 <b>B</b>
	HF	27,47 <b>B</b>	28,56 <b>bB</b>	19,56 <b>abA</b>	32,07 <b>C</b>
	CTC	30,39	28,68 <b>b</b>	20,50 <b>ab</b>	28,92
	PC	33,16 <sup>3</sup>	21,85 <b>abAB</b>	13,90 <b>aA</b>	30,21 <b>B</b>
	PO	25,10	21,53 <b>ab</b>	21,75 <b>ab</b>	31,19
	PA	24,37 <b>A</b>	18,04 <b>aA</b>	21,05 <b>abA</b>	34,35 <b>B</b>
<b>C*</b> croma	CT	63,00 <b>bc</b>	59,59 <b>b</b>	58,58 <b>b</b>	60,59
	HC	63,48 <b>cB</b>	51,98 <b>abA</b>	56,38 <b>bA</b>	57,07 <b>A</b>
	HF	61,25 <b>abcB</b>	59,33 <b>bA</b>	58,06 <b>bA</b>	62,88 <b>C</b>
	CTC	61,04 <b>abc</b>	58,61 <b>b</b>	50,73 <b>ab</b>	62,90
	PC	63,39 <sup>3</sup>	49,88 <b>abAB</b>	40,50 <b>aA</b>	58,67 <b>B</b>
	PO	53,29 <b>ab</b>	49,75 <b>ab</b>	49,88 <b>ab</b>	61,33
	PA	52,34 <b>aA</b>	45,92 <b>aA</b>	48,40 <b>abA</b>	64,80 <b>B</b>
<b>H*</b> tonalidad	CT	24,23	29,48 <b>b</b>	26,96 <b>b</b>	29,57
	HC	27,80 <b>A</b>	27,10 <b>abA</b>	27,83 <b>bA</b>	29,88 <b>B</b>
	HF	26,64 <b>B</b>	28,78 <b>abBC</b>	19,68 <b>aA</b>	30,66 <b>C</b>
	CTC	29,87	29,17 <b>ab</b>	23,49 <b>ab</b>	27,47
	PC	31,55 <sup>3</sup>	25,74 <b>abAB</b>	19,95 <b>aA</b>	30,97 <b>B</b>
	PO	27,91	25,20 <b>ab</b>	25,62 <b>b</b>	30,42
	PA	27,58 <b>AB</b>	23,13 <b>aA</b>	25,77 <b>bA</b>	32,02 <b>B</b>
<b>S*</b> saturación	CT	2,17 <b>aA</b>	3,00 <b>aB</b>	2,58 <b>abAB</b>	2,75 <b>AB</b>
	HC	2,51 <b>aA</b>	3,66 <b>abC</b>	2,95 <b>abAB</b>	3,01 <b>B</b>
	HF	2,33 <b>aB</b>	2,90 <b>aC</b>	1,81 <b>aA</b>	2,40 <b>BC</b>
	CTC	2,93 <b>ab</b>	3,25 <b>ab</b>	3,56 <b>b</b>	2,45
	PC	3,02 <sup>3</sup>	3,93 <b>abAB</b>	5,08 <b>cB</b>	3,26 <b>A</b>
	PO	3,57 <b>b</b>	4,10 <b>ab</b>	3,88 <b>bc</b>	3,05
	PA	3,71 <b>bB</b>	4,38 <b>bB</b>	3,88 <b>bcB</b>	2,82 <b>A</b>

<sup>1</sup> CT, Calcixerepts típico; HC, Haploxerepts cálcico; HF, Haploxerepts fluvéntico; CTC, Calcixerepts típico fase Carbonática; PC, Palaxerepts cálcico; PO, Palaxerepts petrocálcico; PA, Palaxerepts petrocálcico.

<sup>2</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

<sup>3</sup> PC 2010 n=1

Anexo I, Tabla 7. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
GA°	CT	12,40±1,21	13,57±0,15 <b>ab</b> ,	12,73±0,20 <b>b</b> ,	12,54±0,40 <b>a</b> ,
	HC	13,40±0,42 <b>,AB</b>	14,27±0,15 <b>ab,C</b>	12,78±0,35 <b>bc,A</b>	13,46±0,31 <b>abc,B</b>
	HF	13,70±0,00 <b>,B</b>	13,70±0,28 <b>ab,B</b>	12,01±0,28 <b>a,A</b>	13,76±0,27 <b>bc,B</b>
	CTC	13,75±0,49	13,30±0,14 <b>a</b> ,	12,73±0,01 <b>b</b> ,	13,78±0,80 <b>bc</b> ,
	PC	12,50*	14,25±0,78 <b>b</b> ,	13,42±0,06 <b>c</b> ,	14,04±0,37 <b>c</b> ,
	PO	13,30±0,00 <b>,AB</b>	14,03±0,59 <b>ab,B</b>	13,05±0,49 <b>bc,A</b>	13,51±0,37 <b>abc,AB</b>
	PA	13,40±0,42	13,75±0,35 <b>ab</b> ,	12,71±0,20 <b>b</b> ,	12,87±0,84 <b>ab</b> ,
Extracto seco	CT	21,57±1,86 <b>a,A</b>	27,13±0,93 <b>b,B</b>	25,00±2,00 <b>,B</b>	22,00±1,00 <b>a,A</b>
	HC	23,60±0,14 <b>ab,A</b>	28,47±0,90 <b>b,B</b>	25,00±1,00 <b>,A</b>	24,67±0,58 <b>a,A</b>
	HF	25,55±1,06 <b>b,AB</b>	24,75±0,78 <b>a,A</b>	27,00±1,41 <b>,AB</b>	30,50±3,54 <b>b,B</b>
	CTC	23,85±0,49 <b>ab</b> ,	26,70±0,57 <b>b</b> ,	25,50±2,12 <b>,</b>	24,50±2,12 <b>a</b> ,
	PC	22,70*	28,40±0,71 <b>b,C</b>	27,00±0,00 <b>,B</b>	25,00±0,00 <b>a,A</b>
	PO	23,43±0,92 <b>ab,A</b>	27,00±0,66 <b>b,B</b>	25,33±1,53 <b>,B</b>	23,33±0,58 <b>a,A</b>
	PA	24,65±2,76 <b>ab</b> ,	27,75±1,63 <b>b</b> ,	24,50±2,12	24,00±1,41 <b>a</b> ,
pH	CT	3,70±0,23	3,90±0,24 <b>b</b> ,	3,94±0,25	3,57±0,16 <b>a</b>
	HC	3,73±0,04 <b>,A</b>	3,91±0,04 <b>b,B</b>	3,91±0,04 <b>,B</b>	3,64±0,06 <b>ab,A</b>
	HF	3,93±0,00	3,89±0,13 <b>b</b> ,	3,88±0,04	3,82±0,06 <b>b</b> ,
	CTC	3,82±0,04 <b>,B</b>	3,75±0,04 <b>ab,AB</b>	3,98±0,00 <b>,C</b>	3,65±0,06 <b>ab,A</b>
	PC	3,57*	3,68±0,13 <b>ab,AB</b>	3,98±0,02 <b>,B</b>	3,56±0,11 <b>a,A</b>
	PO	3,64±0,15 <b>,AB</b>	3,63±0,18 <b>ab,AB</b>	3,87±0,20 <b>,B</b>	3,51±0,05 <b>a,A</b>
	PA	3,58±0,28	3,46±0,28 <b>a</b> ,	3,75±0,26	3,43±0,16 <b>a</b> ,
Acidez total (g/l)	CT	4,71±0,38	4,90±0,80	4,41±0,88	5,72±0,63
	HC	5,02±0,21 <b>,B</b>	5,04±0,11 <b>,B</b>	4,40±0,15 <b>,A</b>	5,73±0,24 <b>,C</b>
	HF	4,82±0,23 <b>,A</b>	4,95±0,00 <b>,A</b>	4,76±0,16 <b>,A</b>	6,30±0,53 <b>,B</b>
	CTC	4,56±0,13 <b>,A</b>	4,97±0,40 <b>,A</b>	4,67±0,19 <b>,A</b>	6,40±0,23 <b>,B</b>
	PC	5,36*	5,76±0,35 <b>,B</b>	4,71±0,29 <b>,A</b>	6,36±0,02 <b>,B</b>
	PO	5,18±0,73	6,00±1,63	4,76±0,83	6,56±0,87
	PA	5,31±0,56	6,11±0,91	4,97±0,35	6,73±0,88
Ác. tartárico (g/l)	CT	2,20±0,48 <b>ab</b> ,	1,82±0,54 <b>ab</b> ,	1,63±0,19	2,31±0,58 <b>b</b> ,
	HC	1,82±0,29 <b>ab</b> ,	1,96±0,09 <b>ab</b> ,	1,83±0,19	1,96±0,11 <b>ab</b> ,
	HF	1,53±0,04 <b>a,AB</b>	1,99±0,48 <b>ab,B</b>	1,70±0,01 <b>,AB</b>	1,24±0,01 <b>a,A</b>
	CTC	1,91±0,24 <b>ab</b>	1,75±0,08 <b>a</b> ,	1,36±0,17	1,81±0,47 <b>ab</b> ,
	PC	2,72*	2,08±0,49 <b>ab</b> ,	1,63±0,30	2,22±0,51 <b>ab</b> ,
	PO	2,42±0,30 <b>b</b> ,	2,15±0,19 <b>ab</b> ,	1,74±0,30	2,29±0,54 <b>b</b> ,
	PA	2,62±0,51 <b>b</b> ,	2,72±0,64 <b>b</b> ,	1,82±0,33	2,63±0,53 <b>b</b> ,
K (mg/l)	CT	1154±290 <b>ab</b> ,	1704±251	1483±384	1179±187 <b>a</b> ,
	HC	1166±13 <b>ab,A</b>	1555±29 <b>,C</b>	1516±67 <b>,C</b>	1359±41 <b>a,B</b>
	HF	1517±103 <b>b</b> ,	1527±197	1590±110	1730±215 <b>b</b> ,
	CTC	1264±20 <b>ab,A</b>	1562±100 <b>,B</b>	1505±48 <b>,B</b>	1231±96 <b>a,A</b>
	PC	1100*	1504±93 <b>,B</b>	1523±35 <b>,B</b>	1198±33 <b>a,A</b>
	PO	1111±63 <b>ab,A</b>	1460±82 <b>,B</b>	1350±104 <b>,B</b>	1112±66 <b>a,A</b>
	PA	1083±271 <b>a</b> ,	1410±230	1245±263	1081±216 <b>a</b> ,
Ác. L-málico (mg/l)	CT	0,04±0,01 <b>,A</b>	0,06±0,04 <b>,A</b>	0,06±0,04 <b>,A</b>	0,20±0,05 <b>,B</b>
	HC	0,02±0,00 <b>,A</b>	0,03±0,02 <b>,A</b>	0,04±0,01 <b>,A</b>	0,17±0,06 <b>,B</b>
	HF	0,03±0,01	0,11±0,08	0,19±0,11	0,27±0,29
	CTC	0,06±0,04 <b>,A</b>	0,04±0,01 <b>,A</b>	0,04±0,04 <b>,A</b>	0,19±0,05 <b>,B</b>
	PC	0,02*	0,26±0,04	0,08±0,02	0,26±0,13
	PO	0,14±0,16	0,59±0,94	0,11±0,12	0,31±0,17
	PA	0,04±0,01	0,24±0,26	0,10±0,07	0,19±0,13

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

\*PC 2010 n=1

Anexo I, Tabla 8. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
Ác. Láctico (mg/l)	CT	1,70±0,63 <b>ab,</b>	1,98±0,50	1,52±0,36 <b>ab,</b>	2,15±0,21
	HC	1,64±0,03 <b>ab,A</b>	1,56±0,09 <b>,A</b>	1,49±0,29 <b>ab,A</b>	2,25±0,11 <b>,B</b>
	HF	2,34±0,25 <b>b,AB</b>	1,55±0,61 <b>,A</b>	1,96±0,53 <b>b,AB</b>	3,58±0,62 <b>,B</b>
	CTC	1,90±0,12 <b>ab,BC</b>	1,70±0,00 <b>,AB</b>	1,41±0,21 <b>ab,A</b>	2,20±0,12 <b>,C</b>
	PC	1,56*	1,51±0,10	1,64±0,02 <b>ab,</b>	1,59±0,42
	PO	1,44±0,17 <b>a,</b>	1,22±0,58	1,32±0,06 <b>a,</b>	1,74±0,46
	PA	1,61±0,35 <b>ab,</b>	1,32±0,27	1,26±0,05 <b>a,</b>	1,70±0,23
Acidez volátil (g acético /litro)	CT	0,33±0,05 <b>,B</b>	0,41±0,10 <b>ab,B</b>	0,34±0,03 <b>,B</b>	0,19±0,01 <b>a,A</b>
	HC	0,34±0,01 <b>,B</b>	0,50±0,05 <b>b,C</b>	0,43±0,07 <b>,C</b>	0,20±0,01 <b>ab,A</b>
	HF	0,38±0,03	0,37±0,05 <b>a,</b>	0,45±0,06	0,31±0,05 <b>c,</b>
	CTC	0,32±0,01 <b>,AB</b>	0,41±0,01 <b>ab,C</b>	0,36±0,01 <b>,BC</b>	0,28±0,04 <b>abc,A</b>
	PC	0,33*	0,52±0,04 <b>b,B</b>	0,36±0,02 <b>,A</b>	0,32±0,07 <b>c,A</b>
	PO	0,33±0,04 <b>,AB</b>	0,40±0,02 <b>ab,B</b>	0,37±0,08 <b>,AB</b>	0,29±0,07 <b>bc,A</b>
	PA	0,34±0,04 <b>,B</b>	0,37±0,00 <b>a,B</b>	0,32±0,03 <b>,AB</b>	0,26±0,00 <b>abc,A</b>
Ca (mg/l)	CT	54,48±5,14	51,94±10,29	58,75±4,18 <b>ab,</b>	62,87±3,02 <b>ab,</b>
	HC	52,62±9,14 <b>,A</b>	55,77±4,53 <b>,A</b>	67,92±3,74 <b>b,B</b>	63,38±4,88 <b>ab,AB</b>
	HF	59,91±0,64 <b>,AB</b>	53,66±15,61 <b>,AB</b>	51,97±1,42 <b>a,A</b>	85,84±17,24 <b>b,B</b>
	CTC	59,39±4,74	56,48±8,99	64,33±7,62 <b>ab</b>	60,03±24,31 <b>a,</b>
	PC	82,91*	65,75±13,72	63,87±6,24 <b>ab,</b>	58,39±5,51 <b>a,</b>
	PO	63,25±11,73	61,93±9,26	62,64±9,36 <b>ab,</b>	67,31±9,00 <b>ab,</b>
	PA	68,04±2,97	56,34±2,03	71,21±11,25 <b>b,</b>	60,96±3,15 <b>a,</b>
SO <sub>2</sub> Libre (mg/l)	CT	32±5 <b>,A</b>	42±4 <b>,B</b>	31±5 <b>,A</b>	32±3 <b>,A</b>
	HC	30±1	38±6	35±4	33±5
	HF	32±5 <b>,AB</b>	41±3 <b>,B</b>	33±1 <b>,B</b>	23±5 <b>,A</b>
	CTC	36±6	42±6	38±10	33±8
	PC	31*	56±14	38±5	32±6
	PO	38±6	45±12	41±4	31±7
	PA	39±6	34±21	39±4	29±5
SO <sub>2</sub> Total (mg/l)	CT	61±2 <b>,A</b>	77±4 <b>,B</b>	67±3 <b>,A</b>	61±10 <b>,A</b>
	HC	70±14	73±12	70±6	63±8
	HF	73±9	73±5	70±0	59±2
	CTC	68±2	75±2	65±7	70±9
	PC	60*	94±20	67±14	57±14
	PO	70±3 <b>,A</b>	95±13 <b>,B</b>	75±7 <b>,A</b>	58±10 <b>,A</b>
	PA	78±16	72±20	73±5	60±14
A420 (nm)	CT	1,691±0,430 <b>a,A</b>	2,559±0,410 <b>a,B</b>	2,096±0,066 <b>ab,AB</b>	2,195±0,302 <b>ab,AB</b>
	HC	1,987±0,005 <b>a,A</b>	3,225±0,290 <b>ab,B</b>	2,352±0,240 <b>abc,A</b>	2,492±0,270 <b>ab,A</b>
	HF	1,961±0,025 <b>a,AB</b>	2,354±0,276 <b>a,B</b>	1,526±0,154 <b>a,A</b>	2,148±0,074 <b>ab,B</b>
	CTC	2,369±0,231 <b>a,</b>	2,763±0,597 <b>a,</b>	2,827±1,189 <b>bc,</b>	2,001±0,607 <b>a,</b>
	PC	2,471*	3,688±0,960 <b>ab,</b>	4,343±0,348 <b>d,</b>	3,037±0,175 <b>b,</b>
	PO	3,138±0,501 <b>b,</b>	3,819±1,109 <b>ab,</b>	3,366±0,578 <b>cd,</b>	2,588±0,693 <b>ab,</b>
	PA	3,417±0,175 <b>b,B</b>	4,446±0,581 <b>b,C</b>	3,317±0,043 <b>cd,B</b>	2,271±0,412 <b>ab,A</b>
A520 (nm)	CT	2,835±0,889 <b>a,</b>	4,025±1,159 <b>a,</b>	3,086±0,423 <b>ab,</b>	3,995±0,819 <b>abc,</b>
	HC	3,269±0,141 <b>a,A</b>	5,056±0,579 <b>a,B</b>	3,595±0,353 <b>ab,A</b>	4,206±0,492 <b>abc,AB</b>
	HF	2,756±0,087 <b>a,AB</b>	3,785±0,729 <b>a,B</b>	2,084±0,202 <b>a,A</b>	2,802±0,168 <b>a,AB</b>
	CTC	4,031±0,712 <b>ab,</b>	4,606±1,162 <b>a,</b>	4,243±1,893 <b>bc,</b>	3,390±1,359 <b>ab,</b>
	PC	4,847*	6,178±2,054 <b>ab,</b>	6,919±0,361 <b>d,</b>	5,668±0,146 <b>c,</b>
	PO	5,885±1,203 <b>bc,</b>	7,037±2,966 <b>ab,</b>	5,683±1,236 <b>cd,</b>	4,967±1,578 <b>bc,</b>
	PA	7,014±1,004 <b>c,AB</b>	9,261±2,734 <b>b,B</b>	5,851±0,259 <b>cd,AB</b>	4,447±0,575 <b>abc,A</b>

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

\*PC 2010 n=1

Anexo I, Tabla 9. Composición química de los vinos elaborados en la bodega experimental de cv. Tempranillo con relación al subgrupo de suelos y para el periodo 2010-2013.

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
A620 (nm)	CT	0,542±0,150 a,A	0,884±0,154 a,B	0,757±0,058 ab,AB	0,736±0,136 ,AB
	HC	0,647±0,001 a,A	1,215±0,105 ab,C	0,888±0,140 abc,B	0,862±0,106 ,AB
	HF	0,639±0,030 a,A	0,840±0,099 a,B	0,500±0,059 a,A	0,624±0,003 ,A
	CTC	0,830±0,084 ab,	0,987±0,287 a,	1,130±0,552 bc,	0,616±0,223
	PC	0,805*	1,342±0,363 ab,AB	1,735±0,191 d,B	0,931±0,102 ,A
	PO	1,117±0,203 bc,	1,445±0,481 ab,	1,306±0,279 cd,	0,843±0,298
	PA	1,184±0,203 c,B	1,654±0,122 b,C	1,272±0,080 bcd,BC	0,690±0,151 ,A
Intensidad de color	CT	5,068±1,390 a,	7,468±1,644 a,	5,939±0,422 ab,	6,927±1,043 ab,
	HC	5,903±0,135 a,A	9,496±0,974 ab,B	6,835±0,729 ab,A	7,557±0,830 ab,A
	HF	5,355±0,143 a,AB	6,979±1,104 a,B	4,110±0,415 a,A	5,570±0,099 a,AB
	CTC	7,229±1,027 a,	8,356±2,046 a,	8,199±3,633 bc,	6,005±2,185 a,
	PC	8,123*	11,208±3,378 ab,	12,997±0,899 d,	9,635±0,417 b,
	PO	10,140±1,875 b,	12,301±4,555 ab,	10,355±2,007 cd,	8,397±2,563 ab,
	PA	11,614±0,626 b,AB	15,360±3,437 b,B	10,439±0,136 cd,AB	7,405±1,138 ab,A
I.P.T. (Abs. 280 nm)	CT	34,32±5,93 a,A	47,29±6,05 a,B	39,78±4,70 ab,AB	39,14±1,30 ,AB
	HC	39,01±0,68 ab,A	56,31±3,02 ab,C	44,94±2,30 abc,AB	45,85±4,03 ,B
	HF	37,54±1,46 ab,	45,90±6,45 a,	36,92±3,27 c,	44,12±4,45
	CTC	46,64±4,04 bc,	52,87±5,73 ab,	53,22±15,73 bcd,	39,44±9,34
	PC	45,04*	61,26±2,07 b,B	64,95±1,03 d,B	46,77±6,21 ,A
	PO	53,33±3,12 c,AB	59,79±5,68 b,B	58,75±8,59 cd,B	46,67±5,95 ,A
	PA	51,87±6,60 c,B	59,84±2,90 b,B	53,12±2,96 bcd,B	39,27±4,00 ,A
Tonalidad	CT	0,607±0,105 ab,	0,652±0,105 b,	0,687±0,089 bc,	0,560±0,092
	HC	0,609±0,028 ab,AB	0,639±0,017 ab,AB	0,654±0,014 abc,B	0,594±0,035 ,A
	HF	0,712±0,013 b,AB	0,627±0,047 ab,A	0,733±0,004 c,AB	0,769±0,073 ,B
	CTC	0,592±0,047 ab,	0,603±0,023 ab,	0,671±0,019 abc,	0,603±0,063
	PC	0,510*	0,605±0,046 ab,	0,628±0,018 abc,	0,536±0,017
	PO	0,537±0,036 a,	0,561±0,065 ab,	0,597±0,055 ab,	0,526±0,023
	PA	0,494±0,096 a,	0,493±0,083 a,	0,568±0,033 a,	0,509±0,027
Antocianos (mg/l)	CT	601±161 a,	769±105	665±67 ab,	626±65
	HC	614±40 a,A	875±36 ,C	695±21 ab,B	685±38 ,B
	HF	702±43 ab,B	731±54 ,B	538±37 a,A	480±52 ,A
	CTC	820±107 ab,	775±112	862±189 bc,	603±207
	PC	724*	1003±98 ,B	1028±70 c,B	674±64 ,A
	PO	823±77 ab,AB	877±152 ,B	1271±150 d,C	611±75 ,A
	PA	892±183 b,	834±254	829±198 bc,	549±186

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

\*PC 2010 n=1

Anexo I, Tabla 10. Parámetros de color CIELab de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental, con relación al suelo de cultivo y al año (2010-2013).

Parámetro	Código subgrupo	2010	2011	2012	2013
L* claridad	CT	30,02±6,72 <b>b,B</b>	20,17±3,23 <b>bc,A</b>	22,73±1,11 <b>c,AB</b>	22,23±3,52 <b>,AB</b>
	HC	25,30±0,14 <b>b,C</b>	14,23±1,45 <b>abc,A</b>	19,30±3,31 <b>bc,B</b>	19,07±2,08 <b>,B</b>
	HF	26,30±0,85 <b>b,B</b>	20,60±2,40 <b>c,A</b>	32,35±2,90 <b>d,C</b>	26,20±0,28 <b>,B</b>
	CTC	20,90±1,98 <b>ab,</b>	18,45±5,30 <b>bc,</b>	16,55±10,68 <b>abc</b>	26,90±8,06
	PC	21,00*	13,05±4,03 <b>ab,AB</b>	8,10±1,84 <b>a,A</b>	18,05±1,34 <b>,B</b>
	PO	15,10±3,84 <b>a,</b>	12,77±4,22 <b>ab,</b>	13,23±3,73 <b>ab,</b>	20,77±5,44
	PA	14,30±3,25 <b>a,A</b>	10,50±0,28 <b>a,A</b>	12,50±0,57 <b>ab,A</b>	23,20±3,68 <b>,B</b>
a* verde/roja	CT	57,12±2,49 <b>b,</b>	51,88±2,49 <b>b,</b>	52,18±1,84 <b>bc,</b>	52,48±4,93
	HC	56,16±0,23 <b>b,B</b>	46,26±1,59 <b>ab,A</b>	49,85±3,94 <b>bc,A</b>	49,47±1,89 <b>,A</b>
	HF	54,76±0,09 <b>b,B</b>	52,01±1,18 <b>b,A</b>	54,65±0,16 <b>c,B</b>	54,09±0,25 <b>,B</b>
	CTC	52,94±1,34 <b>ab,</b>	51,09±5,78 <b>b,</b>	46,38±10,73 <b>abc,</b>	55,68±3,38
	PC	54,02*	44,78±4,58 <b>ab,AB</b>	38,01±2,96 <b>a,A</b>	50,29±0,69 <b>,B</b>
	PO	46,98±4,57 <b>a,</b>	44,73±5,22 <b>ab,</b>	44,84±4,37 <b>abc,</b>	52,78±4,97
	PA	46,28±4,43 <b>a,A</b>	42,23±1,05 <b>a,A</b>	43,58±0,28 <b>ab,A</b>	54,94±3,79 <b>,B</b>
b* azul/amarilla	CT	25,86±7,63	29,30±0,93 <b>b,</b>	26,58±2,55 <b>b,</b>	30,10±7,12
	HC	29,61±0,40 <b>,B</b>	23,70±1,87 <b>ab,A</b>	26,34±2,44 <b>b,AB</b>	28,45±2,10 <b>,B</b>
	HF	27,47±0,66 <b>,B</b>	28,56±0,71 <b>b,B</b>	19,56±2,11 <b>ab,A</b>	32,07±0,92 <b>,C</b>
	CTC	30,39±0,25	28,68±5,76 <b>b,</b>	20,50±7,36 <b>ab,</b>	28,92±5,32
	PC	33,16*	21,85±6,05 <b>ab,AB</b>	13,90±3,21 <b>a,A</b>	30,21±1,96 <b>,B</b>
	PO	25,10±5,10	21,53±6,83 <b>ab,</b>	21,75±5,12 <b>ab,</b>	31,19±5,43
	PA	24,37±5,54 <b>,A</b>	18,04±0,60 <b>a,A</b>	21,05±0,95 <b>ab,A</b>	34,35±2,06 <b>,B</b>
C* cromas	CT	63,00±2,93 <b>bc,</b>	59,59±2,44 <b>b</b>	58,58±2,55 <b>b,</b>	60,59±7,57
	HC	63,48±0,40 <b>c,B</b>	51,98±2,27 <b>ab,A</b>	56,38±4,62 <b>b,A</b>	57,07±2,66 <b>,A</b>
	HF	61,25±0,21 <b>abc,B</b>	59,33±0,69 <b>b,A</b>	58,06±0,57 <b>b,A</b>	62,88±0,25 <b>,C</b>
	CTC	61,04±1,05 <b>abc,</b>	58,61±7,86 <b>b,</b>	50,73±12,78 <b>ab,</b>	62,90±0,55
	PC	63,39*	49,88±6,76 <b>ab,AB</b>	40,50±3,88 <b>a,A</b>	58,67±1,60 <b>,B</b>
	PO	53,29±6,46 <b>ab,</b>	49,75±7,56 <b>ab,</b>	49,88±6,18 <b>ab,</b>	61,33±7,01
	PA	52,34±6,49 <b>a,A</b>	45,92±1,20 <b>a,A</b>	48,40±0,67 <b>ab,A</b>	64,80±4,31 <b>,B</b>
H* tonalidad	CT	24,23±6,80	29,48±1,01 <b>b,</b>	26,96±1,77 <b>b,</b>	29,57±3,97
	HC	27,80±0,22 <b>,A</b>	27,10±1,01 <b>ab,A</b>	27,83±0,36 <b>b,A</b>	29,88±0,94 <b>,B</b>
	HF	26,64±0,59 <b>,B</b>	28,78±1,15 <b>ab,BC</b>	19,68±2,02 <b>a,A</b>	30,66±0,83 <b>,C</b>
	CTC	29,87±0,83	29,17±2,17 <b>ab,</b>	23,49±2,80 <b>ab,</b>	27,47±5,73
	PC	31,55*	25,74±3,98 <b>ab,AB</b>	19,95±2,84 <b>a,A</b>	30,97±1,29 <b>,B</b>
	PO	27,91±2,43	25,20±5,01 <b>ab,</b>	25,62±3,04 <b>b,</b>	30,42±2,21
	PA	27,58±3,13 <b>,AB</b>	23,13±0,18 <b>a,A</b>	25,77±0,88 <b>b,A</b>	32,02±0,24 <b>,B</b>
S* saturación	CT	2,17±0,48 <b>a,A</b>	3,00±0,37 <b>a,B</b>	2,58±0,10 <b>ab,AB</b>	2,75±0,30 <b>,AB</b>
	HC	2,51±0,03 <b>a,A</b>	3,66±0,20 <b>ab,C</b>	2,95±0,28 <b>ab,AB</b>	3,01±0,23 <b>,B</b>
	HF	2,33±0,08 <b>a,B</b>	2,90±0,30 <b>a,C</b>	1,81±0,18 <b>a,A</b>	2,40±0,01 <b>,BC</b>
	CTC	2,93±0,23 <b>ab</b>	3,25±0,51 <b>ab,</b>	3,56±1,52 <b>b,</b>	2,45±0,71
	PC	3,02*	3,93±0,69 <b>ab,AB</b>	5,08±0,67 <b>c,B</b>	3,26±0,15 <b>,A</b>
	PO	3,57±0,42 <b>b,</b>	4,10±0,95 <b>ab,</b>	3,88±0,57 <b>bc,</b>	3,05±0,54
	PA	3,71±0,39 <b>b,B</b>	4,38±0,01 <b>b,B</b>	3,88±0,12 <b>bc,B</b>	2,82±0,26 <b>,A</b>

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

\*PC 2010 n=1

Anexo I, Tabla 11. Composición aromática (alcoholes) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Metanol	CT	108,5±30,2 ,B	79,0±13,3 ab,B	24,6±2,4 a,A
	HC	113,0±23,2 ,C	75,2±11,7 ab,B	34,2±1,6 cd,A
	HF	121,6±8,8 ,B	99,1±10,1 b,B	36,4±1,5 d,A
	CTC	109,0±8,6 ,B	61,2±35,3 a,AB	30,3±1,7 bc,A
	PC	114,6±30,4 ,B	61,3±2,5 a,AB	31,9±0,3 bc,A
	PO	84,0±16,5 ,B	61,4±10,5 a,B	30,5±2,7 bc,A
	PA	97,4±16,4 ,B	50,3±23,7 a,AB	29,3±2,8 b,A
1-Propanol	CT	24,6±5,0 ,B	29,9±6,5 ,B	5,96±1,59 ab,A
	HC	26,0±2,8 ,B	26,6±7,3 ,B	6,21±0,92 ab,A
	HF	22,1±1,3 ,B	22,2±2,2 ,B	8,00±1,13 b,A
	CTC	22,2±1,4 ,B	24,4±4,3 ,B	5,52±0,89 ab,A
	PC	21,1±3,9	22,5±7,8	6,54±2,36 ab,
	PO	23,4±10,5	37,3±32,1	4,32±1,58 a,
	PA	23,1±11,6	33,1±13,5	5,70±2,16 ab,
Isobutanol	CT	48,8±11,3 ,B	45,8±2,9 ,B	13,7±0,7 a,A
	HC	54,4±2,3 ,C	48,6±3,6 ,B	16,6±1,3 a,A
	HF	47,2±7,3 ,B	52,4±2,7 ,B	24,3±5,4 b,A
	CTC	54,8±5,1 ,B	48,0±5,8 ,B	18,1±5,9 a,A
	PC	52,3±5,4 ,B	51,6±11,2 ,B	17,0±1,6 a,A
	PO	47,5±5,6 ,B	41,4±7,6 ,B	16,6±2,0 a,A
	PA	43,5±5,3 ,B	40,2±1,9 ,B	15,8±1,0 a,A
1-Butanol	CT	1,18±0,18 ,B	0,97±0,12 ab,B	0,31±0,02 ab,A
	HC	1,36±0,09 ,C	1,08±0,15 b,B	0,34±0,04 ab,A
	HF	1,12±0,04 ,C	0,73±0,00 a,B	0,37±0,01 b,A
	CTC	1,05±0,01 ,B	0,91±0,09 ab,B	0,35±0,17 ab,A
	PC	1,28±0,11 ,B	1,17±0,15 b,B	0,28±0,05 ab,A
	PO	1,14±0,18 ,B	0,98±0,16 ab,B	0,21±0,06 a,A
	PA	1,17±0,15 ,B	1,11±0,08 b,B	0,26±0,03 ab,A
Alcoholes amílicos	CT	317,0±19,9 ,B	302,9±31,2 ,B	75,0±7,1 a,A
	HC	324,2±8,9 ,B	319,8±16,5 ,B	89,2±2,1 bc,A
	HF	317,0±34,3 ,B	322,5±6,5 ,B	96,9±3,3 c,A
	CTC	333,4±8,0 ,B	302,8±41,3 ,B	86,2±2,7 abc,A
	PC	304,2±46,4 ,B	346,8±69,6 ,B	87,2±5,1 abc,A
	PO	309,4±43,5 ,B	291,6±40,3 ,B	83,2±9,7 ab,A
	PA	285,2±39,1 ,B	282,1±28,6 ,B	80,0±0,3 ab,A
1-Hexanol	CT	2,44±0,35 ab,B	3,12±0,71 ,B	0,50±0,06 a,A
	HC	2,23±0,19 ab,B	3,14±0,17 ,C	0,61±0,05 ab,A
	HF	2,88±0,38 b,B	3,17±0,31 ,B	0,60±0,06 ab,A
	CTC	2,68±0,14 ab,B	2,88±0,86 ,B	0,49±0,18 a,A
	PC	1,79±0,44 a,B	3,28±0,06 ,C	0,73±0,08 b,A
	PO	1,85±0,70 a,B	2,48±0,23 ,B	0,58±0,08 ab,A
	PA	1,88±0,22 a,B	3,12±0,24 ,C	0,51±0,16 a,A
Cis 3-hexenol	CT	0,35±0,07 ab,	0,41±0,30	0,14±0,04
	HC	0,22±0,05 a,A	0,43±0,14 ,B	0,17±0,02 ,A
	HF	0,36±0,02 ab,B	0,44±0,01 ,C	0,15±0,01 ,A
	CTC	0,42±0,13 b,	0,46±0,17	0,16±0,05
	PC	0,29±0,08 ab,A	0,67±0,07 ,B	0,17±0,04 ,A
	PO	0,31±0,04 ab,B	0,50±0,07 ,C	0,19±0,04 ,A
	PA	0,28±0,01 ab,B	0,56±0,02 ,C	0,14±0,03 ,A

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).

Anexo I, Tabla 12. Composición aromática (alcoholes y esterés) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Metionol	CT	4,76±0,66 <b>bc,C</b>	2,58±0,09 <b>ab,B</b>	0,81±0,22 , <b>A</b>
	HC	4,43±0,31 <b>abc,C</b>	2,68±0,45 <b>ab,B</b>	0,98±0,07 , <b>A</b>
	HF	5,43±0,35 <b>c,C</b>	2,76±0,28 <b>b,B</b>	0,83±0,13 , <b>A</b>
	CTC	5,17±0,54 <b>bc,C</b>	2,47±0,67 <b>ab,B</b>	0,79±0,03 , <b>A</b>
	PC	4,06±0,74 <b>abc,C</b>	2,20±0,43 <b>ab,A</b>	0,71±0,04 , <b>A</b>
	PO	3,27±0,89 <b>a,B</b>	1,72±0,43 <b>a,A</b>	0,69±0,29 , <b>A</b>
	PA	3,95±0,66 <b>ab,B</b>	2,26±0,55 <b>ab,A</b>	0,75±0,08 , <b>A</b>
Alcohol bencílico	CT	0,14±0,03 <b>ab,B</b>	0,08±0,03 , <b>A</b>	0,07±0,01 <b>a,A</b>
	HC	0,15±0,03 <b>ab,B</b>	0,06±0,02 , <b>A</b>	0,09±0,02 <b>a,A</b>
	HF	0,17±0,01 <b>b,B</b>	0,08±0,02 , <b>A</b>	0,14±0,02 <b>b,B</b>
	CTC	0,12±0,05 <b>ab,</b>	0,07±0,01	0,08±0,02 <b>a,</b>
	PC	0,15±0,03 <b>ab,B</b>	0,07±0,00 , <b>A</b>	0,07±0,01 <b>a,A</b>
	PO	0,10±0,02 <b>a,B</b>	0,06±0,00 , <b>A</b>	0,05±0,01 <b>a,A</b>
	PA	0,10±0,00 <b>a,</b>	0,07±0,02	0,06±0,01 <b>a,</b>
2-Fenil etanol	CT	61,5±12,0 , <b>B</b>	45,4±6,7 , <b>B</b>	14,7±2,9 , <b>A</b>
	HC	64,5±3,4 , <b>C</b>	47,4±9,1 , <b>B</b>	18,3±2,9 , <b>A</b>
	HF	56,9±2,5 , <b>B</b>	51,2±7,2 , <b>B</b>	16,2±1,9 , <b>A</b>
	CTC	62,8±13,0 , <b>B</b>	54,9±5,6 , <b>B</b>	17,5±0,7 , <b>A</b>
	PC	60,1±12,3 , <b>B</b>	58,9±17,5 , <b>AB</b>	18,5±5,9 , <b>A</b>
	PO	50,0±12,3	46,3±28,1	17,3±1,4
	PA	58,8±22,6 , <b>B</b>	42,2±0,7 , <b>AB</b>	15,4±0,4 , <b>A</b>
Acetato de etilo	CT	45,2±7,9 , <b>B</b>	51,7±7,6 , <b>B</b>	12,1±0,3 <b>ab,A</b>
	HC	42,7±3,0 , <b>B</b>	61,4±18,6 , <b>B</b>	11,8±0,6 <b>ab,A</b>
	HF	43,6±0,4 , <b>AB</b>	54,3±18,0 , <b>B</b>	12,6±0,4 <b>b,A</b>
	CTC	40,0±1,7 , <b>B</b>	53,5±1,5 , <b>C</b>	11,1±1,2 <b>ab,A</b>
	PC	43,5±1,3 , <b>B</b>	47,4±0,6 , <b>C</b>	11,7±1,3 <b>ab,A</b>
	PO	45,1±6,6 , <b>B</b>	51,0±16,3 , <b>B</b>	10,5±0,4 <b>a,A</b>
	PA	34,4±5,5 , <b>AB</b>	58,7±12,2 , <b>B</b>	10,6±1,3 <b>a,A</b>
Acetato de isoamilo	CT	1,61±0,33 , <b>B</b>	1,82±0,53 , <b>B</b>	0,64±0,26 <b>ab,A</b>
	HC	1,35±0,19 , <b>B</b>	1,64±0,20 , <b>B</b>	0,73±0,03 <b>b,A</b>
	HF	1,02±0,34 , <b>B</b>	1,16±0,06 , <b>B</b>	0,25±0,09 <b>a,A</b>
	CTC	1,53±0,04 , <b>B</b>	1,35±0,31 , <b>B</b>	0,59±0,00 <b>ab,A</b>
	PC	1,10±0,72	1,50±0,03	0,50±0,29 <b>ab,</b>
	PO	1,47±0,71	1,53±0,66	0,35±0,20 <b>ab,</b>
	PA	1,09±0,39	1,82±0,82	0,52±0,30 <b>ab,</b>
Acetato de hexilo	CT	0,04±0,01 , <b>B</b>	0,04±0,01 <b>ab,B</b>	0,01±0,01 , <b>A</b>
	HC	0,07±0,01 , <b>B</b>	0,02±0,01 <b>a,A</b>	0,01±0,00 , <b>A</b>
	HF	0,05±0,02 , <b>B</b>	0,02±0,00 <b>a,A</b>	0,01±0,00 , <b>A</b>
	CTC	0,05±0,03	0,03±0,01 <b>a,</b>	0,01±0,00
	PC	0,09±0,02 , <b>B</b>	0,03±0,00 <b>a,A</b>	0,01±0,00 , <b>A</b>
	PO	0,12±0,10	0,03±0,01 <b>a,</b>	0,01±0,00
	PA	0,07±0,02 , <b>B</b>	0,05±0,01 <b>b,AB</b>	0,01±0,00 , <b>A</b>
Acetato de 2-fenil etilo	CT	0,12±0,02 , <b>B</b>	0,09±0,03 , <b>B</b>	0,03±0,01 <b>ab,A</b>
	HC	0,12±0,02 , <b>B</b>	0,08±0,01 , <b>A</b>	0,05±0,01 <b>b,A</b>
	HF	0,07±0,02 , <b>B</b>	0,07±0,00 , <b>B</b>	0,01±0,00 <b>a,A</b>
	CTC	0,12±0,03	0,07±0,03	0,04±0,00 <b>b,</b>
	PC	0,08±0,04	0,10±0,02	0,03±0,01 <b>ab,</b>
	PO	0,10±0,02 , <b>B</b>	0,07±0,03 , <b>B</b>	0,03±0,01 <b>ab,A</b>
	PA	0,10±0,03	0,09±0,02	0,03±0,02 <b>ab,</b>

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Anexo I, Tabla 13. Composición aromática (ésteres) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Propionato de etilo	CT	0,03±0,00 ,A	0,15±0,01 ,B	0,03±0,00 a,A
	HC	0,03±0,00 ,A	0,14±0,01 ,B	0,03±0,00 ab,A
	HF	0,03±0,00 ,A	0,17±0,02 ,B	0,04±0,00 abc,A
	CTC	0,04±0,00 ,A	0,16±0,02 ,B	0,03±0,00 a,A
	PC	0,04±0,01 ,A	0,15±0,00 ,B	0,04±0,00 c,A
	PO	0,04±0,01 ,A	0,16±0,02 ,B	0,04±0,00 bc,A
	PA	0,03±0,00 ,A	0,18±0,04 ,B	0,03±0,00 ab,A
Etil 3-hidroxitirato	CT	0,64±0,09 ,B	0,70±0,11 abc,B	0,21±0,01 ,A
	HC	0,43±0,09 ,B	0,80±0,08 c,C	0,22±0,01 ,A
	HF	0,56±0,06 ,B	0,52±0,01 a,B	0,16±0,02 ,A
	CTC	0,61±0,20 ,B	0,81±0,02 c,B	0,19±0,04 ,A
	PC	0,43±0,12 ,AB	0,61±0,12 ab,B	0,17±0,06 ,A
	PO	0,52±0,21 ,B	0,75±0,09 bc,B	0,15±0,05 ,A
	PA	0,49±0,09 ,B	0,87±0,10 c,C	0,19±0,01 ,A
Isobutirato de etilo	CT	0,03±0,00 a,B	0,03±0,01 ,B	0,01±0,00 ,A
	HC	0,04±0,01 ab,B	0,04±0,00 ,B	0,01±0,00 ,A
	HF	0,03±0,01 a,B	0,03±0,00 ,B	0,01±0,00 ,A
	CTC	0,04±0,00 ab,B	0,04±0,01 ,B	0,01±0,00 ,A
	PC	0,05±0,00 ab,B	0,04±0,01 ,B	0,01±0,00 ,A
	PO	0,04±0,01 ab,B	0,04±0,01 ,AB	0,02±0,00 ,A
	PA	0,05±0,01 b,B	0,04±0,01 ,B	0,02±0,00 ,A
Butirato de etilo	CT	0,23±0,05 ,AB	0,44±0,19 ,B	0,10±0,01 ,A
	HC	0,21±0,02 ,B	0,36±0,05 ,C	0,09±0,01 ,A
	HF	0,23±0,00 ,B	0,39±0,02 ,C	0,08±0,01 ,A
	CTC	0,22±0,04 ,B	0,41±0,02 ,C	0,08±0,01 ,A
	PC	0,21±0,01 ,B	0,33±0,02 ,C	0,07±0,03 ,A
	PO	0,25±0,09 ,B	0,40±0,13 ,B	0,07±0,02 ,A
	PA	0,19±0,08 ,AB	0,48±0,15 ,B	0,08±0,02 ,A
Hexanoato de etilo	CT	0,23±0,05 ,B	0,25±0,03 ab,B	0,12±0,02 b,A
	HC	0,21±0,02 ,B	0,25±0,04 ab,B	0,12±0,02 b,A
	HF	0,21±0,02 ,B	0,22±0,01 ab,B	0,08±0,01 a,A
	CTC	0,21±0,04 ,B	0,24±0,00 ab,B	0,10±0,00 ab,A
	PC	0,19±0,02 ,B	0,20±0,01 a,B	0,09±0,01 a,A
	PO	0,22±0,05 ,B	0,29±0,07 b,B	0,08±0,01 a,A
	PA	0,18±0,01 ,B	0,28±0,05 ab,C	0,08±0,00 a,A
Octanoato de etilo	CT	0,14±0,00 b,B	0,18±0,06 ,B	0,05±0,01 ,A
	HC	0,14±0,00 b,B	0,18±0,03 ,B	0,05±0,02 ,A
	HF	0,12±0,01 ab,B	0,16±0,03 ,B	0,03±0,00 ,A
	CTC	0,12±0,02 ab,AB	0,16±0,04 ,B	0,05±0,00 ,A
	PC	0,13±0,02 ab,B	0,14±0,02 ,B	0,04±0,02 ,A
	PO	0,13±0,01 ab,B	0,23±0,07 ,C	0,03±0,01 ,A
	PA	0,10±0,01 a,A	0,22±0,05 ,B	0,04±0,01 ,A

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Anexo I, Tabla 14. Composición aromática (ésteres y ácidos) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Lactato de etilo	CT	55,3±3,9 <b>ab,C</b>	34,3±2,8 <b>,B</b>	15,9±2,6 <b>,A</b>
	HC	47,4±1,9 <b>ab,C</b>	41,1±3,1 <b>,B</b>	16,3±1,1 <b>,A</b>
	HF	67,9±13,5 <b>b,B</b>	46,5±10,2 <b>,AB</b>	16,9±0,0 <b>,A</b>
	CTC	59,6±3,4 <b>ab,C</b>	34,7±7,1 <b>,B</b>	16,9±0,9 <b>,A</b>
	PC	58,5±4,6 <b>ab,C</b>	38,9±8,0 <b>,B</b>	17,7±4,9 <b>,A</b>
	PO	42,1±19,6 <b>a,B</b>	34,8±3,8 <b>,AB</b>	15,7±3,5 <b>,A</b>
	PA	65,2±15,7 <b>ab,B</b>	35,1±0,6 <b>,A</b>	20,7±2,1 <b>,A</b>
Succinato de dietilo	CT	1,03±0,49 <b>ab,B</b>	0,30±0,15 <b>,A</b>	0,09±0,03 <b>ab,A</b>
	HC	1,13±0,20 <b>ab,C</b>	0,39±0,15 <b>,B</b>	0,08±0,01 <b>a,A</b>
	HF	0,69±0,09 <b>a,B</b>	0,22±0,03 <b>,A</b>	0,17±0,01 <b>c,A</b>
	CTC	1,17±0,54 <b>ab,B</b>	0,39±0,12 <b>,AB</b>	0,13±0,05 <b>abc,A</b>
	PC	1,58±0,04 <b>b,B</b>	0,46±0,16 <b>,A</b>	0,17±0,05 <b>bc,A</b>
	PO	1,68±0,29 <b>b,B</b>	0,40±0,05 <b>,A</b>	0,14±0,04 <b>abc,A</b>
	PA	1,65±0,30 <b>b,B</b>	0,33±0,10 <b>,A</b>	0,14±0,03 <b>abc,A</b>
Ácido isobutírico	CT	6,77±0,38 <b>b,C</b>	0,98±0,11 <b>,B</b>	0,08±0,05 <b>,A</b>
	HC	7,54±0,45 <b>bc,C</b>	1,01±0,09 <b>,B</b>	0,06±0,01 <b>,A</b>
	HF	5,07±0,88 <b>a,B</b>	0,80±0,27 <b>,A</b>	0,07±0,00 <b>,A</b>
	CTC	7,26±0,02 <b>bc,C</b>	1,24±0,08 <b>,B</b>	0,06±0,02 <b>,A</b>
	PC	8,75±0,82 <b>c,B</b>	1,80±0,56 <b>,A</b>	0,07±0,01 <b>,A</b>
	PO	7,39±0,91 <b>bc,C</b>	1,68±1,01 <b>,B</b>	0,07±0,01 <b>,A</b>
	PA	6,43±1,51 <b>ab,B</b>	1,48±0,10 <b>,A</b>	0,07±0,01 <b>,A</b>
Ácido hexanoico	CT	3,23±0,93 <b>b,B</b>	3,14±0,85 <b>b,B</b>	0,02±0,01 <b>a,A</b>
	HC	2,09±0,42 <b>ab,B</b>	2,37±0,12 <b>ab,B</b>	0,03±0,00 <b>a,A</b>
	HF	1,54±1,31 <b>a,A</b>	7,21±0,07 <b>c,B</b>	0,06±0,01 <b>c,A</b>
	CTC	2,38±0,14 <b>ab,B</b>	2,37±0,23 <b>ab,B</b>	0,03±0,00 <b>ab,A</b>
	PC	1,82±0,42 <b>ab,B</b>	1,59±0,14 <b>a,B</b>	0,04±0,00 <b>b,A</b>
	PO	1,99±0,40 <b>ab,B</b>	1,82±0,16 <b>ab,B</b>	0,03±0,00 <b>ab,A</b>
	PA	1,93±0,32 <b>ab,B</b>	2,40±0,11 <b>ab,B</b>	0,03±0,00 <b>ab,A</b>
Ácido octanoico	CT	2,11±0,32 <b>,B</b>	2,08±0,34 <b>ab,B</b>	0,91±0,13 <b>d,A</b>
	HC	1,85±0,35 <b>,B</b>	2,08±0,24 <b>ab,B</b>	0,86±0,13 <b>cd,A</b>
	HF	1,95±0,03 <b>,B</b>	1,81±0,10 <b>a,B</b>	0,46±0,08 <b>a,A</b>
	CTC	1,94±0,04 <b>,B</b>	2,47±0,49 <b>b,B</b>	0,75±0,15 <b>bcd,A</b>
	PC	1,54±0,21 <b>,B</b>	1,81±0,12 <b>a,B</b>	0,57±0,06 <b>ab,A</b>
	PO	1,80±0,39 <b>,B</b>	2,22±0,22 <b>ab,B</b>	0,62±0,09 <b>abc,A</b>
	PA	1,73±0,15 <b>,B</b>	2,63±0,18 <b>b,C</b>	0,69±0,10 <b>abcd,A</b>
Ácido decanoico	CT	0,30±0,03 <b>,B</b>	0,37±0,02 <b>b,C</b>	0,19±0,04 <b>,A</b>
	HC	0,26±0,02 <b>,B</b>	0,29±0,01 <b>ab,B</b>	0,14±0,09 <b>,A</b>
	HF	0,26±0,02 <b>,B</b>	0,30±0,07 <b>ab,B</b>	0,09±0,03 <b>,A</b>
	CTC	0,29±0,03 <b>,B</b>	0,31±0,01 <b>ab,B</b>	0,14±0,02 <b>,A</b>
	PC	0,27±0,02 <b>,B</b>	0,22±0,07 <b>a,AB</b>	0,09±0,05 <b>,A</b>
	PO	0,31±0,02 <b>,B</b>	0,37±0,09 <b>b,B</b>	0,08±0,06 <b>,A</b>
	PA	0,29±0,03 <b>,AB</b>	0,37±0,06 <b>b,B</b>	0,15±0,03 <b>,A</b>

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Anexo I, Tabla 15. Composición aromática (cetonas y aldehídos) de los vinos de cv. Tempranillo, elaborados en la bodega experimental en los años 2011, 2012 y 2013 con relación al subgrupo de suelos de cultivo.

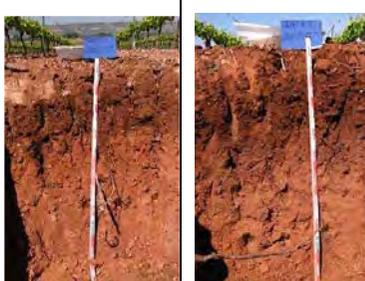
Parámetro	Código subgrupo	2011	2012	2013
Acetoína	CT	25,8±6,2 ,B	7,06±2,70 a,A	0,60±0,23 a,A
	HC	30,1±4,6 ,C	18,45±5,59 b,B	0,51±0,05 a,A
	HF	22,6±7,2 ,B	14,84±6,45 ab,AB	0,59±0,03 a,A
	CTC	22,0±4,1 ,B	8,77±1,34 ab,A	1,23±0,24 b,A
	PC	36,6±18,4 ,B	13,56±3,09 ab,AB	0,73±0,13 a,A
	PO	23,2±9,9 ,B	17,8±5,6 b,B	0,53±0,19 a,A
	PA	21,5±5,8 ,B	11,6±4,9 ab,AB	0,77±0,10 a,A
Diacetilo	CT	4,49±0,65 ,C	3,17±0,44 b,B	0,38±0,09 a,A
	HC	5,22±0,46 ,C	1,87±0,18 a,B	0,49±0,07 ab,A
	HF	3,67±0,62 ,C	2,04±0,26 a,B	0,49±0,03 ab,A
	CTC	4,96±0,46 ,C	3,53±0,56 b,B	0,45±0,05 ab,A
	PC	4,37±0,97 ,B	4,05±0,50 b,B	0,60±0,10 b,A
	PO	3,84±1,85 ,B	3,64±0,50 b,B	0,46±0,04 ab,A
	PA	3,44±1,91	3,26±0,71 b,	0,40±0,17 a,
Butirolactona - Ácido butírico	CT	5,70±1,94 ,B	2,11±0,43 ,A	1,20±0,22 a,A
	HC	6,15±0,07 ,B	2,29±0,78 ,A	1,45±0,08 ab,A
	HF	4,81±0,43 ,B	1,96±0,04 ,A	1,59±0,12 ab,A
	CTC	7,10±1,15 ,B	2,40±0,07 ,A	1,87±0,24 ab,A
	PC	8,10±1,20 ,B	3,89±0,56 ,A	1,91±0,13 ab,A
	PO	9,34±4,79 ,B	3,74±2,81 ,AB	1,99±0,32 b,A
	PA	10,21±5,01	2,94±0,87	2,12±0,79 b,
Acetaldehído	CT	1,26±0,17 ,A	1,93±1,08 ,A	8,75±0,80 ,B
	HC	1,47±0,40 ,A	1,48±0,07 ,A	7,71±0,16 ,B
	HF	1,82±0,36 ,A	1,59±0,29 ,A	8,03±0,15 ,B
	CTC	1,28±0,09 ,A	1,37±0,03 ,A	8,14±0,48 ,B
	PC	0,86±0,17 ,A	1,51±0,32 ,A	8,67±0,60 ,B
	PO	3,36±3,91 ,A	1,78±0,35 ,A	8,92±1,08 ,B
	PA	4,72±4,92	2,07±0,57	8,75±0,80

\* Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subgrupos en un año y las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre años para un subgrupo, según la prueba de Duncan (p<0,05).



**ANEXO II**  
**FICHAS DE SUBGRUPOS DE SUELOS**



<b>Anexo II, Ficha SUBGRUPO CT – CALCIXEREPTS TÍPICO</b>						
Código parcela	11		23		32	
Municipio	CENICERO		URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parc.catastral	23/462		10/7		4/491	
Coordenada UTM X,Y	524.844	523.461	523.461	4.699.375	525.425	4.700.717
Parcela vitícola, área de muestreo y prospecciones tipo calicata						
Material originario	Gravas en matriz arenosa		Arcillas, arenas y limos sobre gravas		Gravas en matriz arenosa	
Forma de relieve	Terraza nivel II		Abanico aluvial		Terraza nivel III	
Pendiente (%)	0-2		0		2-5%	
<b>Código subgrupo</b>	<b>CT</b>		<b>CT</b>		<b>CT</b>	
Perfiles edáficos						
Código Calicata	2031219E	2031228W	2031224E	2031232W	2031231E	2031225W
Clasificación USDA	<b>Calcixerepts típico</b>		<b>Calcixerepts típico</b>		<b>Calcixerepts típico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bk-Ck		Ap-Bw-Bk		Ap-Bk <sub>1</sub> -Bk <sub>2</sub>	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico – cálcico - cálcico		Ócrico - cámbico - cálcico		Ócrico – cálcico - cálcico	
Profundidad efectiva	97,5 cm		105 cm		110 cm	
Reserva útil	128,0 mm		139,5 mm		142,3 mm	
Clase textural Ap	Franca		Franca		Franca	

nexo II, Ficha SUBGRUPO HC – HAPLOXERALFS CALCICO						
Código parcela	13		14		15	
Municipio	URUÑUELA		URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parcela catastral	2/20		3/59		2/66	
Coordenada UTM X,Y	524.021	4.701.003	524.900	4.701.700	524.465	4.701.466
Parcela vitícola, área de muestreo y prospecciones tipo calicata						
Material originario	Gravas en matriz arenosa		Gravas en matriz arenosa		Gravas en matriz arenosa	
Forma de relieve	Terraza nivel II		Terraza nivel II		Terraza nivel II	
Pendiente (%)	0		0		0	
Código subgrupo	<b>HC</b>		<b>HC</b>		<b>HC</b>	
Perfiles edáficos						
Código Calicata	2031221E	2031227W	2031220W	2031229E	2031235E	2031236W
Clasificación USDA	<b>Haploxeralfs cálcico</b>		<b>Haploxeralfs cálcico</b>		<b>Haploxeralfs cálcico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bt-Ck		Ap-Bt-Ck		Ap-Bt-Ck	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico - argílico - cálcico		Ócrico - argílico - cálcico		Ócrico - argílico - cálcico	
Profundidad efectiva	78 cm		84 cm		85 cm	
Reserva útil	62,3 mm		69,7 mm		57,3 mm	
Clase textural Ap	Franca		Franca		Franca	

<b>Anexo II, Ficha SUBGRUPO HF – HAPLOXEREPTS FLUVENTICO</b>				
Código parcela	21		22	
Municipio	URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parc. catastral	104/94		104/88	
Coordenada UTM X,Y	523.432	4.700.090	523.400	4.699.927
Parcela vitícola, área de muestreo y prospecciones tipo calicata				
Material originario	Arcillas, arenas y limos sobre gravas		Arcillas, arenas y limos sobre gravas	
Forma de relieve	Abanico aluvial		Abanico aluvial	
Pendiente (%)	0%		0%	
<b>Código subgrupo</b>	<b>HF</b>		<b>HF</b>	
Perfiles edáficos				
Código Calicata	2031222W	2031234E	2031223E	2031233W
Clasificación USDA	<b>Haploxerepts fluvéntico</b>		<b>Haploxerepts fluvéntico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bw <sub>1</sub> -Bw <sub>2</sub>		Ap-Bw-Bwk	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico – cámbico - cámbico		Ócrico – cámbico - cámbico	
Profundidad efectiva	110 cm		110 cm	
Reserva útil	128,5 mm		146,5 mm	
Clase textural Ap	Franca		Franca	

<b>Anexo II, Ficha SUBGRUPO CTC – CALCIXEREPTS TÍPICO Fase Carbonática</b>				
Código parcela	<b>31</b>		<b>53</b>	
Municipio	URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parc. catastral	4/525		5/144	
Coordenadas UTM X, Y	525.897	526.716	526.716	4.700.907
Parcela vitícola, área de muestreo y localización de las prospecciones tipo calicata				
Material originario	Gravas en matriz arenosa		Cantos y gravas en matriz areno-limosa	
Forma de relieve	Terraza nivel III		Glacis nivel IV	
Pendiente (%)	2-5		3	
<b>Código subgrupo</b>	<b>CTC</b>		<b>CTC</b>	
Perfiles edáficos				
Código Calicata	2032061E	2032067W	2032064W	2032070E
Clasificación USDA	<b>Calcixerepts típico</b>		<b>Calcixerepts típico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bk-Bkm		Ap-Bkm	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico – cálcico - cálcico		Ócrico – cálcico	
Profundidad efectiva	90 cm		71 cm	
Reserva útil	87,7 mm		56,3 mm	
Clase textural Ap	Franca arenosa		Franca arenosa	

<b>Anexo II, Ficha SUBGRUPO PC – PALEXERALFS CALCICO</b>				
Código parcela	<b>33</b>		<b>34</b>	
Municipio	URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parc. catastral	4/400		4/475	
Coordenadas UTM X, Y	525.270	4.700.704	525.542	4.700.907
Parcela vitícola, área de muestreo y prospecciones tipo calicata				
Material originario	Gravas en matriz arenosa		Gravas en matriz arenosa	
Forma de relieve	Terraza nivel III		Terraza nivel III	
Pendiente (%)	0-2%		2-5%	
<b>Código subgrupo</b>	<b>PC</b>		<b>PC</b>	
Perfiles edáficos				
Código Calicata	2031226E	2031230W	2031237E	2031238W
Clasificación USDA	<b>Paalexeralfs cálcico</b>		<b>Paalexeralfs cálcico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bt-Ck		Ap-Bt-Ckm	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico – argílico - cálcico		Ócrico – argílico - cálcico	
Profundidad efectiva	82 cm		72,5 cm	
Reserva útil	73,6 mm		78,2 mm	
Clase textural Ap	Franca arenosa		Franca arenosa	

<b>Anexo II, Ficha SUBGRUPO PO – PALEXEROLLS PETROCALCICO</b>						
Código parcela	<b>41</b>		<b>42</b>		<b>43</b>	
Municipio	URUÑUELA		URUÑUELA		URUÑUELA	
Polígono/Parc. catastral	5/324		5/347		5/368	
Coordenadas UTM X, Y	526.060	4.700.446	525.933	4.700.444	525.689	4.700.355
Parcela vitícola, área de muestreo y prospecciones tipo calicata						
Material originario	Gravas en matriz arenosa		Gravas en matriz arenosa		Gravas en matriz arenosa	
Forma de relieve	Terraza nivel IV		Terraza nivel IV		Terraza nivel IV	
Pendiente (%)	2-5%		0-2%		0-2%	
<b>Código subgrupo</b>	<b>PO</b>		<b>PO</b>		<b>PO</b>	
Perfiles edáficos						
Código Calicata	2032065SE	2032071NW	2032059NW	2032072SE	2032060SE	2032066NW
Clasificación USDA	<b>Palexerolls petrocálcico</b>		<b>Palexerolls petrocálcico</b>		<b>Palexerolls petrocálcico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-AC-Ckm		Ap-AC-Ckm		Ap-Ck-Ckm	
Horizontes de diagnóstico	Móllico – cálcico - petrocálcico		Móllico – cálcico - petrocálcico		Móllico – cálcico - petrocálcico	
Profundidad efectiva	63,5 cm		78 cm		62,5 cm	
Reserva útil (mm)	63,2 mm		68,8 mm		60,2 mm	
Clase textural Ap	Franca		Franca		Franca	

Anexo II, Ficha SUBGRUPO PA – PALEXERALFS CALCICO				
Código parcela	51		54	
Municipio	HUÉRCANOS		URUÑUELA	
Polígono/Parc. catastral	1/324		5/139	
Coordenadas UTM X, Y	526.904	4.700.649	526.739	4.700.435
Parcela vitícola, área de muestreo y localización de las prospecciones tipo calicata				
Material originario	Cantos y gravas en matriz areno-limosa		Cantos y gravas en matriz areno-limosa	
Forma de relieve	Glacis nivel IV		Glacis nivel IV	
Pendiente (%)	2		3	
Código subgrupo	PA		PA	
Imágenes de los perfiles edáficos				
Código Calicata	2032062S	2032068N	2032063W	2032069E
Clasificación USDA	<b>Palexeralfs petrocálcico</b>		<b>Palexeralfs petrocálcico</b>	
Horizontes genéticos	Ap-Bt-Ck-Ckm		Ap-(AE)-Bt-Ck-Ckm	
Horizontes de diagnóstico	Ócrico – argílico – cálcico – petrocálcico		Ócrico – argílico – cálcico – petrocálcico	
Profundidad efectiva	75 cm		73 cm	
Reserva útil (mm)	58,6 mm		59,4 mm	
Clase textural Ap	Franca arenosa		Franca arenosa	



## **ANEXO III. CORRELACIONES**



III, Tabla 1. Correlaciones entre elementos climáticos y los niveles de nitrógeno extraíbles del suelo.

	T <sup>a</sup> m	Pr_m	Pr_ene-may	Pr_abr-oct	Pr_sept-oct	R solar	ETo	IH	IF	IS
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15 cm	,344**	-,317**	-,409**	,010	,370**	,553**	,573**	,502**	,254**	-,455**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	,290**	-,109	-,127	,022	,118	,279**	,265**	,273**	,257**	-,205**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	,372**	-,283**	-,359**	,016	,326**	,526**	,536**	,485**	,291**	-,424**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	,398**	-,245**	-,313**	,039	,307**	,506**	,509**	,471**	,334**	-,394**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	,412**	-,131	-,172*	,085	,230**	,403**	,389**	,385**	,394**	-,281**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	,380**	-,129	-,161*	,060	,190**	,369**	,354**	,356**	,353**	-,263**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15	,050	-,091	-,343**	,425**	,814**	,404**	,488**	,272**	,854**	-,244**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	,100	-,140	-,380**	,366**	,771**	,437**	,516**	,313**	,831**	-,287**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	,083	-,126	-,391**	,423**	,849**	,453**	,541**	,316**	,905**	-,287**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	,091	-,133	-,388**	,400**	,819**	,448**	,532**	,316**	,877**	-,288**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	,093	-,128	-,341**	,322**	,683**	,392**	,461**	,282**	,739**	-,258**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45	,100	-,138	-,373**	,355**	,751**	,428**	,505**	,307**	,811**	-,281**

Anexo T<sup>a</sup> m, Temperatura media anual; Pr\_m, Precipitación media anual; Pr\_ene-may, Precipitación enero-mayo; Pr\_abr-oct, Precipitación abril-octubre; Pr\_sept-oct, Precipitación septiembre-octubre; R solar, Radiación solar; ETo, Evapotranspiración del cultivo; IH, Índice de Huglin; IF, Índice de Frío Nocturno; IS, Índice de Sequía. Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 2. Correlaciones entre parámetros edáficos, el potencial hídrico de base y los niveles de nitrógeno extraíbles del suelo.

	Pef	R útil	EG Hss	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla Hss	Carbonatos Hss	Caliza Hss	Pot. base
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15	,298**	,266**	-,169*	,333**	,284**	-,030	,157*	-,215**	-,182*	,311**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	,305**	,220**	-,072	,482**	,316**	-,158*	-,018	-,297**	-,263**	,198
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	,343**	,286**	-,156*	,436**	,336**	-,083	,112	-,276**	-,239**	,286**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	,418**	,371**	-,233**	,450**	,423**	-,074	,137	-,300**	-,244**	,284**
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	,539**	,522**	-,380**	,431**	,570**	-,044	,178*	-,320**	-,229**	,257*
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	,460**	,408**	-,254**	,485**	,483**	-,103	,093	-,330**	-,262**	,236*
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15	,241**	,276**	-,215**	,064	,272**	-,045	,005	-,076	-,013	,229
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	,090	,041	,005	,235**	,137	-,104	-,086	-,099	-,100	,527**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	,171*	,159*	-,103	,169*	,214**	-,083	-,047	-,095	-,065	,450**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	,187*	,185*	-,164*	,160*	,216**	-,097	-,018	-,063	-,026	,378**
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	,189*	,204*	-,237**	,128	,196*	-,107	,028	-,008	,034	,159
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45	,148	,133	-,130	,184*	,175*	-,109	-,026	-,052	-,030	,375**

Pef., Profundidad efectiva del suelo; R útil, Reserva útil del suelo; EG Hss, Pedregosidad de los horizontes subsuperficiales; K Ap, Potasio en el Ap; Mg Ap, Magnesio en el Ap; CIC Hss, Capacidad de Intercambio Catiónico en los horizontes subsuperficiales; Arcilla Hss, Arcilla en los horizontes subsuperficiales; Carbonatos Hss, Carbonatos totales en los horizontes subsuperficiales; Caliza Hss, Caliza activa en los horizontes subsuperficiales; Pot. base; potencial hídrico foliar de base.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 3. Correlaciones entre parámetros climáticos y niveles de macro y microelementos en limbo y peciolo.

		T <sup>a</sup> m	Pr_m	Pr_ene-may	Pr_abr-oct	Pr_sept-oct	R solar	ETo	IH	IF	IS
Limbo	Nitrógeno	,200**	-,532**	-,570**	-,318**	,112	,525**	,547**	,499**	-,079	-,555**
	Fósforo	,043	,087	,089	,082	,017	-,031	-,040	-,029	,098	,062
	Potasio	,074	-,009	-,013	,019	,029	,058	,053	,057	,076	-,035
	Calcio	,095	-,187**	-,242**	-,022	,194**	,259**	,281**	,226**	,036	-,232**
	Magnesio	,121	-,048	-,123	,142*	,291**	,214**	,234**	,172*	,167*	-,135
	K/Mg	-,006	,034	,076	-,058	-,148*	-,086	-,103	-,061	-,025	,061
	Hierro	,124	,151*	,198**	,065	-,121	-,087	-,124	-,055	,180*	,122
	Manganeso	-,013	-,016	-,070	,089	,186**	,078	,100	,046	,025	-,047
	Zinc	-,025	-,065	-,157*	,123	,316**	,157*	,198**	,102	,018	-,112
	Cobre	-,031	,255**	,347**	,021	-,305**	-,316**	-,362**	-,259**	,038	,296**
	Boro	-,113	,406**	,392**	,340**	,078	-,315**	-,319**	-,319**	,142*	,381**
	Sodio	,250**	,054	,159*	-,096	-,308**	-,025	-,091	,041	,202**	,035
	Carbono	,359**	,156*	,210**	,120	-,088	,048	-,013	,089	,425**	,052
Peciolo	Nitrógeno	,036	-,047	-,022	-,079	-,086	,018	,008	,033	-,013	-,036
	Fósforo	-,021	,177*	,137	,225**	,165*	-,070	-,061	-,092	,123	,132
	Potasio	,095	-,095	-,148*	,052	,201**	,197**	,213**	,166*	,091	-,151*
	Calcio	-,189**	,380**	,313**	,403**	,247**	-,270**	-,246**	-,307**	,094	,346**
	Magnesio	,033	-,082	-,080	-,065	-,012	,071	,071	,072	-,018	-,081
	K/Mg	,075	-,064	-,096	,032	,127	,135	,144*	,117	,071	-,103
	Hierro	-,232**	,160*	,132	,127	,066	-,210**	-,186**	-,229**	-,122	,197**
	Manganeso	,030	,054	,034	,095	,089	,013	,016	,002	,084	,022
	Zinc	,140*	-,057	-,118	,111	,244**	,212**	,225**	,178*	,169*	-,139
	Cobre	-,137	,239**	,322**	-,002	-,298**	-,359**	-,390**	-,310**	-,075	,311**
	Boro	,156*	-,006	-,031	,088	,127	,138	,134	,126	,184**	-,075
	Sodio	,179*	,111	,156*	,053	-,102	-,023	-,061	,008	,217**	,067
	Carbono	,447**	-,350**	-,181*	-,508**	-,543**	,270**	,182*	,371**	,106	-,336**

T<sup>a</sup> m, Temperatura media anual; Pr\_m, Precipitación media anual; Pr\_ene-may, Precipitación enero-mayo; Pr\_abr-oct, Precipitación abril-octubre; Pr\_sept-oct, Precipitación septiembre-octubre; R solar, Radiación solar; ETo, Evapotranspiración del cultivo; IH, Índice de Huglin; IF, Índice de Frío Nocturno; IS, Índice de Sequía.  
Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla.4. Correlaciones entre parámetros edáficos y el potencial de base y los niveles de elementos en limbo y peciolo.

		Pef	R útil	EG Hss	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla Hss	Carbonatos Hss	Caliza Hss	Pot. base
Limbo	Pot. base	,406**	,370**	-,278**	,268**	,498**	,146	,255*	-,182	-,184	1
	Nitrógeno	,327**	,247**	-,136	,241**	,174*	,201**	,313**	-,346**	-,274**	,283**
	Fósforo	,174*	,121	-,061	-,091	,155*	,529**	,529**	-,003	,004	,142
	Potasio	,566**	,501**	-,329**	,434**	,700**	,041	,132	-,413**	-,378**	,482**
	Calcio	-,113	-,008	-,042	-,048	,161*	-,220**	-,257**	,314**	,271**	,194
	Magnesio	,028	,030	-,137	-,368**	-,192**	,028	-,025	,092	,206**	-,376**
	Rel. K/Mg	,415**	,365**	-,184**	,488**	,568**	,036	,175*	-,323**	-,311**	,522**
	Hierro	,006	,024	-,025	,032	,012	,296**	,252**	-,054	-,061	-,103
	Manganeso	,131	-,051	,150*	,316**	,075	,084	-,019	-,257**	-,250**	,292**
	Zinc	,281**	,225**	-,188**	-,007	,333**	-,030	,071	-,074	-,166*	,385**
	Cobre	,181*	,075	,161*	,366**	,157*	-,038	-,018	-,373**	-,378**	,299**
	Boro	,145*	,224**	-,335**	-,225**	,016	,016	,047	,006	,018	-,162
	Sodio	,222**	,208**	-,231**	-,016	,203**	,041	,080	-,096	-,131	,097
	Carbono	-,255**	-,199**	,140*	-,017	-,323**	-,131	-,205**	-,042	-,055	-,514**
Peciolo	Nitrógeno	,477**	,424**	-,320**	,367**	,390**	,152*	,321**	-,384**	-,319**	,313**
	Fósforo	,227**	,168*	-,080	-,022	,233**	,562**	,576**	-,048	-,054	,379**
	Potasio	,535**	,477**	-,289**	,527**	,706**	-,022	,119	-,346**	-,293**	,548**
	Calcio	-,341**	-,263**	,206**	,091	-,092	-,159*	-,184**	,329**	,276**	,186
	Magnesio	-,052	-,013	-,096	-,422**	-,306**	,138	,098	,152*	,306**	-,343**
	Rel. K/Mg	,532**	,483**	-,279**	,543**	,733**	-,027	,114	-,353**	-,329**	,559**
	Hierro	,295**	,248**	-,186**	,045	,155*	,002	,034	-,357**	-,348**	,064
	Manganeso	,171*	-,024	,120	,252**	-,035	,044	-,061	-,337**	-,272**	,051
	Zinc	,354**	,256**	-,195**	,031	,359**	,142*	,212**	-,140*	-,163*	,382**
	Cobre	,217**	,138	,065	,312**	,192**	-,037	,016	-,345**	-,346**	,400**
	Boro	,127	,225**	-,203**	,233**	,278**	-,396**	-,356**	-,031	,061	-,306**
	Sodio	,053	,052	-,187**	-,154*	,011	,132	,086	,003	-,032	-,172
	Carbono	-,225**	-,238**	,219**	-,092	-,325**	-,090	-,205**	-,031	-,045	-,518**

Pef., Profundidad efectiva del suelo; R útil, Reserva útil del suelo; EG Hss, Pedregosidad de los horizontes subsuperficiales; K Ap, Potasio en el Ap; Mg Ap, Magnesio en el Ap; CIC Hss, Capacidad de Intercambio Catiónico en los horizontes subsuperficiales; Arcilla Hss, Arcilla en los horizontes subsuperficiales; Carbonatos Hss, Carbonatos totales en los horizontes subsuperficiales; Caliza Hss, Caliza activa en los horizontes subsuperficiales; Pot. base; potencial hídrico foliar de base. Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 5. Correlaciones entre elementos climáticos y parámetros del mosto, de vigor y de rendimiento.

	T <sup>a</sup> m	Pr_m	Pr_ene-may	Pr_abr-oct	Pr_sept-oct	R solar	ETo	IH	IF	IS
GAP	,266**	-,362**	-,376**	-,205**	,065	,422**	,422**	,414**	,073	-,414**
pH	,476**	-,594**	-,661**	-,236**	,276**	,780**	,793**	,742**	,202**	-,722**
Ac. Total	-,432**	,725**	,774**	,394**	-,182*	-,812**	-,828**	-,781**	-,059	,808**
Ac. Tartárico	-,180*	,208**	,202**	,139	,008	-,239**	-,231**	-,244**	-,058	,237**
Ac. Málico	-,436**	,598**	,632**	,317**	-,145*	-,710**	-,713**	-,691**	-,127	,689**
Potasio	,597**	-,229**	-,219**	-,049	,078	,511**	,465**	,525**	,483**	-,393**
IC	-,217**	,493**	,500**	,340**	-,013	-,467**	-,474**	-,459**	,065	,505**
Tonalidad	,614**	-,527**	-,495**	-,341**	-,039	,683**	,641**	,706**	,298**	-,642**
Antocianos	-,094	,038	,009	,064	,087	-,042	-,025	-,061	-,050	,044
IPT	-,031	,039	-,030	,161*	,244**	,052	,080	,013	,054	-,004
NFA	-,004	-,007	-,073	,124	,215**	,090	,112	,054	,219**	-,047
Pu sarmiento	-,113	,116	,166*	-,032	-,189**	-,217**	-,231**	-,188**	-,093	,173*
P 100 bayas	-,103	,378**	,467**	,113	-,292**	-,436**	-,479**	-,381**	,041	,424**
Pm racimo	-,224**	-,061	-,086	-,062	,027	-,066	-,033	-,086	-,251**	,005
Prod. uva/cepa	-,177*	,058	,052	,013	-,013	-,141*	-,125	-,147*	-,146*	,106
P madera/cepa	-,115	,077	,130	-,073	-,208**	-,198**	-,212**	-,168*	-,124	,143*
Indice de Ravaz	-,094	,038	-,013	,110	,168*	-,011	,016	-,042	-,029	,029

T<sup>a</sup> m, Temperatura media anual; Pr\_m, Precipitación media anual; Pr\_ene-may, Precipitación enero-mayo; Pr\_abr-oct, Precipitación abril-octubre; Pr\_sept-oct, Precipitación septiembre-octubre; R solar, Radiación solar; ETo, Evapotranspiración del cultivo; IH, Índice de Huglin; IF, Índice de Frío Nocturno; IS, Índice de Sequía.  
Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 6. Correlaciones entre parámetros edáficos, composición de la uva y componentes de vigor y rendimiento.

	Pef	R útil	EG Hss	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla Hss	Carbonatos Hss	Caliza Hss	Pot. base
GAP	-,375**	-,335**	,200**	-,130	-,229**	,137	-,061	,258**	,201**	,064
pH	,248**	,211**	-,190**	,173*	,223**	-,161*	-,183*	-,290**	-,291**	-,200
Ac. Total	,100	,077	,001	,202**	,192**	,084	,174*	,017	,040	,473**
Ac. Tartárico	-,088	-,101	,137	,276**	,107	-,051	-,028	,142*	,146*	-,133
Ac. Málico	,337**	,287**	-,162*	,337**	,424**	,028	,174*	-,175*	-,150*	,624**
Potasio	,320**	,254**	-,131	,433**	,463**	-,105	-,058	-,281**	-,285**	,092
IC	-,464**	-,376**	,181*	-,214**	-,288**	,213**	,010	,445**	,441**	-,057
Tonalidad	,121	,058	-,017	,051	-,031	-,244**	-,220**	-,229**	-,241**	-,406**
Antocianos	-,486**	-,417**	,260**	-,283**	-,354**	,158*	-,101	,399**	,389**	-,221*
IPT	-,467**	-,392**	,249**	-,317**	-,366**	,135	-,096	,427**	,429**	-,216*
NFA	,152	,124	-,098	,319**	,219**	,052	-,046	-,223**	-,172*	-,061
Calcio	-,133	-,094	,042	,061	-,108	-,178	-,228*	-,057	-,106	-
Pu sarmiento	,561**	,435**	-,246**	,348**	,526**	,153*	,287**	-,426**	-,404**	,444**
P 100 bayas	,244**	,157*	-,018	,195**	,155*	-,047	,142*	-,149*	-,116	,317**
Pm racimo	,593**	,560**	-,442**	,129	,418**	-,220**	,011	-,339**	-,226**	,315**
Prod. uva/cepa	,509**	,504**	-,404**	,140*	,392**	-,230**	,022	-,220**	-,126	,262**
P madera/cepa	,606**	,462**	-,273**	,332**	,521**	,042	,237**	-,432**	-,408**	,427**
Indice de Ravaz	-,193**	-,052	-,060	-,186**	-,179*	-,267**	-,255**	,262**	,319**	-,092

Pef., Profundidad efectiva del suelo; R útil, Reserva útil del suelo; EG Hss, Pedregosidad de los horizontes subsuperficiales; K Ap, Potasio en el Ap; Mg Ap, Magnesio en el Ap; CIC Hss, Capacidad de Intercambio Catiónico en los horizontes subsuperficiales; Arcilla Hss, Arcilla en los horizontes subsuperficiales; Carbonatos Hss, Carbonatos totales en los horizontes subsuperficiales; Caliza Hss, Caliza activa en los horizontes subsuperficiales; Pot. base; potencial hídrico foliar de base.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 7. Correlaciones entre elementos climáticos y parámetros de composición del vino.

	T <sup>a</sup> m	Pr_m	Pr_ene-may	Pr_abr-oct	Pr_sept-oct	R solar	ETo	IH	IF	IS
GA	,218**	,015	,119	-,137	-,321**	-,020	-,081	,045	,144*	,012
Extr. seco	,257**	,101	,160*	,038	-,135	,014	-,037	,054	,280**	,042
D relativa	-,490**	,439**	,424**	,265**	-,006	-,572**	-,544**	-,584**	-,237**	,535**
pH	,443**	-,511**	-,542**	-,247**	,150*	,655**	,652**	,638**	,185**	-,614**
Ac. total	-,463**	,687**	,744**	,339**	-,222**	-,817**	-,832**	-,784**	-,122	,791**
Ac.tartárico	,030	-,156*	-,059	-,318**	-,363**	-,018	-,050	,037	-,153*	-,078
Ac. cítrico	-,697**	,718**	,806**	,345**	-,242**	-,817**	-,824**	-,788**	-,535**	,779**
Potasio	,278**	-,143*	-,192**	,053	,222**	,337**	,338**	,312**	,251**	-,252**
Calcio	-,267**	,073	,067	-,001	-,035	-,208**	-,185**	-,215**	-,233**	,149*
A420	,198**	-,310**	-,269**	-,290**	-,143*	,267**	,248**	,291**	-,018	-,307**
A520	-,049	-,165*	-,130	-,223**	-,161*	,026	,025	,043	-,185**	-,102
A620	,345**	-,464**	-,431**	-,362**	-,096	,472**	,451**	,491**	,051	-,496**
a* roja	-,341**	,507**	,494**	,359**	,032	-,526**	-,515**	-,533**	-,040	,546**
b* amarilla	-,352**	,556**	,543**	,399**	,039	-,563**	-,553**	-,570**	-,020	,591**
C* cromaticidad	-,346**	,534**	,522**	,380**	,033	-,547**	-,537**	-,553**	-,029	,571**
L* luminosidad	-,320**	,522**	,506**	,385**	,052	-,517**	-,507**	-,525**	-,005	,549**
H* tonalidad	-,353**	,507**	,488**	,369**	,052	-,524**	-,510**	-,535**	-,046	,545**
S* saturación	,314**	-,410**	-,383**	-,312**	-,074	,426**	,408**	,442**	,058	-,443**
IC	,057	-,241**	-,203**	-,262**	-,154*	,139	,131	,159*	-,121	-,202**
Tonalidad	,531**	-,227**	-,232**	-,038	,112	,488**	,453**	,492**	,427**	-,379**
IPT	,392**	-,247**	-,231**	-,131	,006	,385**	,356**	,398**	,250**	-,335**
Antocianos	,301**	-,351**	-,405**	-,106	,218**	,494**	,505**	,463**	,153*	-,444**
NFA	,138	-,572**	-,382**	-,822**	-,724**	,189**	,131	,294**	-,377**	-,410**

T<sup>a</sup> m, Temperatura media anual; Pr\_m, Precipitación media anual; Pr\_ene-may, Precipitación enero-mayo; Pr\_abr-oct, Precipitación abril-octubre; Pr\_sept-oct, Precipitación septiembre-octubre; R solar, Radiación solar; ETo, Evapotranspiración del cultivo; IH, Índice de Huglin; IF, Índice de Frío Nocturno; IS, Índice de Sequía.  
Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 8. Correlaciones entre parámetros edáficos y de composición de los vinos.

	Pef	R útil	EG Hss	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla Hss	Carbonatos Hss	Caliza Hss	Pot. base
GA	-,147*	-,189**	,130	-,011	-,134	,154*	,121	,062	-,023	-,024
Extr. seco	-,164*	-,124	,080	-,010	-,018	,053	-,036	,097	,016	-,049
D relativa	-,059	,003	-,005	-,014	,068	-,060	-,111	,053	,028	,182
pH	,293**	,231**	-,154*	,357**	,371**	-,196**	-,180*	-,329**	-,363**	,084
Ac Total	-,013	-,011	,043	-,053	-,013	,198**	,275**	,116	,128	,429**
Ác. tartárico	,308**	,227**	-,112	,078	,169*	-,129	-,043	-,320**	-,328**	,025
Ác. cítrico	,284**	,228**	-,177*	,147	,185*	,025	,074	-,252**	-,212**	,097
Potasio	,453**	,360**	-,209**	,451**	,548**	-,110	-,037	-,425**	-,456**	,321**
Calcio	,116	,041	,039	,048	,057	,012	,088	-,104	-,110	,270**
A420	-,618**	-,531**	,357**	-,311**	-,486**	,259**	,023	,454**	,402**	-,328**
A520	-,634**	-,531**	,362**	-,407**	-,537**	,277**	,061	,505**	,469**	-,203*
A620	-,539**	-,470**	,325**	-,214**	-,396**	,164*	-,054	,371**	,319**	-,401**
a* roja	,365**	,317**	-,235**	,078	,212**	-,072	,072	-,267**	-,223**	,108
b* amarilla	,339**	,285**	-,201**	,070	,190**	-,040	,093	-,245**	-,202**	,160
C* cromaticidad	,356**	,305**	-,223**	,076	,204**	-,058	,082	-,258**	-,214**	,126
L* luminosidad	,387**	,342**	-,253**	,108	,244**	-,070	,082	-,278**	-,231**	,077
H* tonalidad	,319**	,256**	-,175*	,047	,166*	-,034	,084	-,239**	-,202**	,208*
S* saturación	-,372**	-,313**	,231**	-,072	-,217**	,082	-,051	,283**	,251**	-,155
IC	-,638**	-,540**	,367**	-,373**	-,524**	,268**	,040	,492**	,449**	-,260*
Tonalidad	,378**	,301**	-,216**	,392**	,422**	-,145*	-,076	-,361**	-,386**	,003
IPT	-,594**	-,548**	,390**	-,206**	-,445**	,192**	-,034	,396**	,320**	-,405**
Antocianos	-,456**	-,435**	,299**	-,197**	-,334**	,187**	-,030	,332**	,283**	-,201
NFA	,042	,044	-,056	,073	,060	,052	,071	-,008	,024	-,220*

Pef., Profundidad efectiva del suelo; R útil, Reserva útil del suelo; E.G Hss., Pedregosidad de los horizontes subsuperficiales; K Ap, Potasio en el Ap; Mg Ap, Magnesio en el Ap; CIC Hss, Capacidad de Intercambio Catiónico en los horizontes subsuperficiales; Arcilla Hss, Arcilla en los horizontes subsuperficiales; Carbonatos Hss, Carbonatos totales en los horizontes subsuperficiales; Caliza Hss, Caliza activa en los horizontes subsuperficiales; Pot. base; potencial hídrico foliar de base.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 9. Correlaciones entre N extraíble del suelo y elementos minerales en limbo y peciolo.

		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15 cm	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15 cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45
Limbo	Nitrógeno	,566**	,332**	,556**	,551**	,477**	,438**	,264**	,280**	,293**	,295**	,266**	,283**
	Fósforo	-,006	-,092	-,039	,002	,094	,009	,021	-,048	-,017	-,015	-,009	-,028
	Potasio	,306**	,322**	,355**	,417**	,508**	,451**	,133	,112	,131	,115	,078	,098
	Calcio	,062	-,124	,000	-,009	-,030	-,078	,280**	,213**	,262**	,240**	,182*	,204*
	Magnesio	-,043	-,124	-,079	-,070	-,041	-,084	,387**	,266**	,345**	,337**	,287**	,288**
	Relac. K/Mg	,250**	,323**	,313**	,356**	,413**	,397**	-,107	-,074	-,096	-,089	-,069	-,074
	Hierro	-,032	,117	,020	,042	,086	,107	-,185*	-,182*	-,197*	-,179*	-,132	-,161*
	Manganeso	,066	,282**	,158*	,157*	,137	,218**	,157	,421**	,322**	,316**	,271**	,353**
	Zinc	,156*	,169*	,183**	,198**	,210**	,204**	,359**	,441**	,433**	,452**	,430**	,451**
	Cobre	-,147*	,065	-,087	-,075	-,041	,009	-,413**	-,312**	-,385**	-,410**	-,403**	-,374**
	Boro	-,082	-,084	-,094	-,074	-,020	-,053	-,034	-,121	-,087	-,073	-,043	-,082
	Sodio	-,068	,023	-,043	-,001	,093	,065	-,307**	-,223**	-,281**	-,256**	-,190*	-,213**
	Carbono	,071	,030	,066	,058	,032	,033	-,193*	-,195*	-,209**	-,182*	-,121	-,161*
	Peciolo	Nitrógeno	,358**	,322**	,394**	,414**	,409**	,394**	-,044	-,043	-,047	-,029	,000
Fósforo		,057	-,002	,042	,091	,190**	,108	,137	,081	,115	,127	,131	,112
Potasio		,470**	,385**	,504**	,565**	,639**	,557**	,345**	,300**	,345**	,337**	,290**	,306**
Calcio		-,125	-,107	-,135	-,143*	-,144*	-,135	,030	,063	,051	,059	,063	,065
Magnesio		-,194**	-,229**	-,235**	-,226**	-,179*	-,216**	,059	-,077	-,016	,009	,046	-,012
Relac.K/Mg		,439**	,389**	,481**	,540**	,610**	,542**	,254**	,228**	,258**	,251**	,213**	,228**
Hierro		,024	,154*	,077	,079	,075	,119	-,004	,008	,003	,036	,080	,048
Manganeso		-,012	,264**	,091	,088	,071	,171*	,072	,279**	,198*	,179*	,130	,207*
Zinc		,147*	,228**	,198**	,244**	,321**	,297**	,329**	,367**	,376**	,388**	,364**	,379**
Cobre		-,135	,010	-,098	-,086	-,049	-,023	-,459**	-,381**	-,448**	-,457**	-,420**	-,417**
Boro		,093	,086	,103	,128	,168*	,139	,201*	,112	,164*	,156	,127	,125
Sodio		,009	,000	,007	,038	,104	,060	-,112	-,203*	-,174*	-,173*	-,153	-,183*
Carbono	-,075	,038	-,042	-,071	-,129	-,055	-,446**	-,360**	-,429**	-,456**	-,446**	-,421**	

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 10. Correlaciones entre el potencial base y el nitrógeno extraíble del suelo con los parámetros de mosto y de productividad.

	Potencial base	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15 cm	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15 cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45
GAP	,064	,036	-,067	,001	-,012	-,040	-,056	,108	,163*	,148	,130	,089	,128
pH	-,200	,534**	,316**	,526**	,517**	,439**	,408**	,495**	,539**	,558**	,571**	,528**	,553**
Ac. Total	,473**	-,348**	-,091	-,299**	-,255**	-,127	-,118	-,382**	-,391**	-,416**	-,416**	-,371**	-,395**
Ac. Tartárico	-,133	-,141*	,004	-,106	-,094	-,056	-,030	-,116	-,063	-,094	-,086	-,066	-,067
Ac. Málico	,624**	-,175*	,031	-,121	-,070	,054	,046	-,286**	-,285**	-,306**	-,304**	-,268**	-,286**
Potasio	,092	,473**	,410**	,515**	,555**	,583**	,537**	,244**	,325**	,310**	,313**	,284**	,315**
IC	-,057	-,449**	-,358**	-,477**	-,465**	-,384**	-,397**	-,251**	-,283**	-,288**	-,295**	-,274**	-,288**
Tonalidad	-,406**	,317**	,325**	,365**	,351**	,279**	,321**	,175*	,295**	,258**	,280**	,282**	,299**
Antocianos	-,221*	-,319**	-,398**	-,394**	-,425**	-,446**	-,453**	-,037	-,055	-,050	-,072	-,097	-,080
IPT	-,216*	-,224**	-,364**	-,308**	-,332**	-,347**	-,379**	,198*	,070	,138	,108	,052	,063
NFA	-,061	,124	,220**	,179*	,201*	,229**	,240**	,242**	,274**	,279**	,284**	,260**	,277**
Calcio	nc	,280**	,202*	,309**	,253*	,087	,156	,353**	,488**	,468**	,476**	,432**	,476**
Pu sarmiento	,444**	,170*	,285**	,237**	,292**	,381**	,359**	-,155	-,120	-,146	-,136	-,106	-,117
P 100 bayas	,317**	-,043	,189**	,040	,083	,173*	,193**	-,317**	-,318**	-,341**	-,341**	-,302**	-,321**
Pm racimo	,315**	,345**	,246**	,356**	,379**	,387**	,343**	,163*	,050	,109	,116	,114	,087
Prod. uva/cepa	,262**	,229**	,200**	,250**	,292**	,355**	,302**	,098	-,011	,042	,052	,060	,028
P madera/cepa	,427**	,171*	,297**	,243**	,292**	,369**	,359**	-,171*	-,115	-,151	-,135	-,096	-,109
Índice de Ravaz	-,092	-,063	-,174*	-,114	-,120	-,120	-,154*	,224**	,052	,140	,133	,107	,085

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 11. Correlaciones entre el potencial base y el nitrógeno extraíble del suelo con los parámetros del vino.

	Pot. base	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15 cm	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15 cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45
GA	-,024	-,086	-,037	-,080	-,078	-,066	-,057	-,441**	-,322**	-,404**	-,389**	-,324**	-,335**
Extr. seco	-,049	-,066	-,065	-,075	-,056	-,005	-,035	-,227**	-,177*	-,215**	-,209**	-,179*	-,184*
D relativa	,182	-,341**	-,249**	-,354**	-,340**	-,271**	-,278**	-,191*	-,225**	-,225**	-,229**	-,209**	-,225**
pH	,084	,554**	,374**	,563**	,560**	,491**	,467**	,329**	,434**	,414**	,422**	,387**	,424**
Ac Total	,429**	-,461**	-,239**	-,441**	-,403**	-,273**	-,275**	-,416**	-,479**	-,484**	-,489**	-,442**	-,476**
Ác. tartárico	,025	,043	,151*	,090	,093	,090	,126	-,223**	-,213**	-,234**	-,233**	-,208**	-,218**
Ác. cítrico	,097	-,434**	-,088	-,361**	-,311**	-,164*	-,137	-,337**	-,384**	-,389**	-,395**	-,360**	-,385**
Potasio	,321**	,495**	,387**	,523**	,554**	,561**	,513**	,325**	,409**	,398**	,406**	,374**	,405**
Calcio	,270**	-,133	-,063	-,125	-,114	-,077	-,075	-,122	-,099	-,118	-,145	-,170*	-,142
A420	-,328**	-,198**	-,375**	-,293**	-,329**	-,372**	-,399**	-,176*	-,157	-,178*	-,182*	-,167*	-,169*
A520	-,203*	-,369**	-,473**	-,460**	-,494**	-,513**	-,528**	-,254**	-,265**	-,280**	-,285**	-,263**	-,274**
A620	-,401**	-,035	-,259**	-,125	-,165*	-,237**	-,264**	-,063	-,018	-,041	-,044	-,043	-,032
a* roja	,108	-,166*	,034	-,113	-,077	,012	,024	-,034	-,100	-,075	-,073	-,062	-,083
b* amarilla	,160	-,189**	,009	-,140*	-,104	-,012	-,003	-,041	-,110	-,084	-,083	-,071	-,092
C* croma	,126	-,176*	,022	-,125	-,089	,003	,012	-,040	-,108	-,083	-,081	-,070	-,091
L* luminos.	,077	-,134	,040	-,086	-,048	,044	,045	-,006	-,076	-,047	-,047	-,042	-,060
H* tonalidad	,208*	-,195**	,015	-,142*	-,110	-,025	-,007	-,026	-,089	-,065	-,061	-,048	-,069
S* saturación	-,155	,135	-,073	,074	,041	-,041	-,059	-,026	,031	,005	,001	-,006	,011
IC	-,260*	-,298**	-,438**	-,393**	-,429**	-,461**	-,481**	-,218**	-,214**	-,232**	-,237**	-,219**	-,225**
Tonalidad	,003	,501**	,445**	,550**	,583**	,591**	,558**	,279**	,352**	,342**	,351**	,325**	,350**
IPT	-,405**	-,065	-,242**	-,142*	-,174*	-,226**	-,250**	-,080	-,001	-,040	-,035	-,023	-,013
Antocianos	-,201	,076	-,127	,010	-,035	-,131	-,137	,171*	,286**	,251**	,233**	,181*	,238**
NFA	-,220*	-,134	-,049	-,121	-,119	-,100	-,082	-,513**	-,463**	-,522**	-,489**	-,388**	-,438**

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 12. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y en peciolo.

		Limbo												
		N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
Peciolo	Nitrógeno	,491**	,315**	,459**	-,398**	-,138	,451**	,254**	,076	,007	,275**	,164*	,192**	-,008
	Fósforo	,112	,867**	,427**	-,108	-,014	,322**	,152*	,254**	,342**	,113	,010	,204**	-,337**
	Potasio	,452**	,291**	,868**	,198**	-,338**	,772**	,058	,251**	,398**	,123	-,187**	,110	-,289**
	Calcio	-,162*	-,108	-,029	,425**	-,291**	,133	-,073	-,164*	-,047	-,005	-,019	-,165*	,030
	Magnesio	,072	,029	-,487**	-,068	,751**	-,612**	-,102	-,112	-,305**	-,263**	,134	-,138	,081
	Rel. K/Mg	,380**	,266**	,878**	,179*	-,464**	,830**	,097	,209**	,412**	,188**	-,180*	,160*	-,290**
	Hierro	-,023	,158*	,174*	-,292**	-,062	,164*	,196**	,074	,120	,182*	,198**	,008	-,068
	Manganeso	,093	,031	,136	-,184**	,193**	-,004	,013	,849**	,128	,279**	-,027	-,014	-,182*
	Zinc	,169*	,416**	,464**	,212**	,054	,269**	-,018	,425**	,681**	-,005	-,124	,206**	-,405**
	Cobre	-,102	,126	,232**	-,221**	-,336**	,332**	,215**	,119	-,069	,906**	,073	,127	-,066
	Boro	,076	-,218**	,180*	,164*	,131	,082	,101	-,092	-,049	-,106	,237**	,039	,128
	Sodio	,042	,252**	,177*	-,094	,074	,109	,140*	-,100	,026	-,019	,261**	,356**	,020
	Carbono	-,030	-,232**	-,255**	-,232**	,022	-,207**	,042	-,118	-,361**	,092	-,116	,065	,291**

N, Nitrógeno en limbo (%); P, Fósforo en limbo (%); K, Potasio en limbo (%); Ca, Calcio en limbo (%); Mg, Magnesio en limbo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en limbo (ppm); Mn, Manganeso en limbo (ppm); Cu, Cobre en limbo (ppm); Zn, Zinc en limbo (ppm); B, Boro en limbo (ppm); Na, Sodio en limbo; C, Carbono en limbo (%).  
Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 13. Correlaciones entre elementos minerales en limbo.

		Limbo												
		N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
Limbo	Nitrógeno	1												
	Fósforo	,103	1											
	Potasio	,309**	,399**	1										
	Calcio	-,007	-,132	,036	1									
	Magnesio	,013	,042	-,390**	,029	1								
	Rel. K/Mg	,263**	,277**	,863**	-,050	-,723**	1							
	Hierro	,046	,128	,079	-,190**	-,123	,133	1						
	Manganeso	,110	,194**	,295**	-,039	,052	,141*	-,050	1					
	Zinc	,049	,311**	,414**	,227**	-,088	,256**	-,114	,404**	1				
	Cobre	-,083	,127	,247**	-,205**	-,366**	,365**	,215**	,182*	-,077	1			
	Boro	-,181*	-,044	-,147*	-,158*	,154*	-,173*	,328**	-,167*	-,019	,034	1		
	Sodio	-,025	,205**	,275**	-,033	-,109	,219**	,134	-,005	,207**	,104	,208**	1	
	Carbono	-,007	-,263**	-,326**	-,312**	,033	-,196**	,113	-,308**	-,425**	-,022	,078	-,084	1

N, Nitrógeno en limbo (%); P, Fósforo en limbo (%); K, Potasio en limbo (%); Ca, Calcio en limbo (%); Mg, Magnesio en limbo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en limbo (ppm); Mn, Manganeso en limbo (ppm); Cu, Cobre en limbo (ppm); Zn, Zinc en limbo (ppm); B, Boro en limbo (ppm); Na, Sodio en limbo; C, Carbono en limbo (%). Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 14. Correlaciones entre elementos minerales en peciolo.

		Peciolo												
		N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
Peciolo	Nitrógeno	1												
	Fósforo	,357**	1											
	Potasio	,435**	,392**	1										
	Calcio	-,268**	-,004	,124	1									
	Magnesio	-,115	-,037	-,425**	-,093	1								
	Rel. K/Mg	,412**	,363**	,962**	,087	-,592**	1							
	Hierro	,298**	,191**	,085	-,143*	-,064	,096	1						
	Manganeso	,077	,067	,066	-,203**	,132	,001	,110	1					
	Zinc	,068	,508**	,503**	-,041	-,109	,462**	,067	,280**	1				
	Cobre	,272**	,115	,112	-,014	-,240**	,176*	,257**	,193**	,006	1			
	Boro	,194**	-,218**	,252**	,124	,039	,211**	-,044	-,025	-,067	-,168*	1		
	Sodio	,290**	,233**	,107	,042	,149*	,033	,150*	-,084	,063	-,010	,145*	1	
	Carbono	-,073	-,388**	-,420**	-,344**	,108	-,373**	-,087	,037	-,368**	,058	-,016	-,009	1

N, Nitrógeno en peciolo (%); P, Fósforo en peciolo(%); K, Potasio en peciolo (%); Ca, Calcio en peciolo (%); Mg, Magnesio en peciolo (%), K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en peciolo (ppm); Mn, Manganeso en peciolo (ppm); Cu, Cobre en peciolo (ppm); Zn, Zinc en peciolo (ppm); B, Boro en peciolo (ppm); Na, Sodio en peciolo; C, Carbono en peciolo (%).  
 Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 15. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y parámetros de los mostos.

	N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
GAP	,149*	-,100	-,031	,231**	,075	-,109	-,021	,112	-,009	-,190**	-,085	-,041	,056
pH	,511**	-,066	,226**	,149*	,224**	,015	-,030	,237**	,270**	-,244**	-,135	,001	,073
Ac. Total	-,331**	,237**	,229**	-,196**	-,339**	,367**	,143*	-,045	-,160*	,434**	,225**	,122	-,118
Ác. Tartárico	-,125	,166*	,176*	-,096	-,118	,199**	-,030	,199**	-,052	,150*	,077	-,029	-,097
Ác. Málico	-,129	,278**	,445**	-,177*	-,390**	,520**	,155*	,029	-,010	,439**	,225**	,199**	-,219**
Potasio	,353**	,213**	,641**	,156*	-,156*	,498**	,098	,268**	,267**	,138	-,151*	,239**	,040
IC	-,483**	,059	-,153*	-,012	,049	-,128	,082	-,069	-,322**	-,092	,208**	-,075	,092
Tonalidad	,297**	-,182*	-,094	-,020	,207**	-,168*	-,032	,149*	,080	-,040	-,204**	,006	,272**
Antocianos	-,328**	,016	-,205**	,083	,205**	-,270**	-,017	-,014	-,201**	-,213**	,068	-,112	,015
IPT	-,289**	,072	-,196**	,188**	,194**	-,226**	-,077	-,038	-,131	-,296**	-,069	-,216**	,041
NFA	,253**	,137	,184*	-,170*	,263**	,007	,127	,211**	,043	-,093	,153	-,041	,022
Calcio	,342**	-,187	-,057	,096	,126	-,090	-,030	,068	,260**	-,241*	-,115	-,200*	,283**
Pu sarmiento	,257**	,445**	,611**	-,283**	-,241**	,576**	,170*	,284**	,262**	,397**	,101	,284**	-,272**
P 100 bayas	-,104	,098	,197**	-,212**	-,298**	,308**	,133	-,035	-,027	,405**	,109	,235**	-,112
Pm racimo	,287**	-,054	,251**	-,023	,049	,169*	-,115	,048	,207**	-,038	,124	,084	-,249**
Prod. uva/cepa	,122	-,007	,223**	,009	-,022	,174*	-,116	,047	,211**	,023	,159*	,150*	-,254**
P madera/cepa	,240**	,361**	,564**	-,258**	-,209**	,524**	,122	,291**	,321**	,410**	,131	,310**	-,300**
Indice de Ravaz	-,179*	-,332**	-,343**	,302**	,120	-,294**	-,215**	-,242**	-,149*	-,322**	-,064	-,202**	,075

N, Nitrógeno en limbo (%); P, Fósforo en limbo (%); K, Potasio en limbo (%); Ca, Calcio en limbo (%); Mg, Magnesio en limbo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en limbo (ppm); Mn, Manganeseo en limbo (ppm); Cu, Cobre en limbo (ppm); Zn, Zinc en limbo (ppm); B, Boro en limbo (ppm); Na, Sodio en limbo; C, Carbono en limbo (%).

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 16. Correlaciones entre elementos minerales en peciolo y parámetros de los mostos.

	N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
GAP	-,183**	-,144*	,008	,057	,067	-,050	-,356**	,041	-,010	-,195**	,151*	,030	,151*
pH	,213**	-,067	,376**	-,317**	-,035	,308**	-,016	,173*	,317**	-,292**	,362**	,039	,019
Ac. Total	,193**	,306**	,097	,326**	-,183**	,148*	,138	-,045	-,086	,462**	-,111	,132	-,265**
Á. Tartárico	,230**	,225**	,140*	,180*	-,053	,104	,077	,129	-,049	,143*	,199**	,163*	-,140*
Ác. Málico	,386**	,363**	,346**	,246**	-,301**	,391**	,206**	-,027	,051	,480**	-,026	,173*	-,356**
Potasio	,395**	,260**	,708**	-,053	-,350**	,677**	-,016	,121	,409**	,061	,357**	,192**	-,039
IC	-,222**	,056	-,262**	,310**	,118	-,267**	-,172*	-,103	-,288**	-,103	,041	,154*	-,089
Tonalidad	,025	-,239**	-,014	-,350**	,078	-,045	-,022	,206**	,139	-,098	,050	-,031	,357**
Antocianos	-,249**	-,032	-,269**	,033	,186**	-,300**	-,125	-,053	-,199**	-,242**	,223**	,036	,008
IPT	-,363**	,038	-,202**	,221**	,171*	-,237**	-,137	-,077	-,117	-,324**	,123	-,029	-,061
NFA	,460**	,159*	,284**	-,161*	,120	,197*	,191*	,189*	,172*	-,135	,468**	,223**	-,178*
Calcio	,106	-,198*	,094	-,051	,028	,028	-,003	,012	,114	-,292**	,452**	,035	-,030
Pu sarmiento	,572**	,505**	,516**	-,194**	-,234**	,539**	,260**	,194**	,314**	,411**	-,094	,188**	-,183**
P 100 bayas	,127	,127	,105	,112	-,154*	,158*	,156*	,049	,028	,446**	-,292**	,056	,046
Pm racimo	,254**	-,024	,306**	-,183**	,064	,282**	,168*	,064	,098	,039	-,035	,009	-,143*
Prod. uva/cepa	,184**	,061	,247**	-,112	-,024	,246**	,133	,042	,100	,103	-,118	,000	-,166*
P madera/cepa	,546**	,422**	,477**	-,248**	-,225**	,502**	,258**	,227**	,338**	,438**	-,092	,144*	-,162*
Indice de Ravaz	-,388**	-,331**	-,226**	,276**	,173*	-,250**	-,125	-,207**	-,249**	-,292**	,002	-,133	-,012

N, Nitrógeno en peciolo (%); P, Fósforo en peciolo (%); K, Potasio en peciolo (%); Ca, Calcio en peciolo (%); Mg, Magnesio en peciolo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en peciolo (ppm); Mn, Manganeso en peciolo (ppm); Cu, Cobre en peciolo (ppm); Zn, Zinc en peciolo (ppm); B, Boro en peciolo (ppm); Na, Sodio en peciolo; C, Carbono en peciolo (%).

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 17. Correlaciones entre los elementos minerales en limbo y la composición de los vinos.

	N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
GA	,046	,026	,029	-,130	-,197**	,123	,079	-,005	-,100	,183**	,010	,162*	,218**
Extrac. seco	-,095	,171*	,212**	,072	-,308**	,304**	,058	-,009	-,031	,232**	-,062	,068	,218**
D relativa	-,365**	,139	,137	,016	-,311**	,255**	-,007	-,031	-,025	,240**	,072	-,109	-,076
pH	,505**	,016	,470**	,164*	-,039	,299**	-,009	,253**	,312**	-,052	-,152*	,128	-,006
Ac. Total	-,384**	,196**	,028	-,205**	-,328**	,234**	,131	-,149*	-,181*	,382**	,179*	,052	-,083
Ác. Tartárico	,163*	-,122	-,048	-,106	,022	-,005	,064	-,028	,055	,173*	,075	,060	-,039
Ác. Cítrico	-,260**	,156	,175*	-,418**	-,234**	,286**	,108	-,025	-,224**	,417**	,290**	,196*	,016
Potasio	,414**	,208**	,712**	,119	-,238**	,580**	,076	,283**	,389**	,176*	-,078	,202**	-,105
Calcio	,027	,197**	,291**	-,071	-,341**	,381**	-,003	,113	,091	,280**	-,105	-,048	-,283**
A420	-,116	-,008	-,251**	,091	,013	-,202**	-,051	-,082	-,198**	-,233**	-,228**	-,147*	,197**
A520	-,251**	-,036	-,379**	,067	,001	-,271**	-,091	-,137	-,229**	-,208**	-,192**	-,207**	,118
A620	,004	-,018	-,158*	,135	,046	-,167*	-,073	-,017	-,117	-,263**	-,270**	-,115	,197**
IC	-,195**	-,028	-,333**	,083	,009	-,249**	-,081	-,113	-,215**	-,227**	-,216**	-,187**	,150*
Tonalidad	,443**	,144*	,530**	,071	-,075	,395**	,106	,178*	,237**	,076	-,075	,233**	,065
IPT	-,068	,017	-,126	,153*	-,011	-,098	-,017	-,016	-,149*	-,179*	-,203**	-,122	,262**
Antocianos	,072	-,018	-,091	,219**	,179*	-,184**	-,057	,040	-,029	-,289**	-,123	-,127	,058
NFA	,255**	,069	,062	-,100	-,133	,123	-,075	-,080	-,186**	,019	-,276**	,209**	-,041
a* roja CieLab	-,150*	,068	,084	-,169*	-,050	,097	,122	,008	-,010	,286**	,303**	,121	-,156*
b* amarilla	-,186**	,076	,064	-,181*	-,036	,070	,140*	,013	-,025	,312**	,314**	,112	-,153*
C* cromaticidad	-,168*	,075	,077	-,178*	-,046	,088	,131	,007	-,019	,298**	,312**	,120	-,153*
L* luminosidad	-,141*	,124	,133	-,190**	-,055	,135	,113	,018	,009	,279**	,305**	,143*	-,148*
H* tonalidad	-,166*	,025	,035	-,141*	-,026	,042	,138	,030	-,015	,314**	,279**	,077	-,170*
S* saturación	,085	-,012	-,094	,102	,051	-,099	-,107	-,047	-,040	-,270**	-,242**	-,091	,187**

N, Nitrógeno en limbo (%); P, Fósforo en limbo (%); K, Potasio en limbo (%); Ca, Calcio en limbo (%); Mg, Magnesio en limbo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en limbo (ppm); Mn, Manganeseo en limbo (ppm); Cu, Cobre en limbo (ppm); Zn, Zinc en limbo (ppm); B, Boro en limbo (ppm); Na, Sodio en limbo; C, Carbono en limbo (%). Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 18. Correlaciones entre los elementos minerales en peciolo y la composición de los vinos.

	N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	C
GA	,081	-,029	-,059	-,002	-,092	-,049	-,161*	,015	-,023	,169*	-,036	,145*	,223**
Extrac. seco	-,008	,156*	,168*	,283**	-,194**	,168*	-,142*	-,060	,119	,231**	-,027	,119	,072
D relativa	-,070	,184**	,085	,405**	-,162*	,108	,109	-,085	-,011	,296**	-,122	-,030	-,286**
pH	,341**	,023	,559**	-,236**	-,294**	,525**	-,033	,130	,343**	-,101	,406**	,117	,019
Ac. Total	,013	,250**	-,093	,353**	-,073	-,035	,097	-,109	-,149*	,410**	-,299**	,033	-,192**
Ác. Tartárico	,134	-,128	-,023	-,335**	,032	,032	,089	,087	,100	,136	-,062	-,081	,193**
Ác. Cítrico	,304**	,185*	-,006	,132	-,084	,036	,255**	,071	-,144	,424**	-,022	,269**	-,185*
Potasio	,442**	,288**	,782**	-,038	-,469**	,766**	,090	,128	,455**	,123	,310**	,178*	-,239**
Calcio	,074	,187**	,208**	,144*	-,214**	,205**	,106	,058	,127	,329**	-,206**	,061	-,105
A420	-,322**	-,120	-,291**	,029	,118	-,315**	-,290**	-,132	-,213**	-,229**	-,028	-,041	,310**
A520	-,442**	-,131	-,428**	,108	,186**	-,434**	-,240**	-,163*	-,292**	-,177*	-,191**	-,136	,243**
A620	-,245**	-,135	-,175*	-,047	,076	-,214**	-,293**	-,085	-,123	-,270**	,092	-,015	,343**
IC	-,402**	-,132	-,377**	,073	,162*	-,392**	-,266**	-,151*	-,261**	-,206**	-,123	-,102	,278**
Tonalidad	,414**	,174*	,599**	-,129	-,285**	,576**	,001	,117	,418**	,003	,358**	,234**	-,035
IPT	-,250**	-,054	-,131	,123	-,007	-,159*	-,343**	-,084	-,115	-,250**	,141*	,062	,250**
Antocianos	-,197**	-,061	-,076	-,005	,057	-,117	-,308**	-,038	-,034	-,333**	,234**	,050	,158*
NFA	,207**	-,091	-,021	-,334**	,084	-,017	-,107	-,112	-,158*	,030	-,055	,076	,404**
a* roja CieLab	,122	,154*	,027	,123	-,001	,047	,246**	,094	,060	,308**	-,140*	,038	-,272**
b* amarilla	,112	,161*	,004	,138	,010	,023	,222**	,108	,051	,340**	-,144*	,018	-,273**
C* cromaticidad	,121	,161*	,017	,130	,003	,038	,239**	,098	,056	,323**	-,141*	,033	-,273**
L* luminosidad	,167*	,207**	,064	,124	-,015	,082	,266**	,094	,093	,304**	-,110	,072	-,287**
H* tonalidad	,069	,113	-,004	,140*	,018	,011	,185**	,125	,048	,339**	-,160*	-,026	-,271**
S* saturación	-,085	-,108	-,066	-,119	,016	-,081	-,208**	-,117	-,095	-,286**	,140*	,006	,285**

N, Nitrógeno en peciolo (%); P, Fósforo en peciolo (%); K, Potasio en peciolo (%); Ca, Calcio en peciolo (%); Mg, Magnesio en peciolo (%); K/Mg, relación Potasio/ Magnesio; Fe, Hierro en peciolo (ppm); Mn, Manganeseo en peciolo (ppm); Cu, Cobre en peciolo (ppm); Zn, Zinc en peciolo (ppm); B, Boro en peciolo (ppm); Na, Sodio en peciolo; C, Carbono en peciolo (%). Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel  $p<0,05$  y  $p<0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 19. Correlaciones entre parámetros de productividad y de composición de los mostos.

	Pu sarmiento	P 100 bayas	Pm racimo	Prod. uva/cepa	P madera/cepa	Indice de Ravaz
GAP	-,238**	-,469**	-,392**	-,506**	-,276**	-,162*
pH	-,032	-,529**	,019	-,129	-,006	-,188**
Ac. Total	,437**	,555**	,046	,164*	,377**	-,133
Ác. Tartárico	,236**	-,030	-,182*	-,127	,179*	-,219**
Ác. Málico	,611**	,519**	,192**	,244**	,566**	-,263**
Potasio	,341**	-,119	-,034	-,073	,312**	-,372**
IC	-,153*	-,099	-,407**	-,346**	-,255**	,010
Tonalidad	-,146*	-,229**	-,012	-,060	-,074	-,046
Antocianos	-,338**	-,522**	-,456**	-,494**	-,395**	-,026
IPT	-,438**	-,381**	-,427**	-,416**	-,511**	,179*
NFA	,185*	-,301**	-,046	-,165*	,160*	-,324**
Calcio	-,313**	-,671**	-,383**	-,486**	-,308**	-,161
Pm Sarmiento	1					
Peso100 Bayas	,419**	1				
Peso Racimo	,388**	,404**	1			
Prod Uva/Cepa	,342**	,507**	,888**	1		
P Madera/Cepa	,959**	,443**	,462**	,433**	1	
Indice Ravaz	-,646**	-,015	,226**	,351**	-,621**	1

Pu sarmiento, Peso unitario del sarmiento; P100 bayas, Peso de 100 bayas; Pm racimo, Peso medio del racimo; Prod. uva/cepa, Producción de uva por cepa; Prod. madera/cepa, Producción de madera por cepa; Índice de Ravaz.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas para una  $p < 0,05$  y  $0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 20. Correlaciones entre parámetros de productividad y de composición de los vinos.

	Pu sarmiento	P 100 bayas	Pm racimo	Prod. uva/cepa	P madera/cepa	Indice de Ravaz
GA	,124	-,014	-,384**	-,434**	,101	-,441**
Extracto seco	,079	-,013	-,324**	-,291**	,024	-,189**
D relativa	,134	,186**	,032	,095	,092	,103
pH	,192**	-,406**	-,001	-,129	,208**	-,363**
Ac. Total	,257**	,596**	,024	,156*	,215**	,040
Ác. Tartárico	,211**	,137	,272**	,247**	,289**	-,070
Ác. Cítrico	,461**	,455**	,122	,158	,421**	-,164*
Potasio	,453**	-,110	,100	,026	,442**	-,408**
Calcio	,240**	,286**	,114	,196**	,249**	,007
A420	-,445**	-,443**	-,507**	-,516**	-,496**	,051
A520	-,478**	-,269**	-,394**	-,372**	-,519**	,216**
A620	-,420**	-,543**	-,481**	-,516**	-,460**	-,011
IC	-,477**	-,352**	-,444**	-,436**	-,522**	,155*
Tonalidad	,330**	-,164*	-,048	-,099	,319**	-,411**
IPT	-,392**	-,520**	-,661**	-,657**	-,464**	-,091
Antocianos	-,371**	-,622**	-,498**	-,558**	-,415**	-,111
NFA	,158*	-,082	,020	-,037	,156*	-,174*
a* roja CieLab	,314**	,492**	,308**	,374**	,327**	,012
b* amarilla	,306**	,501**	,284**	,344**	,318**	,002
C* cromaticidad	,313**	,501**	,300**	,366**	,325**	,009
L* luminosidad	,340**	,484**	,299**	,375**	,346**	-,010
H* tonalidad	,280**	,470**	,269**	,302**	,298**	-,008
S* saturación	-,295**	-,433**	-,296**	-,331**	-,317**	,012

Pu sarmiento, Peso unitario del sarmiento; P100 bayas, Peso de 100 bayas; Pm racimo, Peso medio del racimo; Prod. uva/cepa, Producción de uva por cepa; Prod. madera/cepa, Producción de madera por cepa; Índice de Ravaz.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas para una  $p < 0,05$  y  $0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 21. Correlaciones entre los parámetros de los mostos.

	GAP	pH	AT	Ác. Tart	Ác. Mal	K	IC	Tonalidad	Antocianos	IPT	NFA	Ca
GAP	1											
pH	,360**	1										
AT	-,397**	-,741**	1									
Ác. Tartárico	-,028	-,150*	,462**	1								
Ác. Málico	-,389**	-,511**	,917**	,421**	1							
Potasio	,244**	,656**	-,153*	,174*	,056	1						
IC	,290**	-,462**	,433**	,289**	,251**	-,223**	1					
Tonalidad	,050	,655**	-,639**	-,238**	-,573**	,387**	-,553**	1				
Antocianos	,470**	-,046	-,055	,218**	-,165*	-,114	,634**	-,332**	1			
IPT	,343**	-,060	-,092	,162*	-,258**	-,132	,490**	-,227**	,743**	1		
NFA	,065	,436**	-,093	,241**	,067	,381**	-,027	,054	,207*	-,001	1	
Calcio	,367**	,640**	-,576**	-,057	-,498**	,415**	-,327**	,590**	,212*	,195*	,464**	1

GAP, Grado alcohólico probable; AT, Acidez total; Ác. Tart., Ácido tartárico; Ác. Mal., Acido málico; K, Potasio; IC, Intensidad colorante; IPT, Índice de polifenoles totales; NFA, Nitrógeno fácilmente asimilable; Ca, Calcio.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas para una  $p < 0,05$  y  $0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 22. Correlaciones entre parámetros de los mostos y composición de los vinos.

	GAP	pH	AT	Ác. Tart	Ác. Mal	K	IC	Tonalidad	Antocianos	IPT	NFA	Ca
GA	,526**	-,012	,099	,065	,091	,156*	,187**	-,069	,125	-,039	-,026	,004
Extracto seco	,316**	-,036	,201**	,207**	,137	,322**	,187**	,020	,070	,170*	-,204*	,034
D relativa	-,248**	-,474**	,562**	,294**	,477**	-,185**	,300**	-,390**	,037	,163*	-,221**	-,338**
pH	,367**	,871**	-,499**	-,004	-,232**	,782**	-,423**	,476**	-,056	-,149*	,445**	,604**
Ac. Total	-,372**	-,874**	,876**	,229**	,735**	-,401**	,405**	-,649**	-,087	-,054	-,313**	-,634**
Ác. Tartárico	-,289**	,083	-,094	-,199**	-,019	-,093	-,415**	,205**	-,415**	-,497**	-,006	-,356**
Ác. Cítrico	-,474**	-,580**	,827**	,364**	,822**	-,271**	,341**	-,538**	-,098	-,188*	,070	-,449**
Potasio	,136	,613**	-,078	,123	,194**	,828**	-,347**	,235**	-,190**	-,230**	,431**	,356**
Calcio	-,184**	-,287**	,338**	,157*	,342**	-,063	-,073	-,192**	-,154*	-,057	-,207*	-,219*
A420	,632**	,025	-,326**	-,038	-,485**	-,085	,360**	-,003	,603**	,570**	-,099	,234*
A520	,457**	-,263**	-,170*	-,077	-,393**	-,382**	,414**	-,165*	,534**	,552**	-,281**	-,028
A620	,669**	,266**	-,477**	-,030	-,571**	,117	,205**	,176*	,567**	,531**	,013	,420**
IC	,539**	-,137	-,250**	-,064	-,449**	-,261**	,389**	-,090	,571**	,571**	-,206*	,093
Tonalidad	,140*	,692**	-,216**	,090	,019	,817**	-,368**	,421**	-,221**	-,248**	,435**	,505**
IPT	,668**	,202**	-,324**	,088	-,451**	,194**	,361**	,080	,565**	,564**	-,009	,383**
Antocianos	,674**	,350**	-,458**	,052	-,511**	,178*	,273**	,055	,633**	,531**	,186*	,440**
NFA	,139	,089	-,107	,052	-,031	,075	-,133	,144*	,037	-,142*	-,035	-,233*
a* roja CieLab	-,612**	-,369**	,540**	,098	,570**	-,180*	-,035	-,208**	-,383**	-,321**	-,084	-,460**
b* amarilla	-,585**	-,409**	,572**	,091	,595**	-,202**	,012	-,252**	-,341**	-,299**	-,054	-,472**
C* cromaticidad	-,609**	-,391**	,561**	,099	,588**	-,190**	-,014	-,231**	-,366**	-,311**	-,072	-,468**
L* luminosidad	-,641**	-,347**	,558**	,130	,599**	-,134	-,048	-,210**	-,377**	-,300**	-,034	-,421**
H* tonalidad	-,502**	-,379**	,515**	,048	,538**	-,210**	,010	-,224**	-,333**	-,306**	-,068	-,458**
S* saturación	,511**	,273**	-,436**	-,049	-,482**	,136	,085	,133	,398**	,337**	,087	,394**

GAP, Grado alcohólico probable; AT, Acidez total; Ác. Tart., Ácido tartárico; Ác. Mal., Ácido málico; K, Potasio; IC, Intensidad colorante; IPT, Índice de polifenoles totales; NFA, Nitrógeno fácilmente asimilable; Ca, Calcio. GA, Grado alcohólico del vino; D relativa, Densidad relativa del vino; A420, Absorbancia a 420 nm; A520, Absorbancia a 520 nm; A620, Absorbancia a 620 nm IC, Intensidad colorante; IPT, Índice de polifenoles totales

Correlaciones con \* o \*\* son significativas para una  $p < 0,05$  y  $0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 23. Correlaciones entre elementos climáticos y aromas del vino.

	T <sup>a</sup> m	Pr_m	Pr_ene-may	Pr_abr-oct	Pr_sept-oct	R solar	ETo	IH	IF	IS
Metanol	,929**	-,928**	-,874**	-,773**	-,233	,847**	,798**	,899**	,142	-,906**
1 Propanol	,628**	-,648**	-,737**	-,293*	,249	,749**	,758**	,718**	,512**	-,709**
Isobutanol	,898**	-,910**	-,935**	-,607**	,023	,927**	,905**	,936**	,392**	-,935**
1 Butanol	,934**	-,940**	-,930**	-,698**	-,093	,913**	,879**	,942**	,288*	-,945**
Alc.amílicos	,910**	-,925**	-,973**	-,574**	,096	,970**	,956**	,968**	,471**	-,964**
1 Hexanol	,718**	-,746**	-,881**	-,275	,391**	,903**	,924**	,849**	,695**	-,836**
Cis 3 hexenol	,479**	-,510**	-,674**	-,049	,500**	,706**	,746**	,632**	,709**	-,615**
Methionol	,911**	-,900**	-,786**	-,872**	-,429**	,744**	,674**	,827**	-,066	-,841**
Alc.bencílico	,494**	-,469**	-,287*	-,691**	-,619**	,235	,157	,343*	-,432**	-,364**
2 fenil etanol	,875**	-,880**	-,866**	-,663**	-,103	,849**	,814**	,878**	,253	-,881**
Acet. etilo	,741**	-,767**	-,889**	-,315*	,348*	,908**	,924**	,862**	,661**	-,850**
Acet. isoamilo	,644**	-,664**	-,755**	-,304*	,250	,767**	,776**	,735**	,521**	-,726**
Acet. hexilo	,663**	-,653**	-,554**	-,664**	-,363**	,519**	,463**	,589**	-,100	-,601**
2 feniletil acet	,819**	-,820**	-,783**	-,664**	-,173	,761**	,721**	,802**	,158	-,807**
Propion. etilo	,133	-,180	-,462**	,419**	,905**	,529**	,621**	,383**	,982**	-,352*
Etil3Hidroxitbutir	,658**	-,687**	-,832**	-,213	,427**	,857**	,885**	,797**	,708**	-,782**
Isobutirato etilo	,783**	-,795**	-,829**	-,507**	,061	,825**	,811**	,827**	,383**	-,825**
Butirato de etilo	,509**	-,543**	-,733**	-,024	,580**	,771**	,819**	,684**	,803**	-,664**
Hexanoato etilo	,714**	-,739**	-,856**	-,306*	,332*	,873**	,889**	,829**	,633**	-,818**
Octanoato etilo	,621**	-,650**	-,803**	-,172	,454**	,831**	,862**	,766**	,720**	-,750**
Lactato de etilo	,887**	-,882**	-,803**	-,789**	-,311*	,771**	,714**	,835**	,045	-,845**
Succinato dietilo	,791**	-,771**	-,601**	-,885**	-,599**	,548**	,463**	,657**	-,290*	-,677**
Ac. isobutírico	,852**	-,828**	-,636**	-,971**	-,677**	,576**	,482**	,699**	-,344*	-,722**
Ácido hexanoico	,616**	-,636**	-,729**	-,278*	,260	,742**	,753**	,708**	,519**	-,699**
Acido octanoico.	,770**	-,793**	-,895**	-,374**	,280*	,908**	,917**	,873**	,603**	-,863**
Acido decanoico	,707**	-,728**	-,823**	-,341*	,261	,835**	,843**	,803**	,557**	-,793**
Acetoína	,866**	-,859**	-,769**	-,794**	-,346*	,734**	,675**	,803**	,001	-,815**
Diacetilo	,896**	-,897**	-,856**	-,727**	-,191	,832**	,788**	,876**	,172	-,882**
Butirolactona	,708**	-,689**	-,534**	-,799**	-,548**	,485**	,408**	,585**	-,272	-,603**
Acetaldehído	-,830**	,848**	,912**	,486**	-,156	-,915**	-,909**	-,902**	-,500**	,896**

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 24. Correlaciones entre parámetros edáficos y compuestos aromáticos del vino.

	Pef	R útil	EG Hss	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla Hss	Carbonatos Hss	Caliza Hss	Pot. base
Metanol	-,114	-,080	,034	-,145	-,134	-,105	-,122	-,051	-,086	-,114
1 Propanol	,100	,110	-,086	,016	,102	,027	,113	,098	,087	,100
Isobutanol	-,167	-,171	,143	-,079	-,166	-,013	-,112	-,122	-,129	-,167
1 Butanol	-,064	-,047	,069	-,023	-,030	,005	,003	-,007	-,016	-,064
Alc.amílicos	-,084	-,084	,071	-,042	-,086	-,009	-,049	-,048	-,054	-,084
1 Hexanol	-,117	-,085	,041	-,135	-,129	-,105	-,142	-,078	-,108	-,117
Cis 3 hexenol	,044	-,020	,030	,195	,040	,063	-,018	-,034	,037	,044
Methionol	-,165	-,112	,050	-,211	-,180	-,154	-,191	-,099	-,149	-,165
Alc.bencílico	-,344*	-,278*	,158	-,382**	-,374**	-,209	-,354*	-,267	-,350*	-,344*
2 fenil etanol	-,119	-,116	,098	-,052	-,114	-,027	-,095	-,086	-,089	-,119
Acet. etilo	-,037	-,021	,022	-,052	-,031	-,008	,006	,005	-,013	-,037
Acet. isoamilo	,040	,099	-,087	-,050	,030	-,108	,053	,189	,155	,040
Acet. hexilo	,145	,095	-,029	,196	,173	,162	,187	,076	,122	,145
2 feniletíl acet	-,022	,031	-,017	-,066	-,009	-,079	,019	,105	,073	-,022
Propion. etilo	,045	,033	-,032	,026	,044	,026	,017	-,013	-,006	,045
Etil3Hidroxi butir	,054	,078	-,067	,001	,055	-,040	,033	,083	,073	,054
Isobutirato etilo	,137	,057	,024	,259	,208	,233	,144	-,068	,007	,137
Butirato de etilo	,068	,083	-,090	-,007	,051	-,043	,016	,063	,054	,068
Hexanoato etilo	,079	,106	-,087	-,013	,070	-,016	,111	,151	,128	,079
Octanoato etilo	,083	,096	-,073	,002	,081	,023	,118	,111	,096	,083
Lactato de etilo	-,076	-,063	,021	-,094	-,071	-,067	-,164	-,162	-,175	-,076
Succinato dietilo	,129	,066	,002	,242	,163	,163	,151	,046	,113	,129
Ac. isobutírico	,006	-,018	,042	,087	,017	,054	,041	,019	,045	,006
Ácido hexanoico	-,078	-,020	-,072	-,233	-,139	-,199	-,185	-,048	-,109	-,078
Acido octanoico.	,056	,090	-,084	-,023	,054	-,061	,027	,093	,074	,056
Acido decanoico	,181	,241	-,247	-,050	,143	-,125	,081	,217	,176	,181
Acetoína	-,084	-,102	,133	,021	-,050	,090	,041	-,040	-,031	-,084
Diacetilo	-,012	-,033	,039	,085	-,020	,003	-,008	,032	,062	-,012
Butirolactona	,192	,120	-,053	,242	,228	,203	,179	,012	,076	,192
Acetaldehído	,154	,141	-,115	,084	,161	,055	,103	,056	,069	,154

Pef.,

Profundidad efectiva del suelo; R útil, Reserva útil del suelo; EG Hss, Pedregosidad de los horizontes subsuperficiales; K Ap, Potasio en el Ap; Mg Ap, Magnesio en el Ap; CIC Hss, Capacidad de Intercambio Catiónico en los horizontes subsuperficiales; Arcilla Hss, Arcilla en los horizontes subsuperficiales; Carbonatos Hss, Carbonatos totales en los horizontes subsuperficiales; Caliza Hss, Caliza activa en los horizontes subsuperficiales; Pot. base; potencial hídrico foliar de base.

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 25. Correlaciones entre N extraíble del suelo y aromas del vino.

	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-15	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-30	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 30-45	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 15-45
Metanol	-,386*	,030	,470**	,357*	-,587**	,336*	-,676**	,069	,311*	,200	-,746**	,245
1 Propanol	,259	,193	,621**	,562**	-,289*	,510**	-,370**	,374**	,603**	,554**	-,320*	,538**
Isobutanol	-,458**	,216	,597**	,482**	-,591**	,492**	-,673**	,353*	,560**	,459**	-,643**	,498**
1 Butanol	-,184	,258	,646**	,556**	-,486**	,561**	-,661**	,262	,503**	,413**	-,648**	,446**
Alcoholes amílicos	-,317	,290*	,687**	,581**	-,521**	,586**	-,628**	,423**	,640**	,553**	-,574**	,587**
1 Hexanol	-,248	,236	,595**	,498**	-,498**	,506**	-,446**	,591**	,779**	,715**	-,350*	,722**
Cis 3 hexenol	,100	,447**	,630**	,576**	-,212	,613**	-,221	,726**	,818**	,796**	-,054	,798**
Methionol	-,440**	-,013	,352*	,253	-,570**	,247	-,702**	-,105	,126	,021	-,803**	,072
Alcohol benílico	-,402*	-,294*	-,103	-,170	-,510**	-,182	-,607**	-,483**	-,338*	-,414**	-,722**	-,375**
2 fenil etanol	-,304	,204	,546**	,444**	-,520**	,452**	-,639**	,240	,432**	,344*	-,624**	,391**
Acetato de etilo	,035	,288*	,679**	,596**	-,412**	,592**	-,446**	,572**	,775**	,703**	-,377**	,708**
Acetato de isoamilo	,073	,253	,588**	,539**	-,278*	,525**	-,349*	,418**	,625**	,590**	-,283*	,582**
Acetato de hexilo	,192	,263	,513**	,485**	-,124	,469**	-,453**	-,039	,132	,066	-,511**	,092
2 feniletil acetato	-,132	,202	,522**	,458**	-,370**	,455**	-,561**	,126	,341*	,280*	-,558**	,308*
Propionato de etilo	,200	,285*	,494**	,456**	-,122	,443**	,063	,854**	,917**	,919**	,237	,873**
Etil 3 Hidroxibutirato	,160	,312*	,684**	,622**	-,311*	,612**	-,340*	,612**	,814**	,763**	-,253	,750**
Isobutirato de etilo	,254	,421**	,745**	,676**	-,276*	,683**	-,471**	,432**	,616**	,530**	-,449**	,548**
Butirato de etilo	,207	,300*	,645**	,587**	-,262	,569**	-,226	,672**	,848**	,820**	-,100	,797**
Hexanoato de etilo	,357*	,274	,722**	,661**	-,294*	,614**	-,379**	,501**	,735**	,680**	-,338*	,670**
Octanoato de etilo	,365*	,223	,693**	,630**	-,297*	,569**	-,320*	,556**	,785**	,731**	-,257	,704**
Lactato de etilo	-,280	,069	,449**	,348*	-,532**	,335*	-,671**	,029	,246	,134	-,741**	,178
Succinato de dietilo	,075	,229	,483**	,434**	-,232	,435**	-,610**	-,173	-,001	-,091	-,691**	-,036
Ácido isobutírico	-,107	,068	,376**	,311*	-,357*	,300*	-,664**	-,282*	-,076	-,176	-,791**	-,118
Ácido hexanoico	-,141	,042	,435**	,345*	-,467**	,313*	-,414**	,392**	,558**	,482**	-,397**	,494**
Ácido octanoico	,147	,324*	,713**	,645**	-,331*	,636**	-,413**	,523**	,743**	,690**	-,346*	,697**
Ácido decanoico	,464**	,225	,699**	,643**	-,263	,581**	-,359**	,397**	,655**	,610**	-,313*	,603**
Acetoína	-,123	,088	,475**	,388**	-,453**	,364**	-,644**	,003	,215	,099	-,746**	,140
Diacetilo	-,120	,211	,584**	,496**	-,452**	,493**	-,628**	,157	,389**	,316*	-,606**	,354*
Butirolactona	,170	,249	,487**	,450**	-,150	,438**	-,538**	-,173	-,011	-,084	-,599**	-,037
Acetaldehído	,312	-,201	-,592**	-,490**	,535**	-,483**	,566**	-,423**	-,636**	-,551**	,538**	-,569**

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de p<0,05 y p<0,01 respectivamente.

Anexo III, Tabla 26. Correlaciones entre elementos minerales en limbo y peciolo, el NFA en mosto y los aromas del vino.

	N en limbo	K en limbo	Ca en limbo	N en peciolo	K en peciolo	Ca en peciolo	NFA en mosto
Metanol	,642**	,172	,201	,161	,266	-,459**	,082
1 Propanol	,481**	,089	,211	,180	,274	-,271	,603**
Isobutanol	,650**	,162	,309*	,063	,279*	-,286*	-,062
1 Butanol	,624**	,031	,210	,120	,116	-,417**	,151
Alc.amílicos	,635**	,077	,312*	,017	,215	-,327*	-,032
1 Hexanol	,693**	,086	,268	,095	,288*	-,301*	,133
Cis 3 hexenol	,379**	,062	,403**	-,099	,177	-,083	-,066
Methionol	,530**	,115	,089	,179	,155	-,559**	-,015
Alc.bencílico	,445**	,337*	-,232	,493**	,258	-,377**	,028
2 fenil etanol	,462**	,001	,294*	-,093	,070	-,371**	-,283*
Acet. etilo	,632**	,134	,288*	,094	,325*	-,277*	,318*
Acet. isoamilo	,522**	,042	,285*	,067	,206	-,330*	,463**
Acet. hexilo	,188	-,068	,144	-,090	-,081	-,148	-,154
2 feniletíl acet	,430**	-,110	,278*	-,112	-,030	-,409**	-,075
Propion. etilo	,346*	,058	,313*	-,040	,291*	,090	,263
Etil3Hidroxibutir	,519**	,044	,397**	-,025	,247	-,188	,231
Isobutirato etilo	,386**	-,164	,261	-,155	-,083	-,158	-,194
Butirato de etilo	,514**	,146	,361**	,069	,386**	-,114	,453**
Hexanoato etilo	,525**	,029	,307*	,022	,223	-,272	,331*
Octanoato etilo	,510**	,048	,327*	,014	,263	-,211	,371**
Lactato de etilo	,628**	,104	,048	,234	,170	-,516**	,029
Succinato dietilo	,223	-,008	,142	-,058	-,064	-,268	-,153
Ac. isobutírico	,318*	-,019	,064	,080	-,071	-,433**	-,079
Ácido hexanoico	,619**	,261	,253	,086	,441**	-,271	,083
Acido octanoico.	,546**	-,006	,387**	-,044	,179	-,293*	,122
Acido decanoico	,428**	,016	,341*	-,033	,162	-,328*	,197
Acetoína	,517**	-,005	,029	,109	,023	-,440**	,004
Diacetilo	,530**	,002	,278*	,103	,089	-,424**	,123
Butirolactona	,123	-,183	,113	-,160	-,222	-,198	-,394**
Acetaldehído	-,658**	-,127	-,280*	-,160	-,262	,400**	-,247

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 27. Correlaciones del calcio en el suelo con los parámetros del suelo.

	Pef	R útil	K Ap	Mg Ap	CIC Hss	Arcilla B/C	Carbonatos B/C	Caliza B/C	Pot. base
Calcio Ap	-,185**	-,046	-,342**	-,053	-,434**	-,253**	,576**	,543**	-,069
Calcio B/C	-,731**	-,640**	-,475**	-,760**	,088	-,043	,727**	,700**	-,521**

Anexo III, Tabla 28. Correlaciones entre el calcio en el suelo y el N extraíble del suelo.

	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-15	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-30	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 30-45	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 15-45
Calcio Ap	-,164*	-,163*	-,187**	-,188**	-,171*	-,179*
Calcio B/C	-,359**	-,352**	-,406**	-,462**	-,533**	-,480**

Anexo III, Tabla 29. Correlaciones entre el calcio en el suelo y la composición mineral de la hoja (N, K y Mg).

	N limbo	K limbo	Mg limbo	N pecíolo	K pecíolo	Mg pecíolo
Calcio Ap	-,407**	-,254**	,110	-,461**	-,236**	,117
Calcio B/C	-,352**	-,743**	,377**	-,442**	-,754**	,436**

Anexo III, Tabla 30. Correlaciones entre el calcio en el suelo y los parámetros del mosto.

	GAP	pH	AT	Ác. Tart	Ác. Mal	K	IColor	Tonalidad	Antocianos	IPT	NFA	Ca
Calcio Ap	,050	-,156*	-,079	-,019	-,191**	-,232**	,203**	,056	,063	,019	,144*	-,427**
Calcio B/C	,314**	-,219**	-,185**	,013	-,437**	-,492**	,530**	,454**	-,052	,518**	,471**	-,119

Anexo III, Tabla 31. Correlaciones entre el calcio en el suelo y los componentes del vigor y del rendimiento.

	Pu sarmiento	P 100 bayas	Pm racimo	Prod. uva/cepa	P madera/cepa	Indice de Ravaz
Calcio Ap	-,306**	,008	,025	,088	-,213**	,330**
Calcio B/C	-,639**	-,289**	-,442**	-,374**	-,625**	,286**

Correlaciones con \* o \*\* son significativas a nivel de  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$  respectivamente.

Anexo III, Tabla 32. Correlaciones entre el calcio en el suelo y las características del vino.

	GA	pH	AT	Ác. Tart	K	IColor	Tonalidad	IPT	Antocianos	NFA
Calcio Ap	-,024	-,237**	,060	-,080	-,301**	,205**	-,244**	,073	-,013	-,101
Calcio B/C	0,79	-,398**	-,033	-,267**	-,642**	,555**	-,467**	,440**	,407**	-,034

Anexo III, Tabla 33. Correlaciones de los carbonatos equivalentes y la caliza activa de los horizontes B/C con los parámetros del suelo.

	Pef	R útil	K Ap	Mg Ap	CIC B/C	Arcilla B/C	Pot. base
Carbonatos	-,633**	-,473**	-,321**	-,362**	,048	,099	-,182
Caliza activa	-,487**	-,323**	-,253**	-,279**	,031	,151*	-,184