



FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA
Y BROMATOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN DE *VITIS VINIFERA* CV.
TEMPRANILLO SOBRE 16 PORTAINJERTOS EN SUELOS
CALCÁREOS. APLICACIONES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Laura Caminero Lobera

Madrid, 2019

Nafarroako Gobernua
Landa Garapeneko eta Ingurumeneko
Departamentua



Gobierno de Navarra
Departamento de Desarrollo Rural y
Medio Ambiente



FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA
Y BROMATOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN DE *VITIS VINIFERA* CV.
TEMPRANILLO SOBRE 16 PORTAINJERTOS EN SUELOS
CALCÁREOS. APLICACIONES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Presentado por:

Laura Caminero Lobera

Directores:

Dr. Agustín Gárate Ormaechea

Dr. Felipe Yunta Mezquita

Nafarroako Gobernua
Landa Garapeneko eta Ingurumeneko
Departamentua



Gobierno de Navarra
Departamento de Desarrollo Rural y
Medio Ambiente



FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA
Y BROMATOLOGÍA

AGUSTÍN GÁRATE ORMAECHEA, CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD Y FELIPE YUNTA MEZQUITA, PROFESOR AYUDANTE DOCTOR, AMBOS, COMO PERSONAL DOCENTE E INVESTIGADOR EN EL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRICOLA Y BROMATOLOGÍA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERISAD AUTÓNOMA DE MADRID

CERTIFICAN

Que D^a Laura Caminero Lobera ha realizado, bajo nuestra dirección y en este Departamento, el trabajo que lleva por título “Evaluación de la adaptación de *Vitis Vinifera* cv. Tempranillo sobre 16 portainjertos en suelos calcáreos. Aplicaciones en agricultura de precisión” que constituye su Memoria de Tesis Doctoral. Dicho trabajo reúne las condiciones necesarias para su presentación y defensa.

Y para que así conste a los efectos oportunos firmamos el presente certificado en Madrid a 16 de octubre de 2019

Fdo.: Felipe Yunta Mezquita

Fdo.: Agustín Gárate Ormaechea

Los trabajos recogidos en la presente tesis han dado lugar hasta el momento a las siguientes comunicaciones y publicaciones:

1. Caminero, L., Cibriain, J.F., Yunta, F., Gárate, A. Adaptación de Tempranillo sobre 16 portainjertos en suelos calcáreos. Comunicación en III Jornadas del Grupo de Viticultura. 28-29 de noviembre de 2018. Palma de Mallorca. Publicación en Actas en Horticultura nº81, 33-36.
2. Yunta, F., Caminero, L., Cibriain, J.F., Lucena, J.J., Gárate, A, Koch, M. Use of remote sensing tools to identify Fe deficiency in vineyards. Comunicación en 19th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (ISINIP), July 9 to 13, 2018. Taipei. Taiwan
3. Yunta, F., Caminero, L., Cibriain, J.F., López-Rayó, S., Gárate, A., Koch, M. How Fe deficiency can be remotely detected in vineyards by using specific Vegetation Índices from hydroponic culture. Comunicación en International Plant Nutrition Colloquium. 21-24 Agosto 2017. Copenhagen (Dinamarca)
4. Yunta, F; Caminero, L; Cibriain, JF; Lucena, JJ; Gárate, A. Use of DOP and DRIS to assess the nutrition of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grafted on several rootstocks grown on calcareous soil. Comunicación en International Plant Nutrition Colloquium. 21-24 Agosto 2017. Copenhagen (Dinamarca)
5. Caminero, L; Cibriain, JF; Yunta, F; Erburu, A., Mugica, I., Gárate, A. Importance of vine rootstock choice for iron deficiency tolerance when growth on calcareous soils. Comunicación en 18th international symposium on iron nutrition and interaction in plants. Junio, 2016. Madrid. ISBN 978-84-608-8263-3
6. Yunta, F, Munoz, P., Caminero, L., Gárate, A. Response rate of two different vineyard rootstocks to iron deficiency in hydroponic culture. Comunicación en 18th international symposium on iron nutrition and inyeraction in plants. Junio, 2016. Madrid. ISBN 978-84-608-8263-3
7. Cibriain, JF, Sagues A., Caminero, L., Abad, FJ, Rodriguez, M., Múgica, L., Telletxea, N., Suberviola, J., Gárate, A.; Yunta, F. (2015) Adaptación de portainjertos de vid a suelos calcáreos. Publicación en Navarra Agraria, 209, 43-48.
8. Yunta, F; Caminero, L; Cibriain, JF, Múgica, L., Gárate, A. Evaluación preliminar del grado de adaptabilidad de Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) Tempranillo sobre diferentes portainjertos crecidos en suelos cálcicos. Comunicación en I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología. Sociedad Española de Horticultura. 19-20 de noviembre 2014. Logroño.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, tengo que agradecer a la Universidad Autónoma de Madrid y al Gobierno de Navarra, en particular al Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente y a EVENA, el interés y desarrollo en las experimentaciones realizadas.

Al Dr. Agustín Garate de la UAM, por darme la oportunidad de llevar a cabo esta tesis. Gracias por su dedicación, sus correcciones y ánimos. Al Dr. Felipe Yunta de la UAM por el gran trabajo realizado en el seguimiento y corrección de esta tesis. Ha sido un privilegio trabajar y aprender con él, contar con su asesoramiento, su entusiasmo, su disposición y apoyo en todas las circunstancias. GRACIAS.

A la Sección de Viticultura y Enología de EVENA, especialmente a Félix Cibriain por su ayuda en la introducción al mundo de los portainjertos y en este proyecto, a Ana Sagüés, Julián Suberviola, Karmele Jimenez, Ramiro Vélez, Pilar Esther, Paki Daza, Jacinto Villar, Koldo Cerqueira, Miren Gudiri y Begoña Vidaurre y todos los que trabajaron en el proyecto durante su realización, Javier Abad, Maite Rodriguez, Leire Múgica, Andoni Erburu, Noelia Telletxea, Amaia Altuna, Cristina Górriz, Untzizu Luquin, Asier Mitxitorena, Blanca Mayor, Iker Tres, Iker Úriz, Amaia Martinez, Soraya Borja, Jon Aspurz, Alberto Gamba y Andrea Delgado. Gracias a todos por su gran trabajo tanto en campo como en bodega, y en la promoción de la experimentación vitícola y enológica en Navarra.

Al Laboratorio Enológico de Navarra (EVENA), a M^a Felicidad Berrueta, Agurtzane Abascal, M^a Carmen Serrano, M^a Ángeles Goicoechea, M^a Jose Casanova, Paki Aguirre, Arkaitz Sola, Itsaso Unanua, Orreaga Orradre y Olatz García por su gran competencia técnica en la analítica enológica, su asesoramiento en la elaboración y exposición científica de los resultados y su imprescindible aportación a la experimentación vitícola y enológica en Navarra.

Al equipo de la Universidad Autónoma de Madrid, especialmente a Francisco Gimeno y Santos Valera por su labor con el análisis de la radiometría y la teledetección.

A la Universidad de Boston, especialmente a Magaly Koch, por su ayuda con la selección de índices para suelos calcáreos.

A Kepa Sagastizabal, Carmen Mateo Gómez, Juan Manuel Berazaluce y Jose Javier Soto por su colaboración en la cata de vinos.

Al Laboratorio Regional de La Grajera, especialmente a Dra. Mari Carmen Arroyo y a Nasertic, especialmente a Jesús La Calle, por su labor en la analítica de suelos y peciolares.

A Remon Agriauto, especialmente a Jose Ramón Algarra y a Smart Rural, especialmente a Diego Merino y por su aportación de las imágenes de teledetección de este trabajo.

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional y su ayuda, lo celebraremos, no lo duden. Especialmente a Adolfo Doiz y a Eneko, Carlos y Nerea Doiz Caminero, por su paciencia, su tiempo, sus cuidados, sus abrazos, por sus grandes ideas, preguntas y conclusiones. GRACIAS.

Esta tesis ha sido posible gracias a vuestro esfuerzo, entusiasmo y profesionalidad. Por eso os agradezco enormemente vuestro trabajo y que me hayais permitido añadir mi firma al final de la hoja. Muchas gracias a todos.

Laura Caminero Lobera

La presente Tesis Doctoral se ha realizado a través de la siguiente financiación parcial:

- Financiación propia de Gobierno de Navarra, Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. Sección de Viticultura y Enología y Sección de Laboratorios Agroalimentarios.
- Proyecto AGL2013-44474-R: “Correctores biodegradables de deficiencias de Fe, Mn y Zn. Nuevos diseños y técnicas de evaluación” Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.
- Proyecto RTI2018-096268-B-I00 “Nuevos fertilizantes de micronutrientes y bioestimulantes: criterios de eficacia y mecanismos de acción” Financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España.
- Proyecto AGRISOST-CM S2018/BAA-4330. “Tecnología destinada a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas”. Financiado por la Comunidad Autónoma de Madrid y por el Fondo Social Europeo (FSE) y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) para el período de programación 2014-2020.

RESUMEN

Los portainjertos de vid aportan ventajas adaptativas al viñedo, resistencia a filoxera, nematodos y adaptación a ciertos tipos de suelos. Con el objetivo de caracterizar la adaptación de *Vitis vinífera* cv. Tempranillo sobre 16 portainjertos 1616C, 1613C, 161-49C, Gravesac, 5BB, 5C, 41B, Fercal, Rupestris, 110R, 99R, 140Ru, 1103P, Dog Ridge, Salt Creek y Freedom, instalados en un suelo calcáreo en la finca Baretón de Olite (Navarra), se realiza el estudio vegetativo, nutricional, productivo y cualitativo de un viñedo experimental de tres bloques con repeticiones al azar. Además, se pretende evaluar el uso de técnicas de agricultura de precisión: la radiometría y las imágenes multiespectrales obtenidas desde dron para caracterizar el comportamiento del Tempranillo sobre los 16 portainjertos y para la selección de índices de vegetación (IVs) con factor pronóstico mediante la correlación con los parámetros de nutrición, producción y calidad de la uva. El diagnóstico nutricional mediante la determinación de índices DOP, DRIS y RS muestra deficiencias importantes para el N, P, K y Fe en floración y envero en 2015. En 2016 se aplicó un fertilizante de hierro a base del agente quelante biodegradable IDHA/Fe³⁺ vía foliar. Los resultados mostraron una mejoría del contenido en Fe foliar para todos los portainjertos. Ante la deficiencia de N, P y K se decidió un plan de fertirrigación con NPK en 2017. Los resultados nutricionales respecto el hierro y al nitrógeno mejoran después de la fertilización. El potasio sigue mostrando un déficit significativo. Se estima conveniente revisar las referencias para este nutriente y seguir investigando en el programa de fertilización para la optimización del aporte de macronutrientes, tanto en dosis como hacia una vía de fertilización foliar más efectiva. Los IVs radiométricos que mejor correlación presentan con el SPAD (estimación de clorofila) del Tempranillo son según el portainjerto el índice NDRE para los portainjertos 41B, 1103P, 5BB y 99R, el índice MND750_705 para los portainjertos 110R, 140Ru, 1613C, 1616C, Dog Ridge, Fercal, Freedom, Gravesac, Salt Creek y 5C y el índice D2 para el portainjerto 161-49C. Los IVs obtenidos mediante cámara multiespectral que mejor diferencian los portainjertos son EVI2 y GDVI. Las mejores correlaciones con parámetros productivos se obtienen con IVs obtenidos mediante cámaras multiespectrales sobre dron, especialmente con peso/cepa, peso racimo, madera de poda y SFE, mientras las mejores correlaciones de los IVs radiométricos se producen con los parámetros cualitativos de la uva (pH mosto con IVs floración; acidez total, IM, K e IPT con IVs envero), parámetros vegetativos (clorofila a de floración con IVs envero) y parámetros nutricionales como el nitrógeno, el potasio y el boro especialmente en envero. La evaluación de la adaptación de los portainjertos a suelos calcáreos se determina mediante el diseño de un sistema de decisión multicriterio que permite seleccionar los portainjertos más adecuados e integrar el uso de los índices vegetativos en la gestión del viñedo. Los híbridos de *V. berlandieri* mejoran el estado y equilibrio vegetativo, productivo y cualitativo del Tempranillo, lo que produce una mejor maduración de la uva y mejores vinos. Los portainjertos mejor adaptados son 5C, 5BB, Rupestris y 41B con predominio del estado y equilibrio vegetativo, 41B y 5C con predominio aspectos productivos y, 5BB y 5C con predominio aspectos cualitativos de la uva. Las cualidades de los vinos hacen que el portainjerto 5BB se muestre como el más versátil, así como el que mejores cualidades enológicas presenta.

ABSTRACT

Vine rootstocks provide adaptive advantages to the vineyard. In order to characterize the adaptation of *Vitis vinífera* cv. Tempranillo on 16 rootstocks 1616C, 1613C, 161-49C, Gravesac, 5BB, 5C, 41B, Fercal, Rupestris, 110R, 99R, 140Ru, 1103P, Dog Ridge, Salt Creek and Freedom, installed on a calcareous soil on the Baretón state in Olite (Navarra), the vegetative, nutritional, productive and qualitative study of a three-block experimental vineyard with random repetitions is carried out. In addition, it is intended to evaluate the use of precision agriculture techniques: radiometry and multispectral images obtained from drone to characterize the behavior of Tempranillo on the 16 rootstocks and for the selection of vegetation indexes (VIs) with prognostic factor by correlation with the parameters of nutrition, production and quality of the grape. The nutritional diagnosis through the determination of DOP, DRIS and RS indexes shows important deficiencies for N, P, K and Fe in flowering and veraison in 2015. In 2016, an iron fertilizer was applied based on the biodegradable chelating agent IDHA / Fe³ + via foliar. The results showed an improvement of the content in Foliar Fe for all the rootstocks. Nitrogen, phosphorus and over all potassium deficiency was detected and a NPK fertirrigation plan was decided in 2017. The iron and nitrogen nutritional results improve after fertilization. Potassium continues to show a significant deficit. It is concluded convenient to review the references for potassium and to continue researching in the fertilization program for the optimization of the contribution of macronutrients, both in doses and towards a more effective foliar fertilization route. The radiometric VIs that are the best correlated with the SPAD (chlorophyll estimation) of the Tempranillo are, according to the rootstock, the NDRE index for 41B, 1103P, 5BB and 99R rootstocks, the MND750_705 index for 110R, 140Ru, 1613C, 1616C, Dog Ridge, Fercal, Freedom, Gravesac, Salt Creek and 5C rootstocks and the D2 index for 161-49C rootstock. The multispectral VIs the best separate the rootstocks are EVI2 and GDVI indexes. The best correlations with productive parameters are obtained between multispectral VIs especially with weight / strain, cluster weight, pruning wood and SFE. The best correlations of radiometric VIs are with qualitative parameters of the grape (pH must with flowering VIs; total acidity, IM, K and IPT with veraison VIs), vegetative parameters (flowering chlorophyll with veraison VIs) and nutritional parameters such as nitrogen, potassium and boron especially in veraison. The adaptation evaluation of the rootstocks to calcareous soils is determined by the design of a multi-criteria decision system that allows selecting the most appropriate rootstocks and integrating the use of vegetative indexes in the management of the vineyard. The *V. berlandieri* hybrids improve the state and vegetative, productive and qualitative balance of Tempranillo, which produces a better maturation of the grape and better wines. The best-adapted rootstocks are 5C, 5BB, Rupestris and 41B rootstocks with a predominance of the state and vegetative balance, 41B and 5C rootstocks with a predominance of productive aspects and, 5BB and 5C rootstocks with a predominance of qualitative aspects of the grape. The qualities of the wines show the 5BB rootstock as the most versatile, as well as the one with the best oenological qualities.

ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS	15
LISTADO DE TABLAS	19
LISTADO DE ABREVIATURAS	22
1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1. LA CRISIS FILOXÉRICA Y LA RECONSTRUCCIÓN DEL VIÑEDO	26
1.2. APORTACIONES DE LOS PORTAINJERTOS A LA VITICULTURA.....	30
1.2.1. Resistencia a la Filoxera.....	30
1.2.2. Resistencia a Nematodos	31
1.2.3. Enraizado	34
1.2.4. Viabilidad del Injertado	35
1.2.5. Tolerancia a la Sequía.....	37
1.2.6. Adaptación a Distintos Tipos de Suelo	38
1.2.6.1. Suelos calcáreos	38
1.2.6.2. Suelos ácidos	41
1.2.6.3. Suelos salinos	41
1.3. PRINCIPALES PORTAINJERTOS EN VITICULTURA	42
1.3.1. Especies de Vitis americanas.....	43
1.3.1.1. Vitis riparia Michaux.....	43
1.3.1.2. Vitis rupestris Scheele	43
1.3.1.3. Vitis berlandieri Planchon	44
1.3.1.4. Vitis champinii Planchon	44
1.3.1.5. Vitis longii Prince	45
1.3.2. Híbridos Vitis berlandieri x Vitis rupestris	45
1.3.2.1. 110 Richter (110R).....	45
1.3.2.2. 99 Richter (99R).....	46
1.3.2.3. 1103 Paulsen (1103P).....	46
1.3.2.4. 140 Ruggeri (140Ru).....	46
1.3.3. Híbridos Vitis berlandieri x Vitis riparia	46
1.3.3.1. Téléki 5C (5C).....	46
1.3.3.2. Kober 5BB (5BB)	47
1.3.4. Híbridos Vitis riparia x Vitis berlandieri	47
1.3.4.1. 161-49 Couderc (161-49C)	47
1.3.5. Híbridos Vitis vinífera x Vitis berlandieri	47
1.3.5.1. 41B Millardet et de Grasset (41B)	47
1.3.5.2. Fercal	47
1.3.6. Híbridos Vitis longii x Vitis riparia	48
1.3.6.1. 1616 Couderc (1616C).....	48
1.3.6.2. 1613 Couderc (1613C).....	48
1.3.7. Híbridos 1613C x Vitis champinii	48
1.3.7.1. Freedom	48
1.3.8. Híbridos V.riparia x V.rupestris x V.berlandieri	48
1.3.8.1. Gravesac	48
1.4. NUEVAS METODOLOGÍAS EN VITICULTURA. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	49
2. OBJETIVOS	55
3. MATERIALES Y MÉTODOS	59
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	59
3.2. CONDICIONES DEL ENSAYO	61

3.2.1.	Caracterización Climatológica	61
3.2.2.	Caracterización Edafológica.....	62
3.2.3.	Caracterización Nematológica del Suelo	65
3.2.4.	Caracterización Fenológica.....	65
3.3.	SEGUIMIENTO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	66
3.3.1.	ESTUDIO NUTRICIONAL	66
3.3.1.1.	Diseño de la Fertilización	66
3.3.1.2.	Análisis peciolar de macro y micronutrientes	66
3.3.1.3.	Diagnóstico nutricional	67
3.3.2.	ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN	68
3.3.2.1.	Índice SPAD	68
3.3.2.2.	Clorofilas	69
3.3.2.3.	Vigor	69
3.3.2.4.	Radiometría e Índices de Vegetación.....	70
3.3.2.5.	Teledetección con dron.....	71
3.3.3.	ESTUDIO PRODUCTIVO	73
3.3.4.	ESTUDIO DE CALIDAD	74
3.3.4.1.	MADURACIÓN DE LA UVA	74
3.3.4.2.	ESTUDIO ENOLÓGICO.....	76
3.3.4.2.1.	Análisis del Vino.....	77
3.3.4.2.2.	Valoración Sensorial del Vino	78
3.3.5.	EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN.....	78
3.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	81
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
4.1.	CONDICIONES DEL ENSAYO	87
4.1.1.	Caracterización Climatológica	87
4.1.2.	Caracterización Edafológica.....	89
4.1.3.	Caracterización Nematológica del Suelo	90
4.1.4.	Caracterización Fenológica.....	91
4.2.	SEGUIMIENTO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	94
4.2.1.	ESTUDIO NUTRICIONAL	94
4.2.1.1.	Diseño de la Fertilización	94
4.2.1.2.	Análisis de Micro y Macroelementos Peciolares.....	95
4.2.1.3.	Diagnóstico nutricional	117
4.2.2.	ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN	126
4.2.2.1.	SPAD	126
4.2.2.2.	Clorofilas	129
4.2.2.3.	Vigor	133
4.2.2.4.	Radiometría e Índices Vegetales	136
4.2.2.5.	Teledetección con dron.....	144
4.2.3.	ESTUDIO PRODUCTIVO	152
4.2.4.	ESTUDIO CALIDAD	162
4.2.4.1.	MADURACIÓN DE LA UVA	162
4.2.4.2.	ESTUDIO ENOLÓGICO.....	177
4.2.4.2.1.	Análisis de Vinos.....	177
4.2.4.2.2.	Valoración sensorial de Vinos.....	186
4.2.5.	EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN.....	193
5.	DISCUSIÓN GENERAL.....	201
6.	CONCLUSIONES	219
7.	BIBLIOGRAFÍA	223
8.	ANEXOS	235

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de portainjertos utilizados en planta injerto en Navarra en 2015,2016 y 2017. ...	25
Figura 2. Fotografías de formas biológicas de <i>Daktulosphaira vitifoliae</i>	26
Figura 3. Difusión de la filoxera en Europa 1968-1920	28
Figura 4. Edificio del Congreso Nacional de Viticultura de 1912 de Pamplona	28
Figura 5. Síntomas de la filoxera en raíces de <i>Vitis</i> spp.	30
Figura 6. Ángulos de emergencia de las raíces adventicia <i>V. riparia</i> , 3309C y <i>V. Rupestris</i> du Lot	35
Figura 7. Viabilidad de injertos de 16 portainjertos con Tempranillo y Chardonnay..	36
Figura 8. Esquema de los posibles mecanismos moduladores de la conductancia estomática, la transpiración y la fotosíntesis son el hormonal (negro) y el hidráulico (azul) (Zang et al., 2016).	37
Figura 9. Fotos de <i>V. berlandieri</i> , <i>V. rupestris</i> y <i>V. candicans</i>	44
Figura 10. Portainjertos más utilizados y sus parentescos	45
Figura 11. Parcela experimental de viticultura de Baretón (Olite) de Gobierno de Navarra.....	59
Figura 12. Esquema del diseño experimental del ensayo de portainjertos tintas.....	60
Figura 13. Diagrama ombrotérmico medio de Olite (1981-2010)	62
Figura 14. Mapas de localización del ensayo en cartografía geológica y de vegetación potencial	62
Figura 15. Foto de perfil del suelo de la parcela de portainjertos en Baretón.	63
Figura 16. Situación de las 9 unidades experimentales de estudio de homogeneidad del suelo.....	64
Figuras 17. Fotografías de los nematodos <i>Xiphimena</i> spp. y <i>Meloidogyne</i> spp..	65
Figura 18. Sensor Parrot Sequoia y sus dimensiones.....	71
Figura 19. Imagen de partida RGB de parcela de portainjertos.....	72
Figura 20. Algoritmo de trabajo	72
Figura 21. Proceso de muestreo virtual mediante la herramienta ROI y tratamiento estadístico	73
Figura 22. Fases de microvinificación experimental y foto fermentacion 2017.	76
Figura 23. Poblaciones de <i>Xiphinema</i> spp. en marzo 2015.....	90
Figura 24. Poblaciones de <i>Meloidogyne</i> spp. en marzo 2015.....	90
Figura 25. Estados fenológicos de Baggioolini durante la brotación de 2015, 2016 y 2017.....	91
Figura 26. Estados fenológicos de Baggioolini en enero de 2015, 2016 y 2017.....	93
Figuras 27. a. N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en la floración de 2015.....	96
Figuras 28. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en enero de 2015.	97
Figuras 29. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en la floración de 2016	98
Figuras 30. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en enero de 2016.	99
Figuras 31. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en la floración de 2017	100
Figuras 32. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en enero de 2017.	101
Figuras 33. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en floración de 2015+2016+2017.	102
Figuras 34. a.N, P y K; b. Ca y Mg ; c. B y Mn; d. Fe y Zn en enero 2015+2016+2017.....	103
Figura 35. Dispersión biespacial macronutrientes floración 2015 + 2016 + 2017.....	104
Figura 36. Dispersión biespacial micronutrientes floración 2015 + 2016 + 2017	105
Figura 37. Dispersión biespacial macronutrientes enero 2015 + 2016 + 2017.	106
Figura 38. Dispersión biespacial micronutrientes enero 2015 + 2016 + 2017	106
Figura 39. Nitrógeno en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	107
Figura 40. Fósforo en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	107
Figura 41. Potasio en las floraciones de 2015, 2016 y 2017..	108
Figura 42. Calcio en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	108

Figura 43. Magnesio en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	109
Figura 44. Hierro en las floraciones de 2015, 2016 y 2017..	109
Figura 45. Manganeso en las floraciones de 2015, 2016 y 2017..	110
Figura 46. Boro en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	110
Figura 47. Zinc en las floraciones de 2015, 2016 y 2017.....	111
Figura 48. Nitrógeno total en los enveros de 2015, 2016 y 2017.	111
Figura 49. Fósforo en los enveros de 2015, 2016 y 2017.....	112
Figura 50. Potasio en los enveros de 2015, 2016 y 2017.	112
Figura 51. Calcio en los enveros de 2015, 2016 y 2017.....	113
Figura 52. Magnesio en los enveros de 2015, 2016 y 2017.	113
Figura 53. Hierro en los enveros de 2015, 2016 y 2017.....	114
Figura 54. Manganeso en los enveros de 2015, 2016 y 2017	115
Figura 55. Boro mg/kg en los enveros de 2015, 2016 y 2017.	115
Figura 56. Zinc mg/kg en los enveros de 2015, 2016 y 2017.	116
Figura 57. DOP del N, P, Ca, Mg; Fe, Mn, Zn, B en la floración de 2015.....	118
Figura 58. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la floración de 2015.....	118
Figura 59. DOP del N, P, Ca, Mg; Fe, Mn, Zn, B en el envero de 2015.	119
Figura 60. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el envero de 2015.....	119
Figura 61. DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en la floración de 2016.....	120
Figura 62. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la floración de 2016.....	121
Figura 63. DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en el envero de 2016.....	121
Figura 64. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el envero de 2016.....	122
Figura 65. DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en la floración de 2017	123
Figura 66. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la floración de 2017.....	123
Figura 67. DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en el envero de 2017.....	124
Figura 68. DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el envero de 2017.....	124
Figura 69. SPAD de 2015 para diferentes estados fenológicos.....	126
Figura 70. SPAD de 2016 para diferentes estados fenológicos	127
Figura 71. SPAD de 2017 para diferentes estados fenológicos.....	127
Figura 72. SPAD 2015 + 2016 + 2017 para diferentes estados fenológicos	128
Figuras 73. SPAD 2015, 2016 y 2017 en distintos estados fenológicos.....	129
Figura 74. Clorofilas 2015	130
Figura 75. Clorofilas 2016.....	130
Figura 76. Clorofilas 2017	131
Figura 77. Clorofilas 2015+2016+2017.....	131
Figuras 78. Evolución clorofilas en 2015,2016 y 2017.....	132
Figura 79. Pesos de poda en 2015, 2016 y 2017	134
Figura 80. Pesos de poda medios en 2015 + 2016 + 2017..	134
Figura 81. Superficie Foliar Expuesta en 2015, 2016 y 2017.....	135
Figura 82. Superficie Foliar Expuesta 2015 + 2016 + 2017.....	135
Figura 83. Índice de Ravaz en 2015, 2016 y 2017 y plurianual.....	136
Figura 84. Firmas espectrales Tempranillo sobre 16 portainjertos 2014, 2015,2016, 2017.....	137
Figura 85. Gráficas de la regresión de los 20 IV mejor relacionados con el SPAD con coeficientes R ²	139
Figura 86. Comportamiento de distintos índices de vegetación según el portainjerto.	141
Figura 87. Relación de portainjerto, superficie e índice de vegetación calculadas por teledetección ...	145

Figuras 88. Imágenes índices de vegetación obtenidos con dron Sequoia y ENVI a) GDVI; b) RDVI	145
Figuras 89. Diferencias significativas de índices GDVI y RDVI.	146
Figuras 90. Imágenes índices de vegetación obtenidos con dron Sequoia y ENVI a) CTVI; b) DVIMSS ..	146
Figuras 91. Diferencias significativas de índices CTVI y DVMSS	146
Figuras 92. Imágenes índices de vegetación obtenidos con dron Sequoia y ENVI a) EVI2 b) GRNDVI ...	147
Figuras 93. Diferencias significativas de índices EVI2 y GRNDVI	147
Figura 94. Dispersión biespacial de la producción 2015.	153
Figura 95. Dispersión biespacial de la producción 2016. F1 y F2	155
Figura 96. Dispersión biespacial de la producción 2016. F1 y F3	156
Figura 97. Dispersión biespacial de la producción 2017.	157
Figura 98. Dispersión biespacial de la producción 2018.	158
Figura 99. Dispersión biespacial de la producción 2015 + 2016 + 2017.	160
Figura 100. Dispersión biespacial de producción 2015+2017+2018.....	161
Figuras 101. Maduración tecnológica 2015	162
Figuras 102. Maduración fenólica 2015 (a) IC e IPT (b) AP, AFE y K.....	163
Figura 103. Maduración fenólica 2015 (a) dTpell y dTpep (b) EA y Mpep	163
Figura 104. Dispersión biespacial de la maduración 2015	164
Figuras 105. Maduración tecnológica 2016	165
Figuras 106. Maduración fenólica 2016 (a) IC e IPT (b) AP, AFE y K.....	166
Figuras 107. Maduración fenólica 2016 (a) dTpell y dTpep (b) EA y Mpep	166
Figura 108. Dispersión biespacial de la maduración 2016.....	167
Figuras 109. Maduración tecnológica 2017	168
Figuras 110. Maduración fenólica 2017 (a) IC e IPT (b) AP, AFE y K.....	168
Figuras 111. Maduración fenólica 2017 (a) dTpell y dTpep (b) EA y Mpep	169
Figura 112. Dispersión biespacial en la maduración 2017.....	169
Figuras 113. Maduración tecnológica media de 2015+2016+2017	170
Figura 114. Maduración fenólica 2015+2016+2017 (a) AP, AFE y K (b) IC e IPT	171
Figuras 115. Maduración fenólica 2015+2016+2017 (a) dTpell y dTpep (b) EA y Mpep	171
Figuras 116. Desviaciones Medias de la maduración tecnológica 2015+2016+2017	173
Figura 117. Desviaciones Medias de la maduración fenólica 2015+2016+2017 AP, AFE y K	174
Figura 118. Desviaciones Medias de la maduración fenólica 2015+2016+2017 IC, IPT.	175
Figuras 119. Desviaciones Medias de la maduración fenólica 2015+2016+2017 dTpell y dTpep	175
Figura 120. Desviaciones Medias de la maduración fenólica 2015+2016+2017 EA y Mpep.	176
Figura 121. Dispersión biespacial de las DM de la maduración 2015 + 2016 + 2017	176
Figura 122. Dispersión biespacial de los parámetros analíticos de calidad de vinos 2015.....	178
Figura 123. Dispersión biespacial de los parámetros analíticos de calidad de vinos 2016.....	179
Figura 124. Dispersión biespacial de los parámetros analíticos de calidad de vinos 2017.....	181
Figuras 125. Desviaciones Medias de Grado y Acidez Total de vino 2015+2016+2017.....	182
Figuras 126. Desviaciones Medias de pH y K de vino 2015+2016+2017.....	183
Figura 127. Desviaciones Medias de DO420, DO520, DO620 y tono de vino 2015+2016+2017	184
Figura 128. Desviaciones Medias de IC e IPT de vino 2015+2016+2017	184
Figuras 129. DM de antocianos y catequinas de vino de 2015+2016+2017.....	185
Figura 130. Dispersión biespacial de DM parámetros analíticos de calidad de los vinos 15+16+17.....	186
Figura 131. Dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vinos de 2015.	187
Figura 132. Dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vinos de 2016.....	189

Figura 133. Dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vinos de 2017	190
Figura 134. Dispersión biespacial de valoración organoléptica de vinos 2015+2016+2017.....	191
Figura 135. Dispersión biespacial de valoración organoléptica de 2015, 2016, 2017 e interanual.....	192
Figura 136. Índices de adaptación según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad) de Tempranillo para 16 portainjertos en a)2015, 2016 y 2017; b)2015 y 2017.....	194
Figuras 137. Índices de adaptación y sus componentes en 2015, 2016, 2017 según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad).....	196
Figura 138. Índice de adaptación 2015, 2016 y 2017 en diferentes escenarios de producción_ calidad_ vegetación (PRD_QLT_VGT). a)100% vegetativo b)100% productivo. c) 60% producción_ 20%calidad_ 20%vegetación d) 20%producción_20%calidad_60%vegetación	198
Figura 139. Firmas espectrales en diferentes meses de la experimentación.....	258
Figura 140. Secuencia temporal de las firmas espectrales.....	259

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Los portainjertos más importantes usados en el mundo con su resistencia a la filoxera y adaptación al déficit hídrico según diversos autores.....	32
Tabla 2. Resistencia (R), Susceptibilidad (S) y Tolerancia (T) de los portainjertos a las diferentes <i>Meloidogyne</i> spp.	33
Tabla 3. Resistencia (R), Susceptibilidad (S) y Tolerancia (T) de los portainjertos a <i>Xiphinema</i> spp., <i>Tylenchus semipenetrans</i> , <i>Pratylenchus</i> spp. y <i>Criconebella xenoplax</i>	34
Tabla 4. Clasificación de los portainjertos por tolerancia a clorosis férrica inducida por caliza.....	41
Tabla 5. Clasificación de portainjertos de acuerdo a su comportamiento en condiciones salinas..	42
Tabla 6. Características de adaptación al medio de los portainjertos del diseño experimental.	49
Tabla 7. Portainjertos utilizados en el diseño experimental con sus clones y seleccionadores.	59
Tabla 8. Caracterización termo pluviométrica de la estación meteorológica Olite 1981-2010.....	61
Tabla 9a. Análisis físico químico de los horizontes del suelo caracterizado en ensayo portainjertos.....	63
Tabla 9b. Determinaciones y métodos utilizados para análisis de homogeneidad de suelo	64
Tabla 10. Determinaciones y métodos de análisis para caracterización de suelo.....	64
Tabla 11. Determinaciones y métodos de análisis peciolares.	67
Tabla 12. Determinaciones y métodos para la maduración tecnológica de la uva.	75
Tabla 13. Índices de estimación del potencial polifenólico de la uva.	75
Tabla 14. Determinaciones y métodos utilizados para el análisis de los vinos.....	77
Tabla 15. Ficha de valoración sensorial vino OIV/UIOE utilizada para cata de vinos.	78
Tabla 16. Valoración de parámetros de producción para el índice de adaptación	79
Tabla 17. Valoración de parámetros de calidad de la uva para el índice de adaptación.....	79
Tabla 18. Valoración de parámetros de estado y equilibrio vegetativo para el índice de adaptación.....	80
Tabla 19. Ponderación de las puntuaciones obtenidas en las categorías evaluadas para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos con un balance 60:60:100 de Producción: Estado y equilibrio vegetativo: Calidad	80
Tabla 20. Categorías y puntuaciones de los parámetros de producción evaluados para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos según prioridad productiva.....	81
Tabla 21. Características climatológicas del año 2015.....	87
Tabla 22. Características climatológicas del año 2016.....	87
Tabla 23. Características climatológicas del año 2016.....	88
Tabla 24. Resultados de los análisis de suelo de la parcela de portainjertos de Baretón, Olite.....	89
Tabla 25. Análisis de suelos de las unidades experimentales de homogeneidad de suelo	89
Tabla 26. Fechas medias de los estados fenológicos en la parcela Baretón en 2015, 2016 y 2017.	91
Tabla 27. Estados fenológicos B y C acumulados en 2015, 2016 y 2017 y DM interanual	92
Tabla 28. Porcentajes de envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos	94
Tabla 29. Tratamientos fertilizantes aplicados durante el estudio experimental.	120
Tabla 30. Fechas y dosis de tratamientos fertilizantes realizados en 2016 y 2017.	120
Tabla 31. Índices de vegetación con su correlación R Pearson frente al SPAD en periodo 2014-2017.	138
Tabla 32. Valores de longitud de onda de los 20 IV mejor relacionados con el SPAD.....	139
Tabla 33. Coeficientes de determinación de los IV seleccionados para 2014-2017	140
Tabla 34. Correlaciones R ² entre 20 IV y el SPAD para diferentes portainjertos.....	141

Tabla 35. Correlaciones de Pearson de parámetros vitícolas con IV radiométricos en los estados fenológicos de floración e inicio de envero.....	142
Tabla 36. Correlaciones de Pearson de IV radiométricos en los estados fenológicos de floración e inicio de envero con los parámetros nutricionales y vegetativos..	143
Tabla 37. Índices de Vegetación seleccionados para utilizar en imagen de dron de cámara Sequoia. ..	144
Tabla 38. Correlaciones entre IV teledetección y parámetros vitícolas y nutricionales 2017	148
Tabla 39. Correlaciones de Pearson entre EVI2, CTVI, GDVI, RDVI, GRNDVI, DVMSS y NDVI obtenidos por imagen dron y los parámetros vitícolas y nutricionales según el portainjerto.	149
Tabla 40. Correlaciones de Pearson entre IV obtenidos por radiometría para 4 estados fenológicos y parámetros vitícolas y nutricionales durante el periodo de 2015-2017.	150
Tabla 41. Correlaciones Pearson entre IV radiométricos, parámetros vitícolas y productivos 15-17. ..	151
Tabla 42. Parámetros productivos en el año 2015.....	152
Tabla 43. Parámetros productivos en el año 2016.....	154
Tabla 44. Parámetros productivos en el año 2017.....	156
Tabla 45. Parámetros productivos el año 2018.....	158
Tabla 46. Parámetros productivos 2015, 2016 y 2017	159
Tabla 47. Parámetros productivos 2015+ 2017 + 2018.....	161
Tabla 48. Parámetros analíticos de calidad de los vinos 2015	177
Tabla 49. Parámetros analíticos de calidad de los vinos 2016	179
Tabla 50. Parámetros analíticos de calidad de los vinos 2017.....	180
Tabla 51. Valoración organoléptica vinos en el año 2015.....	186
Tabla 52. Valoración organoléptica vinos en el año 2016.....	188
Tabla 53. Valoración organoléptica vinos en el año 2017.....	189
Tabla 54. Valoración organoléptica vinos en el 2015+2016+2017.....	191
Tabla 55. Índices de adaptación vinos en 2015,2016 y 2017.....	193
Tabla 56. Portainjertos mejor adaptados según las fases de valoración en escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad).	197
Tabla 57. Características de adaptación al medio de los portainjertos del diseño experimental.	219
Tabla 58. SPAD en distintos estados fenológicos 2015.....	235
Tabla 59. SPAD en distintos estados fenológicos 2016.....	235
Tabla 60. SPAD en distintos estados fenológicos 2017.....	236
Tabla 61. SPAD DM en distintos estados fenológicos 2015, 2016 y 2017.....	236
Tabla 62. SPAD entre los años 2015,2016 y 2017 en distintos estados fenológicos..	237
Tabla 63. Los 208 Índices de vegetación seleccionados para radiometría y su expresión matemática .	238
Tabla 64. Análisis peciolares de floración 2015.....	242
Tabla 65. Análisis peciolares de envero 2015.....	242
Tabla 66. Análisis peciolares de floración 2016.....	243
Tabla 67. Análisis peciolares de envero 2016.....	243
Tabla 68. Análisis peciolares de floración 2017.....	244
Tabla 69. Análisis peciolares de envero 2017.....	244
Tabla 70. DM de macronutrientes floración en 2015-2016-2017	245
Tabla 71. DM de micronutrientes floración en 2015-2016-2017.....	245
Tabla 72. DM de macronutrientes en envero en 2015-2016-2017	246
Tabla 73. DM de micronutrientes en envero en 2015-2016-2017.....	246

Tabla 74. Interpretación de Rangos de DOP calculados para macro y micronutrientes en peciolo de <i>Vitis vinifera</i> L cv. Tempranillo sobre 110R en floración y envero en DOCa Rioja	247
Tabla 75. Maduración tecnológica en el año 2015	247
Tabla 76. Maduración tecnológica en el año 2016	248
Tabla 77. Maduración tecnológica en el año 2017.	248
Tabla 78. Maduración tecnológica en 2015-2016-2017.	249
Tabla 79. DM maduración tecnológica en 2015-2016-2017.....	249
Tabla 80. Maduración fenólica en 2015.....	250
Tabla 81. Maduración fenólica en 2016.....	250
Tabla 82. Maduración fenólica en 2017.....	251
Tabla 83. Maduración fenólica en 2015-2016-2017.	251
Tabla 84. DM de la maduración fenólica en 2015-2016-2017	252
Tabla 84b. Parámetros analíticos de control de vinos 2015, 2016 y 2017	252
Tabla 85. Correlaciones globales entre parámetros vitícolas, nutricionales e IV radiométricos.....	253
Tabla 86. Correlaciones entre índices de vegetación radiométricos..	254
Tabla 87. Correlaciones parámetros vitícolas, nutricionales e índices de vegetación radiométricos	255
Tabla 88. Gráfico de las correlaciones de Pearson entre parámetros vitícolas y nutricionales.	256

LISTADO DE ABREVIATURAS

ABA	Acido Abscísico
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
ANOVA	Análisis de la Varianza
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
cv.	Cultivar, Variedad cultivada
DM	Desviación Media
D.O.	Denominación de Origen
D.O.Ca.	Denominación de Origen Calificada
DOP	Desviación del Optimo Porcentual
DRIS	Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico
eCE	Conductividad eléctrica
ENAC	Entidad Nacional de Acreditación y Certificación
ENTAV	Establishment National Technique Amélioration Viticulture
Et al.	Y coautores
ETPo	Evapotranspiración Potencial
EVENA	Estación de Viticultura y Enología de Navarra
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FCS	Flujo Continuo Segmentado
FPS-UC Davis	Foundation Plant Services Grapes – University California Davis
IVs/VIs	Índices Vegetativos /Vegetative Indexes
HPD	Híbridos Productores Directos
ICP	Fotometría con plasma inducción acoplado
IDHA	Ácido Imidodisuccínico
IH	Índice Heliotérmico
INRA - IFV	Institut National de la Recherche Agronomique
IFV	Institut Français de la Vigne et du Vin
IPC	Índice de Poder Clorosante
ISO/IEC	International Organization Standardization/International Electrotechnical Commission
ITE	Integral Térmica Efectiva
Lpr	Conductividad hidráulica de la raíz
mM	mini Molar
mmhos	milimhos
OIV	Organización Internacional de la Vid y el Vino
UAM	Universidad Autónoma de Madrid
UF	Unidades Fertilizantes
UIOE	Unión Internacional de Enólogos
UMT	Universal Transverse Mercator
UNE-EN	Una Norma Española- Europea Norma
USDA	United States Department Agriculture
UV-Vis	Ultravioleta Visible
VIVC	Vitis International Variety Catalogue
WRB	World Reference Base for Soil Resource

1

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

El sector vitivinícola a nivel europeo, nacional y regional tiene una gran importancia por el valor económico que genera. La superficie vitícola mundial en el año 2016 alcanza los 7,4 millones de ha y la superficie de viñedo europeo es de casi 4 millones de ha, siendo el continente con mayor superficie de viñedo. España es primer país del mundo en superficie de viñedo plantada con 969.000 ha, seguido por Francia 789.000 ha e Italia 702.000 ha en 2018. China, con tendencia al alza, es el país no europeo con mayor superficie con 875.000 ha, seguido por Turquía 448.000 y EEUU con 430.000 en 2018 (OIV, 2019). Se calcula que más del 80% de este viñedo mundial utiliza plantas injertadas (Smith, 2004).

En España la producción de planta injerto supone también un sector de importancia económica, en el que Navarra se sitúa como el productor de entre el 25 % y el 30% de la producción nacional de injertos de vid con 18.590.416 plantas certificadas en 2016 y 16.600.000 plantas certificadas en 2017 (Sección Producción y Sanidad Vegetal de Gobierno de Navarra, comunicación personal, 2018).

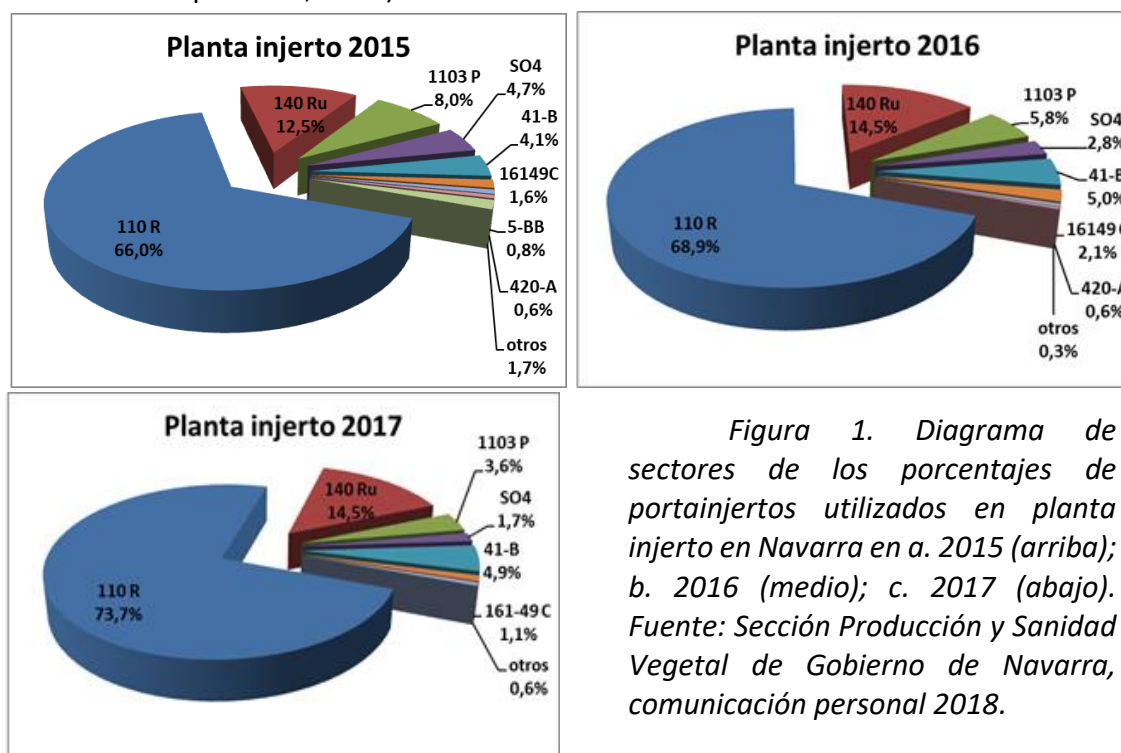


Figura 1. Diagrama de sectores de los porcentajes de portainjertos utilizados en planta injerto en Navarra en a. 2015 (arriba); b. 2016 (medio); c. 2017 (abajo). Fuente: Sección Producción y Sanidad Vegetal de Gobierno de Navarra, comunicación personal 2018.

De la planta injerto producida en Navarra, las proporciones de portainjertos utilizados en su producción durante 2015, 2016 y 2017 (figura 1a, 1b y 1c) están dominadas por un portainjerto, el 110 Richter (110R), que se utiliza para más del 65% de los injertos en el período 2015-2017, seguido por el portainjerto 140 Ruggieri (140Ru) en torno al 15 % y en menor porcentaje 1103 Paulsen (1103P), 41-B Millardert de Grasset (41B) y Selección Oppenheim nº4 (SO4) entre un 5% y un 2%, respectivamente. El resto de portainjertos tienen una presencia minoritaria suponiendo entre un 1,7% y un 0,06% de la producción anual de portainjertos en Navarra (Sección Producción y Sanidad Vegetal de Gobierno de Navarra, 2018).

1.1. LA CRISIS FILOXÉRICA Y LA RECONSTRUCCIÓN DEL VIÑEDO

Los portainjertos de vid se utilizan en viticultura para mejorar la adaptación de la viña al terreno (May, 1994). Son principalmente vides americanas y sus híbridos que a través de programas de selección y mejora se han multiplicado para injertar variedades de vides europeas *Vitis vinifera*, que son las que producen uva de calidad.

Los portainjertos se extendieron en Europa a partir de la plaga de filoxera que arrasó gran parte de la viticultura europea entre 1868 y 1920 hasta entonces en pie franco (Reynier, 2002). La filoxera llegó a Europa con la variedad Isabella, un híbrido productor directo de vid americana y vinífera, importada para solucionar la crisis del oídio (1845-1865), enfermedad criptogámica también de origen americano, que provocó grandes pérdidas en los viñedos europeos (Piqueras, 2005).

Originaria de los Estados Unidos de América, fue estudiada por primera vez por el entomólogo Asa Fitch en 1854, quien describió y tipificó la especie *Phemfigus vitifoli* y los daños causados por ésta en hojas de vides americanas plantadas en suelo californiano (generación gallícola de la filoxera). Su colega Henri Shimer la denomina *Daktulosphaira vitifoliae* en 1866. En Francia, en julio de 1868, la comisión de expertos enviada por la Sociedad Central de Agricultura a los viñedos atacados de Vaucluse, formada por Planchon, Bazille y Sahut, descubren la filoxera en Europa (generación radícolica de la filoxera), sin saber de los hallazgos de sus colegas americanos, y bautizan el insecto primeramente *Rhizaphis vastatrix*, y más tarde caracterizada por el entomólogo Sygnoret como *Phylloxera vastatrix*. Aunque esta ha sido la denominación más utilizada, por diversas razones de orden entomológico y por respeto a las primeras denominaciones el nombre oficial del insecto debe ser *Daktulosphaera vitifoliae* Fitch, 1855 y Shimer, 1866 (Legrós, 1994).

El ciclo biológico de la filoxera es complejo, todavía sometido a discusión, y ha sido recientemente fruto de revisión (Forneck y Huber, 2009) considerando dos tipos de reproducción, partenogenética y sexual, que no siempre se producen, y cuatro formas biológicas, tradicionalmente gallícola, radícolica, alada y sexuada, algunas de las cuales se ilustran la figura 2. Estas son las que se encargan de propagar la especie por las raíces o las hojas de la cepa en la que han nacido, pudiendo trasmitirse por el suelo a las cepas vecinas (expansión “en mancha de aceite”) o bien emigrar volando a otras cepas (Powell, 2012).

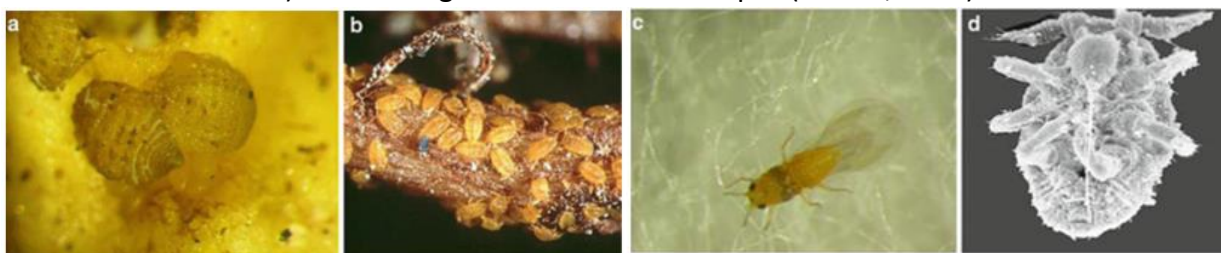


Figura 2. Formas biológicas de *Daktulosphaira vitifoliae* (a) Huevos ovopositados por adultos ápteros (b) Primer estadio larvario en raíces lignificadas de *Vitis vinifera*. (c) Adulto alado (d) Microfotografía electrónica de barrido del primer estadio larvario mostrando el estilete (Powell, 2012).

Los insectos radícolos son los que destruyen las raíces de las vides, impidiendo la toma de agua y nutrientes y provocando la entrada de patógenos fúngicos que causan las necrosis radiculares (Omer et al., 1995; Granett et al., 1998; Edwards et al., 2007) que causa la muerte de la planta. Su desarrollo se ve favorecido por suelos arcillosos, mientras que los que poseen más del 65% de arena se consideran menos favorables al desarrollo y expansión de la filoxera (Powell, 2012).

Los daños de la filoxera varían también según el tipo de vid. En el caso de *Vitis vinífera*, las picaduras de la filoxera en las raicillas muy finas provocan nudosidades, hipertrofias de los tejidos que se pudren ocasionando su muerte. Cuando las raíces son más gruesas las picaduras dan lugar a unos tumores globosos, denominados tuberosidades, en cuyas depresiones centrales el insecto pone sus huevos, con un proceso degenerativo que facilita la entrada de hongos y bacterias que acarrearán la muerte de la raíz y de la cepa. Las vides americanas tienen la ventaja de que apenas forman nudosidades y tuberosidades, por lo que la filoxera no les provoca la muerte (Hidalgo, 1993). Esta característica es lo que hizo pensar que la solución a este problema venido de América era también la que muchos años antes, en 1524, Hernán Cortés ya instaba en las Ordenanzas de la Nueva España para conseguir el cultivo de la vid europea en un territorio donde las vides americanas crecían con profusión, la práctica vitícola del injertado (Hidalgo, 1974).

Sobre la entrada de la filoxera en Europa se ha especulado mucho pero hoy se sabe que se produjo por varios puntos a la vez en Francia, Portugal, Alemania y Austria. Su dispersión (figura 3) ha condicionado el desarrollo del viñedo europeo desde entonces. En Francia los dos primeros focos fueron casi simultáneos en 1868 en Floirac (Bordeaux) y en Pujaut y La Crau (Gard) y se extendieron rápidamente por las regiones circundantes hasta alcanzar toda la mitad meridional de Francia. Posteriormente nuevos focos dispersan la enfermedad acelerando la destrucción de más de dos millones de hectáreas del viñedo francés. Cerca de Viena la plaga se propagó a partir de los viveros del Instituto de Viticultura de Klosterneuburg, desde donde la plaga se propagó Danubio abajo por todos los viñedos centroeuropeos hasta que las montañas de los Balcanes, donde casi no había viña, sirvieron de barrera para que la plaga no pudiera llegar a Grecia, donde no se detectó hasta 1964. En Alemania, los viñedos del Rin y sus afluentes fueron invadidos por la filoxera entre 1874 y 1900, aunque los efectos destructivos fueron muchos menores debido a las dificultades climáticas y edáficas que encontró la plaga, y todavía en 1950 había muchas comarcas en las que era desconocida. Italia, junto con España, sufrieron la plaga con bastante retraso respecto a Francia, por lo que se beneficiaron de un incremento en la exportación de vino y una gran expansión del viñedo entre 1870 y 1900 (Piqueras, 2005).

En la península ibérica la plaga entró por tres puntos distantes entre sí: el foco francés a través de los Pirineos, entró por Girona en 1879, y fruto de las importaciones de material, por Málaga 1878 y Oporto en 1871, aunque posteriormente se desarrollaron nuevos focos también por importación, a destacar Mallorca 1881, Pamplona 1896 y Valencia 1905. A pesar de ser una plaga esperada, de los intentos fallidos de crear cinturones sanitarios y los tratamientos insecticidas, la plaga se propagó por todo el viñedo catalán que también fue el primero en replantarse (Piqueras, 2005). El foco de Pamplona se detecta en 1892 y se extendió rápidamente

por los terrenos arcillosos del valle del Ebro, de forma que en 1903 las comarcas vitícolas de Navarra, Rioja, Álava y Aragón estaban afectadas. Cuando la Diputación de Navarra declara la provincia oficialmente filoxerada, en 1896, creó el Servicio Agrícola Provincial de Viticultura y Repoblación del viñedo a cuyo frente puso a Nicolás García de los Salmones, máxima autoridad científica en España en las tareas de reconstrucción del viñedo filoxerado, llegando a establecer hasta 40 campos de experimentación y 32 viveros de vid para 1908 y concediendo numerosas facilidades a la replantación (Piqueras, 2005; Lana, 1995).

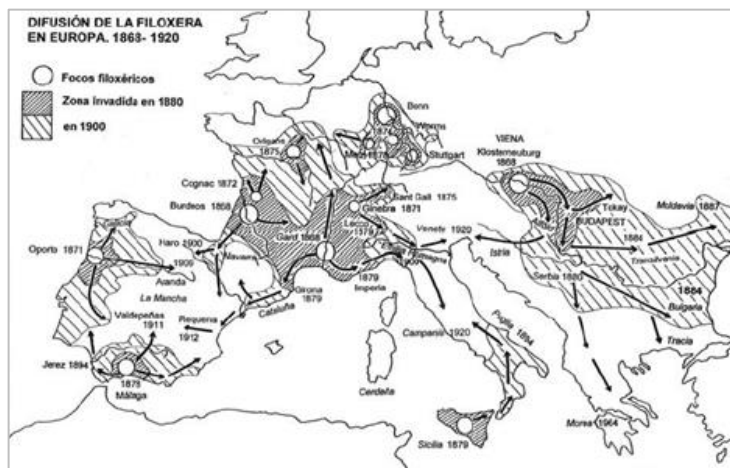


Figura 3. Difusión de la filoxera en Europa 1868-1920 (Piqueras, 2005)

Cómo se abordó la reconstrucción del viñedo europeo filoxerado es también un elemento a tener en cuenta en la creación de los diferentes portainjertos de vid de que disponemos. Hay que destacar que el viñedo jamás recuperaría la extensión que tuvo a finales del S. XIX. Las viñas atacadas por oídio, mildiu y filoxera eran más costosas de mantener, lo que desanimaba a la reconstrucción, por lo que parte del terreno se dedicó a la producción de cereales (Lana, 1995). En 1912 se celebra el Congreso Nacional de Viticultura en Pamplona (figura 4) y en su ponencia Gayán explica como cuando comenzó la reconstrucción se pensó en el uso directo de cepas americanas para la producción de vino, que enseguida se consideraron de inadecuadas. Simultáneamente a estos ensayos se comenzaron a emplear como portadoras de viníferas y se reconoció como un camino para llegar a la reconstrucción del viñedo (García de los Salmones, 1912).



Figura 4. Edificio del Congreso Nacional de Viticultura de 1912 de Pamplona

En Francia, primer país en abordar la reconstrucción, evaluaron y multiplicaron portainjertos en una monumental tarea que ocupó entre 1870-1910 a científicos como Millardet, Couderc, Ravaz, Viala, Foex, Cornu, Richter, etc... (Pongrácz, 1983). Seguidamente otros países abordaron esta tarea y hubo grandes selecciones entre ellas las de Italia de Ruggeri y Paulsen, en Hungría de los Téléki, en Austria de Kober, en Alemania de Führ y en Estados Unidos Munson, todos ellos grandes nombres de la viticultura.

Azanza (1919, p.13-14) describe los materiales vegetales que se usaron para la primera reconstrucción postfiloxérica: “Al uso de los primeros HPD (Othello, Isabela, Clinton, Noah...) que no satisfacían ni como productores ni como portadores de injertos, sucedieron las Riparias, que fueron saludadas como excelentes portainjertos. Más poco tiempo duró su primitivo prestigio. Pronto se vio que no servían para suelos regularmente calizos y en los poco, su vida era corta debido a su mala afinidad...Los *Rupestris*, especialmente el *de Lot*, con mayor adaptación, vigor y longevidad aparecieron como un fenómeno y sus cruces Riparia x *Rupestris* con producción más regular fueron las certeras selecciones de Millardet y Couderc”.

Sin embargo, no se encontraba solución para el problema de la clorosis en zonas calcáreas, *V. riparia* solo toleraba el 6% de caliza activa y *V. Rupestris* un 14%. La primera solución fue hibridar europeas con estas americanas para aumentar su resistencia a suelos calcáreos. Sin embargo, el carácter de resistencia a la filoxera de estas cepas está en genes muy recesivos, no dominantes, por lo que no apareció en los híbridos de primera generación. Esto no será comprendido hasta un siglo más tarde (Beheim et al., 2012). Se comenzaron a utilizar desde 1879 en zonas calcáreas los Aramon x *Rupestris* de Ganzin nº1 y 9 (AXR1 y AXR9), y a partir de 1883 una de las plantas más propagadas fue el Murviedro x *Rupestris* 1202 de Couderc por su vigor y fertilidad. Sin embargo, la resistencia de éstos no era suficiente y sufrieron una depresión filoxérica de la que advirtió Azanza en 1911, reseñando como se venía observando en Francia (Azanza, 1910 y 1919). Sus propuestas no fueron respaldadas hasta 1919 en la Asamblea Nacional de Viticultura de Pamplona, aconsejando no utilizar dichos híbridos y replantar con portainjertos con resistencia anti filoxérica demostrada (García de los Salmones, 1921).

El francés Pierre Viala fue comisionado a los EEUU en 1887 en busca de portainjertos que pudieran crecer en formaciones de cretas y margas, y en su visita a Texas, Thomas-Volney Munson le mostró las variedades que mejor se comportaban y recomendó en su informe final: *V. berlandieri*, *V. cinérea* y *V. cordifolia* (Renfro y McLeRoy, 2008). Así en la replantación en tierras calizas, *Vitis berlandieri*, especie muy resistente a filoxera y a la caliza, pero con escaso vigor y dificultades de arraigo, tuvo un papel decisivo. “El genio de los hibridadores cruzó *Vitis berlandieri* con otras especies resultando portainjertos valiosos cuyo único defecto era un lento desarrollo que nunca llega a ser excesivo, pero bien adaptadas a este tipo de terreno tan común en España” (Azanza, 1919, p 14). Su uso en España se hace común a partir de 1950 y actualmente *V. berlandieri* es el parental de más de 500 variedades (Renfro y McLeRoy, 2008).

Actualmente más del 80% de las viñas del mundo son injertadas sobre portainjertos (Smith, 2004). La filoxera ha alcanzado casi todas las zonas vitícolas importantes del mundo excepto Chile y hay países donde solo se encuentra en algunas regiones como China, Rusia, Armenia y Australia (Powell, 2012), pero el potencial de pérdidas económicas por

infestación es tan grande, que incluso en zonas donde todavía no está presente, pero se puede propagar la filoxera, se recomienda el uso de portainjertos resistentes seleccionados como la medida cultural más efectiva a largo plazo para la protección del viñedo frente a la filoxera (Benheim et al., 2012).

1.2. APORTACIONES DE LOS PORTAINJERTOS A LA VITICULTURA

“El portainjerto es, en general, el gran olvidado de la viticultura. Cada uno alaba el terruño y la cepa, olvidando que el portainjerto asegura el lazo entre los dos y que él ha sido uno de los primeros medios de lucha biológica puesto en práctica contra un parásito de la viña”, destacaba Gayán en su ponencia del Congreso de Viticultura (García de los Salmones, 1912) sobre la importancia de los portainjertos. La viña injertada es la unión de dos genomas, el de la variedad que aporta el desarrollo vegetativo y el portainjerto que aporta la parte radicular cuya morfología y fisiología es responsable de la toma de agua y elementos minerales y juega un papel importante en la acumulación (Ollat et al., 2017). Desde que comenzó el uso de portainjertos, se han ido estudiando las características que confieren los portainjertos a la nueva planta de vid: resistencia a la filoxera, resistencia a nemátodos y adaptación a ciertos tipos de suelos y condiciones, como suelos salinos, suelos calcáreos, tolerancia a la sequía. Además, modifican el desarrollo de la planta, el reparto y acumulación de la biomasa, su fenología y su fisiología, influyendo por tanto en la producción de la vid, tanto en la cantidad como en parámetros cualitativos de la uva. Así, la adopción de un portainjerto para el cultivo de una variedad ofrece una oportunidad al viticultor de manipular y cambiar el comportamiento varietal, para mejorar la calidad de la uva y el vino sin modificar genéticamente la variedad (Jones et al., 2009).



Figura 5. Síntomas de la filoxera en raíces de *Vitis* spp. (Viala y Ravaz, 1903)

1.2.1. RESISTENCIA A LA FILOXERA

Los portainjertos disponibles son fruto de cruces entre las diferentes especies de origen americano del género *Vitis* que mayor resistencia a la filoxera poseen, combinadas entre ellas o con otras especies de *Vitis* que les confieren adaptación a los diferentes tipos de suelo.

Las especies americanas son ampliamente reconocidas como poseedoras de mecanismos de resistencia intrínseca hacia la filoxera de la vid, pues han coevolucionado con el insecto (Granett et al., 2001). Sin embargo, las especies americanas son buenas hospedadoras de la forma gállica incluso aunque sus sistemas radiculares impidan la formación de tuberosidades. La resistencia de *Vitis* se define como el comportamiento hacia las formas radicícolas de la filoxera únicamente, que son las que conducen al colapso de la planta. Las primeras evaluaciones de la resistencia a la filoxera entre las especies de *Vitis* americanas y asiáticas las realizó Millardet en 1985, aunque Leo Laliman ya había reportado diferencias (Pouget, 2015). En 1892, Viala y Ravaz describen la escala de resistencia a la filoxera según la cantidad y tamaño de nudosidades (figura 5) que se producen en las raíces, cuyo puesto más elevado 19:20 lo ocupa *Vitis rotundifolia* (que posee dos cromosomas extra y, por tanto, dificultades de cruzamiento). A continuación, se encuentran las madres seleccionadas de la mayor parte de cruzamientos: *Vitis riparia*, *Vitis Rupestris* (18:20) y *Vitis Berlandieri* (17:20). Con una resistencia inferior se encuentra *Vitis solonis* y *V. champinii* que se consideran con una resistencia suficiente sólo para suelos arenosos y profundos (Viala y Ravaz, 1903).

La evaluación de la resistencia de los portainjertos a la filoxera es el primer paso de la selección de portainjertos. Los controles cruzados de varias cepas de filoxera con diferentes portainjertos indican que estas reacciones son altamente específicas para cepa hospedante, en términos de supervivencia de la filoxera en la raíz (Kosori et al., 2011). Se han encontrado genotipos muy virulentos de filoxera, como el que produjo el decaimiento del AXR1 en California (Granett et al., 2001). Así se explicarían también las diferencias observadas en las tasas de resistencia de los portainjertos entre distintos autores. Actualmente, la mayoría de los portainjertos comerciales son muy resistentes a la filoxera (tabla 1).

1.2.2. RESISTENCIA A NEMATODOS

La viña, como muchos otros cultivos, es atacada por nemátodos parásitos. En ciertas regiones vitícolas, zonas de Chile (Aballay et al., 1998), Australia (Nicol et al., 1999) y California (McKenry y Anwar, 2006), los nematodos son una limitación muy importante al cultivo de la vid y *Vitis vinifera* es muy sensible a sus ataques. El análisis de los suelos previo a una plantación siempre incluye un análisis de nematodos para conocer las especies existentes y el nivel de infestación, y tomar las medidas oportunas.

Entre los tipos de nematodos que atacan los viñedos están los nematodos ectoparásitos de daga (*Xiphinema spp.*), los nematodos endoparásitos sedentarios formadores agallas (*Meloidogyne spp.*), nematodos migratorios endoparásitos de las lesiones de las raíces (*Pratylenchus spp.*), nematodo sedentario semi-endoparásito citrus (*Tylenchus semipenetrans*) y nematodos de anillo (*Criconemella spp.*). Todos ellos producen daños de potencial variable, dependiendo del nivel de infestación del terreno, destruyendo las raíces activas y limitando la toma de agua y nutrientes, siendo general una reducción de vigor y producción (Nicol et al., 1999). Hay que añadir la capacidad de transmisión de virus, como algunas especies de *Xiphinema* el virus del entrenudo corto y jaspeado.

Tabla 1. Los portainjertos más importantes usados en el mundo con su resistencia a la filoxera y adaptación al déficit hídrico según diversos autores. (Ollat et al., 2016).

Portainjerto	Resistencia a la filoxera	Adaptación al estrés hídrico
Riparia Gloria	Muy alta ^{4,6,11,16,23}	Baja ^{1,2,5,6,7,8,10,15,23}
Rupestris du Lot	Alta ^{4,6,11,20,22,23}	Media ^{4,8,22,23} /Baja ^{1,2,5,6,11}
Kober-Téléki 5BB	Alta ^{6,20,22,23}	Media ^{1,3,5,22} /Baja ^{2,4,6,11,15,24}
Téléki 5C	Alta ^{6,20,22,23}	Media ²² /Baja ^{6,22,24}
Couderc 161-49C	Alta ^{6,11,23}	Media ^{2,5,15,23} /Baja ^{1,7,11,23}
Couderc 1616C	Alta ^{4,6,11,20,22,23}	Media ⁶ /Baja ^{2,22,24}
Couderc 1613C	Media ²² / Baja ^{4,6}	Media ^{20,22,24} /Baja ^{22,24}
41BMGt	Alta ²³	Alta ² /Media ^{1,4,5,8,15,23} /Baja ⁷ /Muy baja ¹⁰
SO4	Alta ^{6,20,22,23}	Alta ^{5,10} /Media ^{7,15,22,23} /Baja ^{1,2,4,8,24} /Muy baja ¹¹
Fercal INRA	Alta ^{6,11,23} /Media ^{20,23}	Media ^{5,7,15,23}
Gravesac INRA	Muy alta ²³ / Alta ²⁰	Media ^{7,11,15,23}
Richter 99R	Alta ^{6,11,22,23}	Muy alta ¹⁰ /Alta ^{2,5,6,22,23,24} /Media ^{1,2,4,6,8,11,15,23}
Richter 110R	Alta ^{6,20,22,23}	Muy alta ^{4,5,10,11,22} /Alta ^{1,2,7,8,11,15,23,24}
Ruggeri 140Ru	Alta ^{6,22,23}	Muy alta ^{4,5,8,10,11,22,23,24} /Alta ^{2,3,7,15} /Media ¹
Paulsen 1103P	Alta ^{6,20,22,23}	Muy alta ¹⁰ /Alta ^{1,2,3,4,5,7,11,15,22,23,24}
Dog Ridge	Alta ^{6,22}	Alta ²² /Media ²² /Baja ⁸ /Muy baja ¹⁰
Ramsey (Salt Creek)	Alta ^{8,16,20,22}	Muy alta ^{10,24} /Alta ^{22,24} /Media ^{8,22}
Freedom	Alta ^{20,22} / Media ²⁰	Media ^{10,22}
Grézot 1 (G1)	Media ^{4,6,11,23} / Baja ⁴	Baja ^{8,23}
Foëx 34EM	Alta ^{6,22,23}	Medio ^{10,22} /Baja ^{6,11,22}
420A MGt	Alta ^{6,11,20,22,23}	Media ^{3,5,22} /Baja ^{1,2,7,8,11,23,24} /Muy baja ^{4,10}
101-14 MGt	Alta ^{6,11,20,22,23}	Media ^{8,10,22,23} /Baja ^{1,2,4,7,11,15,22} /Muy baja ²⁴
Couderc 3309 C	Alta ^{6,11,20,22,23}	Alta ¹ /Media ^{5,7,15,22} /Baja ^{2,3,4,8,10,11,23} /Muy baja ²⁴
Téléki 8 B	Alta ^{6,23}	Media ²³ / Baja ¹¹
Schwarzmann	Muy alta ¹⁶ / Alta ^{20,22}	Media ^{6,10,22} / Baja ^{3,22} / Muy baja ²⁴
Kober-Téléki 125 AA	Alto ^{6,18,23}	Media ^{17,23}
Castel 216-3CI	Alta ^{4,6,23}	Media ^{2,6,11,23,24}
Harmony	Media ^{8,22} / Baja ⁴	Alta ¹⁰ / Media ²²
Foëx 333 M	Alta ^{11,23}	Alta ^{1,8,23} / Media ^{2,4,11} / Baja ⁵
Börner	Muy alta ^{14,16,24}	Alta ^{12,17,21,24}
Castel 196-17 CI	Media ²³ / Baja ^{6,11}	Alta ^{1,2,4,5,6,23} / Media ^{2,11,15}
Georgikon 28	Alta ¹⁹	Alta ^{13,27}
Malègue 44-53	Alta ^{4,11,23}	Muy alta ⁵ / Alta ^{1,2,23} / Media ^{4,11}
Paulsen 1447	Alta ^{4,6,23}	Muy alta ¹¹ / Alta ^{5,6,23}

¹Samsom and Casteran (1971); ²Fregoni (1977); ³ Fregoni et al. (1978); ⁴ Pongrácz (1983);⁵ Carbonneau (1985); ⁶ Galet (1988); ⁷ Delas (1992);⁸ Southey (1992);¹⁰ Círami et al. (1994); ¹¹ Galet (1998); ¹² Hajdu (1998);¹³ Kocsis et al. (1998); ¹⁴ Schmid et al. (1998); ¹⁵ Cordeau (2002); ¹⁶ Kellow et al. (2002); ¹⁷ Schmid et al. (2003a); ¹⁸ Schmid et al. (2003b);¹⁹ Tóth and Kucsis (2003);²⁰ Cousins (2005); ²¹ Schmid et al. (2005); ²² Whiting (2005);²³ Audeguin et al. (2007); ²⁴ Dry (2007); ²⁷Kocsis et al. (2009)

Tabla 2. Resistencia (R), Susceptibilidad (S) y Tolerancia (T) de los portainjertos a las diferentes *Meloidogyne* spp. resumidas y categorizadas por extrapolación de información contenida en la literatura. Las letras en el cuerpo de la tabla indican las referencias listadas abajo. Las letras subrayadas indican una estimación de muy alta resistencia (Nicol et al., 1999).

	<i>M. spp</i>			<i>M. javanica</i>			<i>M. incognita</i>			<i>M.hapla</i>			<i>M.arenaria</i>		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Ramsey	bmn ^a n ^c opstu	n ^b	g	ikmnr	--	k	<u>dkl</u> mnv	m ^a	k	k	--	--	<u>cdj</u>	knn ^d	k
Dog Ridge	bmn ^a opstu	--	--	kmnr	--	k	<u>dkl</u> mnv	m ^a	k	--	--	--	<u>cdj</u>	knn ^d	k
Freedom	mn ^a n ^b ot <u>u</u>	n ^c	g	mn	--	--	lmnv	m ^a	--	--	--	--	--	nn ^d	k
Harmony	mn ^a opu	n ^b n ^c op	--	f ^a im	f ^b	f	f ^a <u>dl</u> mv	f ^b m ^a n	--	--	--	--	<u>df</u> ^a j	f ^b nn ^d	--
1613C	bmopsu	n ^a n ^b n ^c op	--	af ^a mnr	f ^b k	k	<u>adf</u> ^a mnv	f ^b km ^a	k	--	--	--	<u>df</u> ^a	cf ^b knn ^d	k
1616C	<u>b</u> estu	--	--	--	--	--	<u>d</u>	v	--	--	--	--	<u>cd</u>	--	--
Rupestris	u	beps	--	i	qr	q	--	dv	--	--	h	--	--	cdj	--
Riparia	e	bsu	--	--	--	--	--	d	--	--	h	--	--	cd	--
5BB	<u>b</u> eu	--	--	i	--	--	<u>dl</u> ^a	l ^b	--	--	h	--	c	d	--
5C	--	n ^a u	--	--	nr	--	--	ln	--	--	--	--	--	nn ^d	--
SO4	<u>b</u> eu	n ^a	--	i	nr	--	<u>dl</u>	n	--	--	h	--	c	dn ^d	--
1103P	<u>e</u> u	--	--	--	--	--	--	dl	--	--	--	--	c	d	--
161-49C	u	bes	--	--	--	--	--	dl	--	--	--	--	--	cd	--
99R	be	n ^a u	--	--	nr	--	l ^a	dl ^b n	--	--	h	--	cd	n ^d	--
110R	u	bes	--	--	i	r	--	dl	--	--	--	--	--	cd	--
140Ru	u	--	--	--	--	--	d	--	--	--	--	--	<u>d</u>	--	--
34EM	u	bs	--	--	--	--	d	--	--	--	--	--	d	c	--
420A	u	beks	--	--	qr	--	d	--	--	--	--	--	<u>d</u>	c	--
Schwarzmann	tu	mn ^a	--	i	mn	--	--	mm ^a n	--	--	--	--	--	nn ^d	--
3309C	e	bn ^a su	--	--	nr	--	--	dl ⁿ	--	--	--	--	--	cdnn ^d	--

Identificación de referencias: a-Bloodworth et al. 1980; b-Boubals 1954; c-Boubals 1979; d-Boubals 1992; e-Bouquet y Dalmasso 1976; f-Chitambar y Raski 1984; g-Cirami 1994; h-Dalmasso y Cuani 1976; i-Edward 1989; j-Ferris et al. 1982; k-Lider 1960; l-Loubser y Meyer 1987 (l^a l^b: dos lugares diferentes); m-McKenry 1992 (m^a: población virulenta); n-McKenry y Kretsch 1995 (na, nb, nc: tres poblaciones mezcladas de *Meloidogyne* de variada virulencia; nd: *M. arenaria* patotipo H); o-Raski 1986; p-Raski et al. 1973; q-Sauer 1967; r-Sauer 1977; s-Snyder 1936; t-Stirling y Cirami 1984; u-G.E. Walker 1995; v-M.A.Walker et al. 1994.

Afortunadamente existen portainjertos en los que destaca una importante resistencia a los nemátodos, en general se puede decir que una fuente importante de resistencia son los *Vitis champinii*. Portainjertos considerados resistentes a los nemátodos son Ramsey (Salt Creek), Dog Ridge, Harmony, Freedom y en menor grado, 1613C y 1616C. Existen diferencias respecto a la resistencia de 5C, 5BB, 161-49C, Rupestris St. George, 99R, 101-14 Mgt según autores (tabla 2 y 3) (Nicol et al., 1999). Los portainjertos resistentes a una especie de nematodo no siempre lo son a otras, por lo que es importante considerar a qué especies de nemátodos es resistente cada portainjerto. La mayoría de los ensayos de portainjertos para comprobar la resistencia o la tolerancia, se han desarrollado usando una sola especie de nematodo o bien ciertas combinaciones; de ahí la dificultad de extrapolar los resultados a situaciones reales de campo donde aparece más de una especie en diferentes tipos de suelo (McKenry y Anwar, 2006).

Tabla 3. Resistencia (R), Susceptibilidad (S) y Tolerancia (T) de los portainjertos a *Xiphinema* spp., *Tylenchus semipenetrans*, *Pratylenchus* spp. y *Criconemella xenoplax*, resumidas y categorizadas por extrapolación de información contenida en la literatura. Las letras en el cuerpo de la tabla indican las referencias listadas abajo. Las letras *subrayadas* indican una estimación de muy alta resistencia. Donde no hay letra no se ha encontrado información (Nicol et al., 1999).

	<i>Xiphinema (Daga)</i>						<i>Tylenchus (Citrus)</i>			<i>Pratylenchus (lesión raíces)</i>						<i>Criconemella (anillo)</i>		
	<i>X. index</i>			<i>X. americanum</i>			<i>T. semipenetrans</i>			<i>P. vulnus</i>			<i>P. spp.</i>			<i>C. xenoplax</i>		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Ramsey	hic ^a	gkac ^b	--	--	i	--	den	il	--	bik	--	--	--	l	--	--	io	--
Dog Ridge	ac ^{ab}	gik	--	--	hi	--	--	iln	n	bk	hi	--	--	l	--	--	io	--
Freedom	fhi	--	--	i	h	--	--	hi	--	--	i	--	--	--	--	--	io	--
Harmony	fk ^c	c ^a i	--	--	hi	--	--	dehin	de	--	bhi	b	--	--	--	--	io	--
1613C	ghik ^b /ac ^a f/	--	--	--	hi	--	--	hil	--	--	bhik	b	--	l	--	--	io	--
1616C	--	af	--	--	--	--	--	no	n	--	--	--	--	o	--	--	--	--
Rupestris	a	gkmc ^{ab}	--	--	--	--	--	l	--	j	kl	--	--	l	--	--	o	--
Riparia	a	g	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	o	--
5BB	--	mac ^{ab}	--	--	--	--	--	d	d	--	--	--	--	--	--	--	o	--
5C	i	mac ^{ab}	--	--	i	--	--	il	--	--	i	--	--	l	--	--	io	--
Teleki 5C	ai	mfc ^{ab}	--	--	i	--	--	i	--	j	i	--	--	o	--	--	io	--
1103P	--	a	--	--	--	--	--	--	--	j	--	--	--	--	--	--	o	--
161-49C	a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	j	--	--	--	--	--	o	--
99R	--	agi	--	--	i	--	--	il	--	--	h	--	--	l	--	--	io	--
110R	a	fm	--	--	--	--	--	dl	d	--	j	--	--	l	--	--	o	--
140Ru	--	a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	o	--	--	--	--
34EM	--	af	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	o	--
420A	--	a	--	--	--	--	--	l	--	--	--	--	--	l	--	--	o	--
Schwarzmann	fhi	--	--	--	--	--	--	dhin	dn	--	hi	--	--	--	--	--	io	--
3309C	af	im	--	--	--	--	--	il	--	--	i	--	l	--	--	--	io	--
101-14 Mgt	--	af	--	--	--	--	--	l	--	--	--	--	--	lo	--	--	--	--

a-Boubal y Pistre 1978; b-Chitambar y Raski 1984; c-Coiro et al. 1990 (c^a: población de California, c^b: población de Italia, Francia e Israel); d-Edwards 1988; e-Edwards 1989; f-Harris 1983b; g-Kunde et al. 1968; h-McKenry 1992; i-McKenry y Kretsch 1995; j-Pinochet et al. 1992; k-Raski et al., 1973; l-Sauer 1977; m-Vallotton y Perrier 1990; n-Wachtel 1986; o-Walker 1995.

1.2.3. ENRAIZADO

El sistema radicular de la vid está formado por raíces adventicias que se desarrollan desde los nudos del tallo después de injertar durante el primer ciclo de vida. Las raíces adventicias emergen de las células del cambium, y otras células meristemáticas (Legué et al., 2014) y tejidos vasculares vecinos (Bellini et al., 2014). La facilidad de enraizamiento constituye una cualidad valorada en la propagación vegetativa de la vid, cuya multiplicación en vivero es la propagación clonal.

Las especies de vid americana muestran una gran variabilidad en la formación de raíces adventicias (Smith et al., 2013). Sin embargo, existe discrepancia para identificar los factores

más influyentes en la distribución de raíces. Para Nagarajah (1987) y Morlat y Jacket (1993) depende principalmente de las características edáficas (capacidad de retención de agua, intensidad hidromórfica y compactación), mientras que otros como Pongrácz (1983) y Bassoi et al. (2003) mencionan que tanto la distribución vertical como horizontal de las raíces tendría un componente genético. Smart et al. (2006) informan que las características del suelo priman sobre las diferencias genéticas. De Herralde et al., (2014) señalan que la disponibilidad hídrica es el factor determinante de la producción de raíces, aunque la combinación del material vegetal también influye dependiendo de la severidad del estrés hídrico (De Herralde et al., 2014)

Factores ambientales como el momento de recolección de madera de las madres, el estado de reserva de almidón (Dardeniz et al., 2007), la posición de corte en el sarmiento (Bartolini et al., 1996), el manejo durante la callogénesis y rizogénesis (Maigre y Epard, 1998) influyen también en la tasa de enraizamiento.

Recientemente se ha evaluado la heredabilidad de la habilidad de enraizamiento, mostrando una heredabilidad media, pudiéndose encontrar dentro de la progenie de parentales con baja capacidad de enraizamiento individuos con buena capacidad (Smith et al., 2013). *V. berlandieri* es conocida por ser recalcitrante al enraizamiento mientras *V. riparia* y *V. vinifera* no tienen dificultades (Ollat et al., 2016).

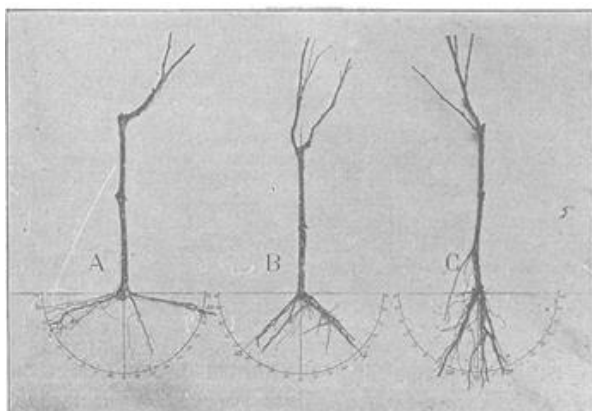


Figura 6. Ángulos de emergencia de las raíces adventicias producidas por estacas, de izquierda a derecha, *Riparia Gloria de Montpellier* (*V. riparia* Michaux), *V. riparia x V. Rupestris* cv. 3309C y *V. Rupestris du Lot* (*V. Rupestris* Scheele) por Guillon 1905, reproducido en Smart et al., 2006.

También es conocido que diferentes genotipos tienen diferentes ángulos de enraizamiento a edades tempranas, como se ilustra en la figura 6 (Guillon, 1905). Sin embargo, las diferencias tienden a desaparecer cuando las plantas crecen y en los viñedos, más del 60 % de las raíces se encuentran por encima de los 60 cm y casi el 80% por encima del metro (Smart et al., 2006). En estado adulto, la arquitectura del sistema radicular depende principalmente del tipo de suelo, sistema de conducción y prácticas culturales (Smart et al., 2006). El portainjerto tiene un efecto más importante en la densidad de raíces y en la ratio entre raíces finas y gruesas (de Herralde et al., 2010).

1.2.4. VIABILIDAD DEL INJERTADO

La viabilidad de una planta injerto es el porcentaje de injertos aptos para su plantación al final del proceso de injertado, con respecto al total de injertos elaborados en taller. La mayor viabilidad del injertado con un portainjerto ha determinado el uso de unos pies de modo

predominante sobre otros en el sector viverista. Supone pues una característica relevante en la evaluación de portainjertos. La evaluación de los injertos se realiza en el momento del arranque de los mismos del campo de vivero, posterior a la estratificación en cámara, siguiendo la pauta establecida en la comercialización de planta de vid y clasificando la producción de injertos conforme a los estándares de calidad exigidos por la normativa vigente.

Estudios realizados entre 2009 y 2012 por la Estación de Viticultura y Enología de Navarra (EVENA) sobre planta injerto de 16 portainjertos sobre la variedad tinta Tempranillo (los injertos que posteriormente constituyen el ensayo experimental de esta tesis) y sobre la blanca Chardonnay, proporcionan una evaluación sobre la viabilidad de estos portainjertos (Cibriain et al., 2013).

Los injertos pueden descartarse debido, bien a una mala soldadura del injerto (falta de afinidad entre la púa y la estaca), o a un deficiente desarrollo radicular que puede detectarse a la salida de la cámara de estratificación o de vivero. Para la clasificación de los resultados se establecieron cuatro categorías según su viabilidad: alta (>60% injertos viables), viabilidad media (50-60% injertos viables), viabilidad baja (30-50% injertos viables) y viabilidad muy baja (0-30% injertos viables).

En el Chardonnay destaca la elevada viabilidad de 5C y 1103P, con porcentajes de más del 80% frente al 2% obtenido con Dog Ridge. Se han obtenido buenos resultados con Rupestris, 41B, 5BB, 110-R y Gravesac. Por otra parte, aproximadamente la mitad de los portainjertos empleados presentan una viabilidad baja o muy baja para Chardonnay. Es preciso resaltar que la mayoría de los portainjertos que presentan una baja viabilidad tienen ascendencia de *Vitis longii* y *Vitis champinii*, que tienen dificultades para su reproducción por estacas e injertado, principalmente *V. champinii*.

En la variedad Tempranillo la variabilidad de resultados entre portainjertos no es tan grande como la encontrada en Chardonnay (figura 7), y se obtuvieron buenos resultados con la mayoría de los portainjertos. Los mejores porcentajes resultaron con 140Ru y 41B (viabilidad próxima o superior al 90%), seguidos de 5C, 1103P y 1613C, mientras que los más bajos fueron con Fercal y 1616C con porcentajes próximos al 20%.

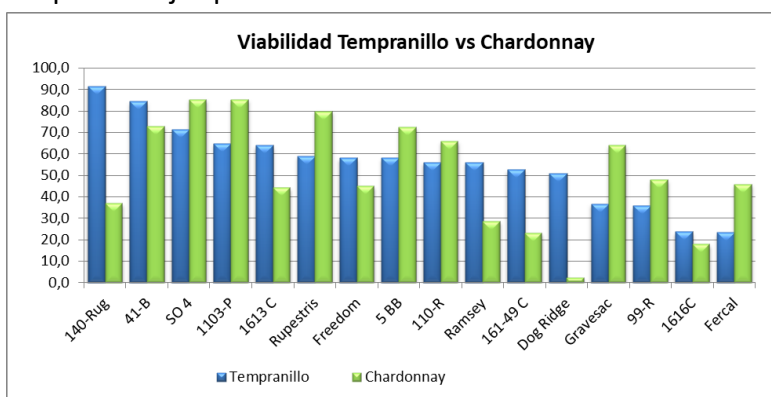


Figura 7. Viabilidad de injertos de 16 portainjertos con Tempranillo y Chardonnay (Cibriain et al., 2013). Posteriormente la variedad de portainjerto SO4 se caracteriza molecularmente como 5C.

La comparación entre los resultados del proceso de injertado entre los 16 portainjertos y las dos variedades, ofrece un reflejo de la compatibilidad entre los materiales. Algunos

portainjertos presentan viabilidades elevadas en las dos viníferas como 5C, 5BB, 1103P y 41B, o intermedias, como es el caso de 99R. El 1616C, por su parte, presentó una viabilidad muy baja tanto con Tempranillo como con Chardonnay. Además de deberse a la influencia de *V. longii*, el tiempo de estratificación puede tener influencia en la tasa de viabilidad de las planta-injertos. Por el contrario, en algunos casos se observaron grandes diferencias entre la variedad tinta y la blanca. Estas diferencias se pueden deber a la diferente compatibilidad que presenta el portainjerto con las viníferas. Es el caso de los portainjertos Salt Creek, 161-49 C, Dog Ridge y 140Ru, en estos dos últimos principalmente, la compatibilidad es muy superior con Tempranillo que con Chardonnay. A destacar, la baja viabilidad para el portainjerto Dog Ridge en la variedad blanca. Gravesac y Fercal, por otro lado, presentaron mayores compatibilidades con Chardonnay que con Tempranillo según las tasas de viabilidad de injerto.

1.2.5. TOLERANCIA A LA SEQUÍA

Una gran proporción de las viñas en el mundo sufren sequía estacional, donde los déficits hídricos junto con altas temperaturas e irradiación ejercen una gran restricción a la producción y la calidad de uvas y vinos (Lovisol et al., 2010). Desde un punto de vista agronómico, la adaptación a la sequía debe definirse como la habilidad de mantener producción y maduración de uvas bajo limitación hídrica. Esta adaptación es una característica compleja, que está bajo el control de un gran número de procesos fisiológicos (Ollat et al., 2016).

Es ampliamente asumido que el crecimiento radicular de la vid se produce principalmente en dos periodos; entre floración y envero, y en otoño, desarrollándose en menor medida en verano. La plasticidad del crecimiento radicular de la viña en respuesta a la humedad del suelo juega un importante papel para determinar cuando y donde la raíz obtiene sus recursos (Comas et al., 2010). Pueden producir más raíces y más profundas en momentos de déficit hídrico según los portainjertos o producir un sistema radicular más largo en periodos húmedos como estrategia a largo plazo (Bauerle et al, 2008).

Los genotipos de los portainjertos pueden influenciar toda la conductividad hidráulica de la vid a través de las características anatómicas de los vasos xilemáticos (Alsina et al., 2011), la resistencia de la raíz y del punto de injerto (de Herralde et al., 2006), la regulación de la expresión y actividad de aquaporinas y la susceptibilidad a la cavitación inducida por el embolismo (Lovisol et al., 2008).

Los portainjertos también influyen los rasgos de desarrollo de la variedad bajo condiciones limitantes y no limitantes de agua (Carbonneau, 1985; Soar et al., 2006; Koundouras et al., 2009; Marguerit et al., 2012).

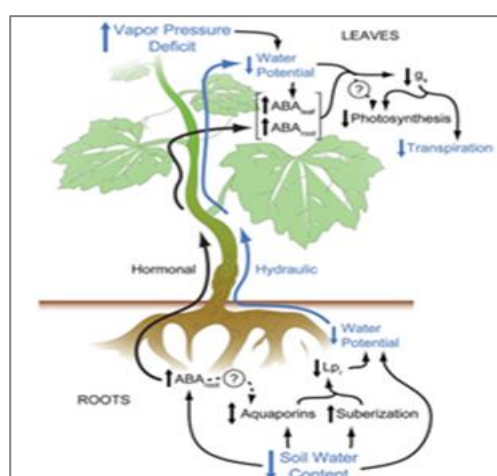


Figura 8. Esquema de los posibles mecanismos moduladores de la conductancia estomática, la transpiración y la fotosíntesis, el hormonal (negro) y el hidráulico (azul) (Zang et al., 2016).

Algunas viníferas han sido clasificadas como isohídricas, manteniendo el potencial hídrico mediante el cierre estomático, o en caso contrario, anisohídricas, manteniendo apertura estomática; sin embargo, no se ha podido establecer una clasificación estricta, ni una mayor eficiencia en el uso intrínseco del agua (Lovisoló et al., 2010). Alsina et al. (2011) observan que los portainjertos sensibles a la sequía, como el caso del portainjerto 101-14M, inducen una respuesta estomática tipo isohídrica en la variedad, cerrando las estomas, mientras que los tolerantes, como 1103P, confieren un comportamiento tipo anisohídrico. Vanderleur et al., (2009) sugieren que estos comportamientos van ligados a la expresión de aquaporinas, o canales transmembrana, en la raíz y a la conductividad hídrica de la raíz, defendiendo la idea de un papel de la raíz en el control estomático. La contribución de los portainjertos al mecanismo de control de la transpiración de la variedad bajo sequía no se conoce completamente, pero se creen involucrados una combinación de señalizaciones raíz-a-brote hidráulica y hormonal (Lovisoló et al., 2010) que ilustra la figura 8. La señalización hormonal resulta de la producción y transporte a largas distancias de señales químicas (ABA) de la raíz a las hojas. La señalización hidráulica probablemente involucra descensos en la conductividad hidráulica de la raíz (Lpr) resultando un descenso en el potencial hídrico que impacta sobre la conductancia estomática (g) (Zang et al., 2016).

Diferentes portainjertos difieren en su resistencia a la sequía (Tabla 1) y los estudios han demostrado un componente genético del control del portainjerto que puede ser determinante en la selección de portainjertos resistentes a la sequía (Soar et al., 2004; Marguerit et al., 2012; Rossdeutsch et al., 2016).

1.2.6. ADAPTACIÓN A DISTINTOS TIPOS DE SUELO

El suelo es un sistema complejo. Más allá de ser una cubierta delgada en la superficie de la tierra, es una unidad funcional resultado de acción combinada de diversos factores formadores, como son la roca madre, el clima, la geomorfología, los organismos vivos y el tiempo.

En el momento actual existen dos grupos de influencia, FAO y Soil Conservation Service USDA, que tienen sus propias clasificaciones de horizontes y suelos, la World Reference Base for Soil Resources WRB (2015) y la Soil Taxonomy (2014), respectivamente. Basadas en horizontes y propiedades de diagnóstico, éstos no son comunes en ambos sistemas y cuando lo son, no con la misma significación. El sistema americano incluye además referencia al régimen de humedad y temperatura. Se utilizan ambos sistemas, pero el WRB provee de grupos más adaptados a los suelos mediterráneos (Porta et al., 2003). De entre los tipos de suelos en los que se instala la vid, en este trabajo se van a tratar tres categorías de suelos que pueden resultar problemáticos y que permiten una adaptación gracias a los portainjertos utilizados.

1.2.6.1. Suelos calcáreos

Los suelos calcáreos, englobados dentro de las clasificaciones como el de Calcisoles (WRB, 2015) y del suborden Calcids de los Aridisoles (Soil Taxonomy, 2014), pertenecen a los

suelos típicos de zonas áridas o semiáridas. Los suelos calcáreos cubren el 30% de la superficie de la tierra (Chen y Barak, 1982) y en España una gran parte de la superficie cultivada corresponde a este tipo de suelos. Aunque su definición no sea exactamente la misma en las dos clasificaciones, su nombre hace alusión a la acumulación de carbonatos, mayoritariamente carbonato cálcico y calcio magnésico. Pueden aparecer naturalmente debido a una baja lixiviación, y también en suelos procedentes de materiales parentales ricos en carbonatos poco meteorizados como piedra caliza, conchas o arcillas glaciares calcáreas. Algunos de estos suelos pueden ser calcáreos en todo su perfil, donde la precipitación es escasa y en otros suelos el carbonato es lixiviado de los horizontes superiores, por la formación de bicarbonato cálcico de alta solubilidad, y re precipitado en los horizontes B o C, como es el caso en la mayor parte de la península ibérica (Porta, 2003).

El factor que determina la dinámica de estos suelos es el alto contenido en bicarbonato (HCO_3^-) en la solución del suelo, que es altamente soluble, reactivo y de naturaleza alcalina, tamponando la solución del suelo en un rango pH de 7,5 a 8,5. Normalmente no excede de 8,5 a no ser que haya sodio presente. Los síntomas que muestran las plantas suelen ser clorosis y retraso del crecimiento, que son atribuidos al alto pH y a la disponibilidad reducida de nutrientes, que afecta al nitrógeno, fósforo, magnesio, potasio, manganeso, zinc y hierro (Imas, 2000). En la vid estas clorosis tienen influencia en su desarrollo y producción (Covarrubias y Rombolá, 2013).

La nitrificación ($2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+$) es más rápida en estos suelos y libera el nitrógeno del complejo de cambio muy susceptible a la lixiviación. Además, la volatilización del amonio ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$) que tiende a su forma gaseosa en un medio muy básico es elevada, por lo que hay que realizar una fertilización apropiada para evitar en lo posible estas pérdidas (Imas, 2000).

La máxima disponibilidad de fósforo para la planta está en pH de 6,0 a 7,5. A valores de pH alcalinos, el anión fosfato reacciona con el calcio y el magnesio para formar compuestos fosfatados de solubilidad limitada (Imas, 2000). Los fertilizantes de fósforo soluble (triples superfosfatos o fosfatos de amonio) son los más efectivos en este tipo de suelos.

La disponibilidad de potasio y magnesio debe estar equilibrada con el calcio, que en estos suelos excede el 80% de los cationes de cambio. Altos niveles de Ca limitan la toma de K y Mg que se comportan como antagonistas. Así se requiere una fertilización, que a corto plazo será más eficaz vía foliar con fertilizantes solubles como nitrato de magnesio/potasio (Imas, 2000). En viña el antagonismo Ca/K limita la absorción de K por vía radicular y resultan bayas con menores niveles de K y más acidificadas (García, et al., 1999).

A valores de pH alcalinos, el zinc y el manganeso se encuentran solubles en poca proporción; sus deficiencias son claramente pH dependientes. Ambos forman quelatos con compuestos orgánicos del suelo ayudando al movimiento de estos nutrientes a la raíz de la planta y esta es la forma en la que se mantienen más tiempo solubles y disponibles. La aplicación de quelatos al suelo es una estrategia efectiva para la corrección de desórdenes nutricionales, aunque su elevado coste y, sobre todo, la naturaleza recalcitrante de los agentes quelantes no

biodegradables está llevando a la investigación de vías alternativas más sostenibles, como las aplicaciones vía foliar.

Aunque el hierro es bastante abundante en los suelos, es insoluble en ambientes alcalinos y bien oxigenados como los suelos calcáreos, formando oxi-hidróxidos (Tagliavini y Rombolà, 2001). De entre todos los micronutrientes esenciales en plantas, el hierro es el que la planta requiere en mayor concentración. Debido a su capacidad de cambio de estado redox, es un componente clave de hemoproteínas y proteínas ferro-sulfúricas (incluyendo citocromos, catalasas, peroxidasas y ferredoxinas), y juega un papel muy importante en procesos celulares como la fotosíntesis, la respiración, la biosíntesis de clorofila, la asimilación de nitrógeno y azufre, y la síntesis de hormonas (Briat et al., 2015). Su falta de disponibilidad puede ser debida a la presencia de carbonatos, alto pH, pobre aireación y compactación del suelo, bajas temperaturas, irrigación con agua rica en bicarbonato, excesiva disponibilidad de nitrato, bajos niveles de materia orgánica y pobre fertilidad, excesiva producción, daños en el sistema radicular o incompatibilidades en el injerto (Tagliavini y Rombolà, 2001) y su efecto en los procesos bioquímicos de las plantas produce la llamada clorosis férrica.

La toma de hierro y homeostasis en viña están controladas por un mecanismo adaptativo conocido como “Estrategia I”, característico de las plantas no gramíneas, y basado en la acidificación de la rizosfera (mediante H⁺-ATPasas), la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺ por la enzima Fe-quelatoreductasa y la toma mediada por transportadores divalentes (IRT1). Otros procesos que parecen estar involucrados en la toma de hierro es la producción y excreción radicular de agentes quelantes de hierro como ácidos orgánicos y fenoles, y ya se empieza a conocer cuál es el “ferroma” (genoma de la respuesta a la deficiencia de hierro) de algunos portainjertos de vid (Vanozzi et al., 2017). Se observa una respuesta genética diferente cuando sólo hay ausencia de hierro a cuando hay carbonatos, activándose la fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC) que incorpora bicarbonato a la ruta del PEP, produciendo malato y citrato, importante para el transporte del hierro por el xilema. Para que el hierro llegue a las células, primero tiene que estar disponible en el apoplasto de la hoja para ser reducido. La inactivación de hierro en el apoplasto es todavía discutida, se investiga la alcalinización del apoplasto, que disminuye la reducción y el transporte por el plasmalema, el papel del nitrato en la alcalinización y del citrato en la formación de polímeros de citrato férrico inactivos, observando en especies calcícolas y calcífugas que no difieren en la toma de hierro por las raíces sino en la manera de mantenerlo metabólicamente activo (Tagliavini y Rombolà, 2001).

La *Vitis vinífera* es una planta que soporta muy bien suelos calcáreos; sin embargo, no todas las especies de *Vitis* americanas tienen esta resistencia, derivándose así familias de portainjertos con diferente grado de tolerancia (tabla 4). El índice de poder clorosante del suelo (IPC), que relaciona la caliza activa y el hierro asimilable [IPC= Caliza activa %/ (Fe extraíble mg/kg)² X 10⁴], se utiliza como un índice de tolerancia (Ollat et al., 2016) ya que relaciona la concentración de hierro de la fracción asimilable con la concentración de la fracción de carbonato de tamaño coloidal (activa). Los derivados de Berlandieri, Rotundifolia y Vinífera, son los que mayor resistencia tienen a este tipo de suelo, aguantando IPC en suelo superiores a 100.

Así, la manera más sencilla de evitar estas clorosis férricas es el uso de portainjertos tolerantes (Tagliavini y Rombolá, 2001).

Tabla 4. Clasificación de los portainjertos por tolerancia a clorosis férrica inducida por caliza de acuerdo con Galet (1947), Juste y Pouget (1972) y Pouget y Ottenwalter (1978) (Ollat et al., 2016).

Portainjerto	Nivel de Tolerancia		
	Carbonatos totales (%)	Caliza activa	IPC
Fercal	>60	--	120
140Ru	50-60	--	90
333EM	50-60	40	70
41B	50-60	40	60
161-49C	40-45	--	60
RSB1	40-45	20	50
5BB	--	20	40
420A	40-45	17	40
1103P	--	17	30
5C	35	17	30
110R	--	17	30
99R	--	17	30
Gravesac	--	--	20
Rupestris du Lot	--	14	20
3309C	15-25	11	10
101-14MGt	15-25	9	10
Riparia Gloria	--	6	5

1.2.6.2. Suelos ácidos

Los suelos ácidos son aquellos que tienen un pH menor que 5,5 la mayoría de los años. Pertenecen en su mayoría a Acrisoles en la península ibérica y son suelos evolucionados de climas húmedos, que poseen arcillas de poca actividad y una baja saturación de bases, por lo que son suelos de baja fertilidad. En suelos ácidos se reportan problemas en el cultivo de la vid asociados a baja disponibilidad de calcio y magnesio. Los síntomas foliares de necrosis marginales se asocian a deficiencias de Ca, Mg y P y excesos de K, Al y Mn también pueden estar involucrados (Pearson y Goheen, 1988). El manganeso alcanza niveles tóxicos en vid a pH por debajo de 5,0, el Cu también puede resultar tóxico bajo estas condiciones, mientras que las deficiencias de Mg, y en un grado menor de K y B, son comunes (Fregoni y Bavaresco, 1984). En estas situaciones portainjertos resistentes a suelos ácidos recomendados son 5C y 3309C (Himmelrich, 1991).

1.2.6.3. Suelos salinos

Los suelos salinos son los que presentan un contenido en sales más solubles que el yeso y el carbonato de calcio que afecta sobre el desarrollo de las plantas. La mayoría de los suelos afectados por elevadas concentraciones de sales se clasifican como Solonchakz y presentan una conductividad eléctrica superior a $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Derivado de la actividad de regadío los suelos afectados de salinización aumentan y constituyen para España el 3% de los 3,5 millones de ha de regadío gravemente afectado y otro 15% seriamente amenazado (Ministerio Medio Ambiente, 2001).

El problema que constituye la salinización en un suelo deriva de la toxicidad iónica específica del Na⁺, Cl⁻ y B y el problema del potencial hídrico que deriva en una dificultad de toma de nutrientes. Pero la salinización puede agravarse con una evapotranspiración elevada y al concentrarse la solución del suelo, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ son los primeros en precipitar en el suelo y los cationes monovalentes (Na⁺) incrementan frente a los divalentes (Ca²⁺ y Mg²⁺), lo que produce la dispersión de las arcillas cerrando los poros, disminuyendo la permeabilidad y compactando, evitando el crecimiento de raíces (Amezketeta, 1999).

La vid se considera como moderadamente sensible a la salinidad. La salinidad provoca problemas en desarrollo de la vid que se manifiestan como problemas sistémicos derivados del elevado potencial osmótico del medio, la reducción en la toma de agua, los efectos tóxicos de los iones en exceso, desarrollando síntomas de hojas quemada, y la interferencia en la absorción de nutrientes esenciales. Ciertos portainjertos pueden restringir la toma y/o el transporte raíz-brote de los iones cloruros (Sauer, 1968). Downton (1977) da más detalles en cuanto a la habilidad de exclusión de cloruros, estableciendo un ranking de esta tendencia a la acumulación de cloruros entre las especies de *Vitis*: *V. Rupestris* < *V. berlandieri*, *V. riparia* < *V. candicans*, *V. champini*, *V. longii* < *V. cineria*, *V. cordifolia* < *V. vinifera* (tabla 5).

Walter et al. (2002) destacan que el vigor y habilidad para la exclusión de sales (Cl⁻ y Na⁺) serían capacidades esenciales para los portainjertos en estos terrenos, siendo 1103P y Salt Creek los más recomendados.

Tabla 5. Clasificación de portainjertos de acuerdo a su habilidad para mantener la producción bajo condiciones salinas (Ollat et al., 2016).

Resistente		Moderadamente Resistente		Sensible	
Dog Ridge	140Ru	99R	110R	Grezo 1	Jacquez
Harmony	143-BMGt	1103P	1613C	420A	SO4
1616C	101-14 MGt	775P	5BB	41B	3306C
13-5 Evex	1045P	Metallica Constantia		333EM	3309C
Ramsey (Salt Creek)					

1.3. PRINCIPALES PORTAINJERTOS EN VITICULTURA

Se expondrán de forma breve las principales características de las especies de *Vitis* americanas que han sido parentales de la gran parte de portainjertos que existen. A continuación, se indicarán sus principales híbridos, especialmente los más significativos en España y que forman parte del presente trabajo de investigación, ordenados por su parentesco, como se ilustra en la figura 10. Al final de esta sección se mostrarán sus principales características de adaptación al medio reflejadas en bibliografía.

La nomenclatura botánica está basada en la *Vitis International Variety Catalogue VIVC* <http://www.vivc.de/>.

1.3.1. ESPECIES DE VITIS AMERICANAS

1.3.1.1. *Vitis riparia* Michaux

V. riparia es originaria de una amplia región del noroeste de Norteamérica donde se encuentra en ambientes húmedos y sombríos. Está caracterizada por un sistema radicular muy delgado y duro, cuyas raicillas se dispersan lateralmente rastreando la superficie del suelo. Los nombres botánicos que ha recibido han sido numerosos. *V. riparia* ha estado cultivada en Francia desde el siglo XVIII en los jardines botánicos, pero no fue hasta 1874 cuando Millardet le llamó la atención el valor probable de esta variedad como portainjerto. Fue la primera viña salvaje que aconsejaron cultivar. Los méritos de *V. riparia* se confirmaron rápidamente, y se importaron grandes cantidades de madera recolectada de los bordes del Missouri y Misisipi. Millardet en 1885 y Despetis en 1887, señalan en sus obras la importancia de su selección, que fue realizada progresivamente y en menos de 15 años. La gran facilidad de multiplicación de *V. riparia* por esquejes facilitó esta selección, que se centró casi exclusivamente en la conservación de la forma más vigorosa, que aun así tiene un vigor moderado (Viala y Vermorel, 1909).

La variedad que alcanzó mayor difusión fue la *V. riparia* cv. Gloria, que presenta muy buena resistencia a la filoxera 18:20 en la escala Ravaz-Viala (Viala y Ravaz, 1903); en cambio es poco resistente a carbonato cálcico en el suelo (15%), caliza activa (6%) y un IPC de 5. Tiene buena tolerancia a *Meloidogyne hapla*, pero media a otras especies. Riparia Gloria tiene una buena afinidad con las cepas de *V. vinifera* europeas, adelantando la fructificación con un buen tamaño de fruto y de calidad. Es exigente en terrenos porosos bien aireados, de alto contenido húmico y con suficiente humedad (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.1.2. *Vitis rupestris* Scheele

Vitis rupestris es originaria del sur de Norteamérica. Desde que fuera nombrada por Scheele en 1848, su denominación no ha cambiado, debido a las características tan destacadas de esta *Vitis*, que es por excelencia el portainjerto de terrenos pobres, rocosos, pedregosos y secos. La mayoría de las formas de *V. rupestris* (excepto Rupestris de Lot y formas de Cleburne) no tienen resistencia a clorosis de los terrenos calcáreos; en suelos de 8-10% de margas calizas, se amarillean y se empequeñecen rápidamente (Viala y Vermorel, 1909).

La variedad más extendida es la Rupestris de Lot que fue descrita por Millardet y de Grasset en 1879. Su gran vigor domina sobre todas las otras variedades de su especie, sus largos y fuertes sarmientos, poco ramificados, su tronco grueso y sobre todo su aptitud de soportar cierta dosis de caliza, llama la atención de los viveristas. Es un *V. rupestris* puro, originario probablemente de las regiones de Forthworth y Cleburne (Texas), zonas de grava calcárea, lo que permite explicar su aptitud de resistencia a los carbonatos 25%, caliza activa 14% y un IPC de 20. Sobresalen su excelente resistencia a filoxera 18:20, gran vigor y rusticidad, siendo resistente a la sequía. Prefiere suelos de fertilidad mediana o pobre, adaptándose también a suelos compactos. Emite raíces fuertes y bien ramificadas, lo que le permite prosperar en suelos secos. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.1.3. *Vitis berlandieri* Planchon

Vitis berlandieri es originaria del suroeste de Norteamérica (Texas y México) y fue recogida por el botánico, naturalista, médico y antropólogo francés Berlandier en 1834 y descrita por Planchon en 1880. Se considera un híbrido natural entre *V. candicans* y *V. rupestris*. Su selección por viveristas franceses, recomendada a Viala por Munson, comenzó en 1888 con materiales traídos de los bosques texanos y fue mucho más larga que la de *V. riparia* o *V. rupestris*, porque arraiga e injerta muy pobremente. Dentro de las variedades seleccionadas destaca el *V. berlandieri* cv. nº2 Rességuier, que es sin duda la mejor para multiplicar. *V. berlandieri* tiene extrema resistencia a la sequía y una excelente tolerancia al carbonato cálcico, creciendo en las colinas de Texas sobre creta pura, sólo comparable en este aspecto a *Vitis vinífera*. Las raíces son siempre penetrantes, y su resistencia a la filoxera, aunque menor que las especies precedentes, es de 17:20. Presenta una buena afinidad con viníferas, desarrollándose en un primer punto con lentitud, pero luego pueden aventajar a otros patrones y confiere mayor longevidad (Viala y Vermorel, 1909).

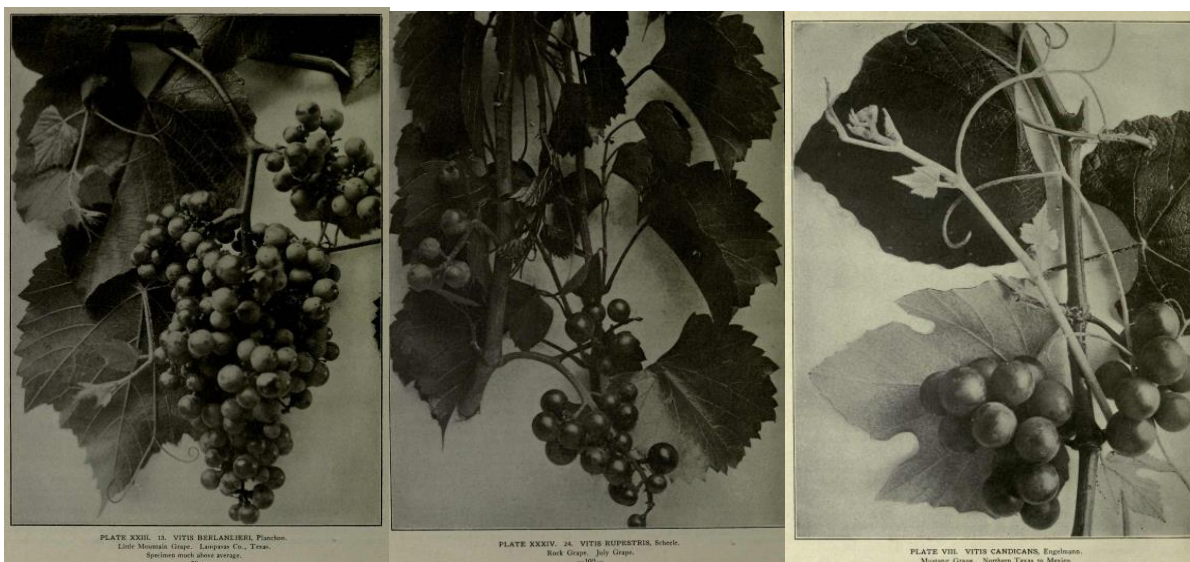


Figura 9. Fotos de *V. berlandieri*, *V. rupestris* y *V. candicans* realizadas por W. Moore para el libro *Foundation of American Grapes Culture* (T.V. Munson, 1909).

1.3.1.4. *Vitis champinii* Planchon

Vitis champinii es originaria de Texas central, descrita por Planchon en 1882 y considerada un híbrido natural entre *Vitis candicans* y *Vitis rupestris*. *Vitis candicans* se desarrolla en los terrenos arcillo calcáreos de las márgenes fluviales de Texas. Tiene aspecto blanquecino a causa de la abundante vellosoidad que persiste en el envés de las hojas y ha engendrado numerosos híbridos naturales, a los que ha transmitido su extraordinario vigor, mucha dificultad de arraigo y débil resistencia a la clorosis y filoxera. Entre las variedades más importantes están *V. solonis* y *V. champinii* (Viala y Vermorel, 1909).

Las *Vitis champinii* destacan por su resistencia a nematodos. La variedad de champinii Dog Ridge es patrón de buen vigor y fácil multiplicación por estacas, pero sensible a filoxera (Huglin y Schneider, 1998). La variedad Salt Creek, sinónimo de Ramsey (Foundation Plant

Services, s.f.) es algo menos vigoroso que Dog Ridge, de difícil propagación por estaca, pero muy resistente a nemátodos y de resistencia media a filoxera. Esta especie ha sido utilizada como progenitor de Harmony y Freedom.

1.3.1.5. *Vitis longii* Prince

Sin. *Vitis solonis*. Es vid autóctona de Nuevo México (EEUU), se encuentra generalmente en terrenos frescos y resiste algo la caliza. No soporta sequía excesiva y aguanta el frío mejor que *V. rupestris*. Resistente a la filoxera y con buena capacidad de enraizamiento (Munson, 1909). Se ha utilizado sobre todo para dar lugar a varios híbridos de interés, entre ellos 1616C y 1613C de Couderc.

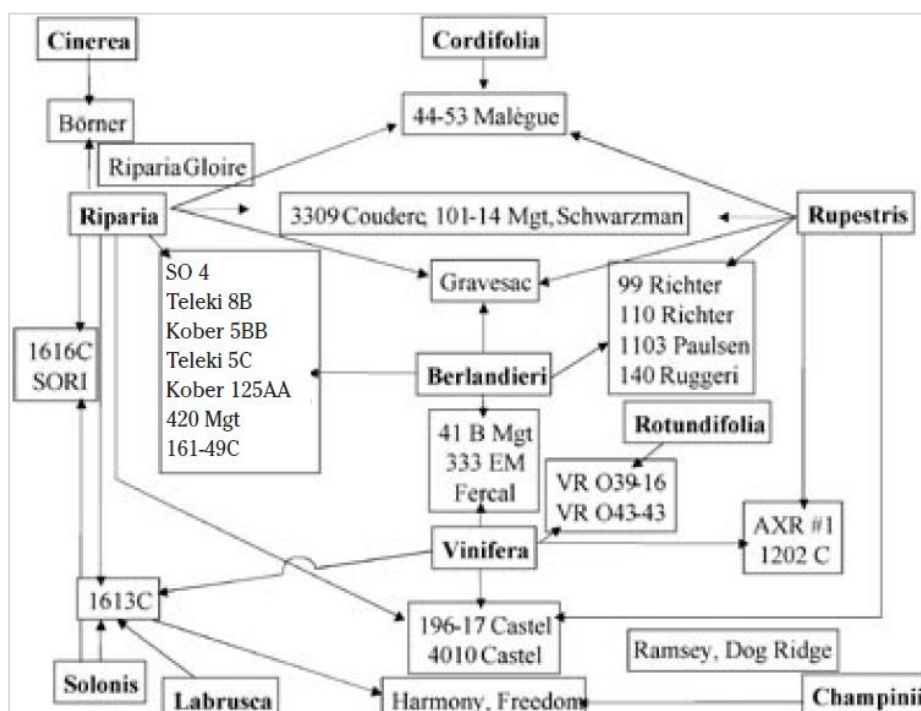


Figura 10. Portainjertos más utilizados y sus parentescos (Shaffer, Sampalo, Pinkerton y Vasconcelos, 2004)

1.3.2. HÍBRIDOS VITIS BERLANDIERI X VITIS RUPESTRIS

1.3.2.1. 110 Richter (110R)

Es una variedad obtenida del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* cv. Rösséguier nº 2 x *Vitis rupestris* cv. Martin por el seleccionador Richter en Francia en 1902. Es el portainjertos más utilizado en la viticultura española. Moderadamente adaptado a la caliza activa resiste hasta un 17% y un IPC de 30. Resistente a la sequía. Induce buena fertilidad y retarda el ciclo vegetativo. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.2.2. 99 Richter (99R)

Es una variedad obtenida del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* cv. Las Sorres x *Vitis rupestris* cv. Lot, por el seleccionador Richter en Francia en 1902. Es mucho menos utilizado que el 110R por su mayor vigor que en ocasiones favorece el corrimiento. Tiene una peor viabilidad del injertado. Resiste hasta un 25% de carbonatos totales, 14% de caliza activa y un IPC de 20. Resiste la sequía. Retarda el ciclo vegetativo. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.2.3. 1103 Paulsen (1103P)

Es una variedad originada del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* cv. Rösséguier nº 2 x *Vitis rupestris* cv. de Lot, obtenida por Paulsen en Sicilia 1895. Es el portainjerto más recomendado cuando se necesita cierta resistencia a la salinidad. Además, tolera carbonatos hasta 30%, 17% de caliza activa y un IPC de 30. Se adapta bien a la sequía y suelos compactados. La viabilidad del injertado es buena. Confiere buen vigor y retrasa un poco la maduración. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.2.4. 140 Ruggeri (140Ru)

Es una variedad fruto del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* cv. Rösséguier nº 2 x *Vitis rupestris* cv. de Lot, obtenida por Ruggeri en Sicilia en 1894. Tiene muy buena adaptación a suelos calcáreos, aguantando hasta un 50% de carbonatos, 20% de caliza activa y un IPC de 90. Es un patrón tolerante a la sequía. Confiere un vigor importante a la variedad por lo que tiende a retrasar el ciclo. En el injertado hay que controlar al exceso de callo con algunas variedades, y enraíza con más dificultad, aunque luego favorece rápido crecimiento de la variedad. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.3. HÍBRIDOS VITIS BERLANDIERI X VITIS RIPARIA

1.3.3.1. Téléki 5C (5C)

Es una variedad fruto del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia* obtenida por las selecciones de material proveniente del francés Resseguier por Sigmund Téléki en Hungría en 1896 y posterior re selección de un grupo del Téléki 5 A por su hijo Sándor Téléki en 1922 y Heinrich Birk en 1930 en Geisenheim, Alemania. Se utiliza bastante en Alemania y está disperso por Australia y California y entre otros países en España también, utilizado con buen resultado como confusión con el SO4 (Geisenheim, 2018). Tiene una resistencia del 35% a carbonatos totales y 20% de caliza activa. Su resistencia a la clorosis férrica se puede calificar de media a buena. Muestra un buen vigor retrasando la maduración. Su injertado es bueno. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.3.2. Kober 5BB (5BB)

Es una variedad fruto del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia* obtenida por selección de material proveniente de Resseguier por Sigmund Téléki en Hungría en 1896 y posterior re selección de Kober, del Téléki 5 en Austria en 1904. (Reynolds, 2015). Aguanta niveles de carbonatos totales de 35%, 20% de caliza activa y IPC de 40. Resistencia a la clorosis férrica buena. Buenas condiciones de injertado, aunque se reporta alguna incompatibilidad. Confiere importante vigor y tiene un ciclo largo. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.4. HÍBRIDOS VITIS RIPARIA X VITIS BERLANDIERI

1.3.4.1. 161-49 Couderc (161-49C)

Es una variedad fruto del cruzamiento entre *Vitis riparia* cv. Gloria de Montpellier x *Vitis berlandieri* obtenida por Couderc en Francia en 1888. Es el único híbrido Riparia x Berlandieri en el que Riparia sirve como madre. Tiene buena resistencia a los carbonatos totales 40%, caliza activa 25% y un IPC de 50. Resistente a la sequía. Confiere un vigor medio. Aptitud para el injertado media, y un desarrollo lento los primeros años en los que es especialmente sensible a la tilosis (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.5. HÍBRIDOS VITIS VINÍFERA X VITIS BERLANDIERI

1.3.5.1. 41B Millardet et de Grasset (41B)

Es una variedad obtenida del cruzamiento entre *Vitis vinífera* cv. Chasselas x *Vitis berlandieri*, obtenida en 1882 por Alexis Millardet y Charles de Grasset. Tiene una gran resistencia a suelos calcáreos y a la clorosis. Resiste hasta 60% carbonatos totales, un 40% caliza activa y un IPC de 60. Su resistencia a la sequía es media. Presenta buena viabilidad de injertado excepto alguna incompatibilidad. Confiere vigor alto y retrasa el ciclo. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.5.2. Fercal

Es una variedad derivada del cruzamiento entre *Vitis berlandieri* cv. Colombard nº 1B (*Vitis berlandieri* x *Vitis vinífera* cv. Ugni blanc B) x 31 Richter (Cruzamiento entre *Vitis Berlandieri* cv. Resseguier nº2 x *Vitis longii* cv. Novo-mexicana) obtenida por INRA Francia en 1959. Se caracteriza por muy buena resistencia a la clorosis y suelos calcáreos, aguantando un 60% carbonatos totales, un 40% caliza activa y un IPC de 120. Se reportan dificultades en la absorción de magnesio. Tiene buena resistencia a la sequía y un ciclo medio. La viabilidad del injertado es media. (© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.6. HÍBRIDOS VITIS LONGII X VITIS RIPARIA

1.3.6.1. 1616 Couderc (1616C)

Es una variedad fruto del cruzamiento entre *Vitis longii* x *Vitis riparia* obtenida por Couderc en 1882. Es una variedad adaptada a zonas húmedas y suelos arenosos. Tiene buena tolerancia a los cloruros y resistencia de baja a media a suelos calcáreos tolerando hasta 11% de caliza activa. Poco vigor y buena calidad de uva. Viabilidad media del injertado. (© UMT Géo-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

1.3.6.2. 1613 Couderc (1613C)

Es una variedad obtenida por Couderc en 1881 del cruzamiento entre *Vitis longii* x Othello [Clinton (*V. riparia* x *V. labrusca*) x *V. vinifera* cv. Muscat Hamburg]. El 1613C es una vid hembra y sus semillas han sido seleccionadas para obtener los portainjertos Harmony y Freedom (Pongrácz, 1983). No está autorizada su utilización en España ni en Francia, debido a su baja resistencia a la filoxera. Es un portainjerto para suelos fértiles y con abundante agua. Tiene baja tolerancia a suelos calcáreos y clorosis férrica. Poco vigor y productividad. Buena viabilidad de injertado.

1.3.7. HÍBRIDOS 1613C X VITIS CHAMPINII

1.3.7.1. Freedom

Es una variedad resultado del cruzamiento entre 1613-59 Couderc x Dog Ridge 5 (Garris et al., 2009) obtenido por USDA en California en 1974. Es un portainjerto de excelente resistencia a nemátodos y suelos de textura gruesa y fertilidad baja. Su resistencia a la filoxera es cuestionada, por lo que solo debe utilizarse en suelos arenosos donde la filoxera no pueda propagarse. No está autorizado su uso en España ni Francia. Vigoroso y con buena viabilidad de injertado.

1.3.8. HÍBRIDOS V.RIPARIA X V.RUPESTRIS X V.BERLANDIERI

1.3.8.1. Gravesac

Es una variedad resultado del cruzamiento entre 161-49 Couderc x 3309 C obtenido por INRA Francia en 1962. Presenta buen comportamiento en suelos ácidos y resiste moderadamente la sequía. Bien adaptado a arenas, su resistencia a suelos calcáreos es baja resistiendo hasta 15% de carbonatos totales, 6% de caliza activa y un IPC de 5. Confiere un vigor moderado. La viabilidad del injerto es buena (© UMT Géo-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

Tabla 6. Características de adaptación al medio de los portainjertos del diseño experimental.

Porta injerto	Adaptación estrés hídrico ¹	Tolerancia salinidad ¹	Afinidad injerto ²	Resistencia filoxera ¹	Resistencia Meloidogyne ⁶	Resistencia Xiphinema index ⁶	Resistencia clorosis ferrica ⁷
Rupestris	++	++ ²	+++	+++	-	+	+++
5BB	++	++	+++	+++	++	+	+++
5C	++	++ ⁵	++++	+++	-	+	++
161-49C	++	+ ³	++	+++	-	++	+++
1616C	++	++++	+	+++	+++	+	+
1613C	++	++	+++	+	+	+++	
41B	++	-	++++	+++	+++ ⁷	+ ⁸	++++
Fercal	++	+++ ⁴	+	++	- ⁷		++++
Gravesac	++		++	+++	++ ⁷		+
99R	+++	++	++	+++	+	+	+++
110R	++++	+++	+++	+++	-	+	++
140Ru	++++	++++	+++	+++	++	+	+++
1103P	+++	++	++++	+++	+	+	++
Dog Ridge	++	++++	++	+++	++++	++	++++ ⁹
Salt Creek	+++	++++	++	+++	++++	++	
Freedom	++	++ ⁵	+++	++	++++	++++	
Leyenda	- Muy baja	+ Baja	++ Media	+++ Alta	++++ Muy alta		

¹Ollat et al, 2016; ²Cibriain et al, 2015; ³Pongracz, 1983; ⁴Stevens et al, 2011; ⁵Wine Australia, 2019; ⁶Nicol et al, 1999; ⁷© UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015; ⁸Gutiérrez-Gutiérrez et al, 2011; ⁹Munson, 1909. En el caso de referencias diferentes se establece la categoría mediante la media. Para sp. o compatibilidad concreta consultar bibliografía.

1.4. NUEVAS METODOLOGÍAS EN VITICULTURA. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es la aplicación de tecnologías (GPS, SIG, teledetección, monitoreo, etc.) y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental, manejando de forma diferenciada los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura / PROCISUR, 2014).

En la agricultura de precisión el uso de la teledetección ofrece muchas ventajas y para aprovechar el flujo de información que proporciona se requiere conocer los fundamentos de la adquisición, su sentido biofísico y los criterios de interpretación más destacados. (Chuvieco, 2010). La teledetección permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Esa información proviene de los satélites de observación terrestre y de vehículos aéreos no tripulados y drones, que junto con los avances en el desarrollo de micro sensores han superado limitaciones en los tres niveles de resolución (espacial, espectral y temporal) y son una solución económicamente viable en superficies de cierto tamaño (Chuvieco, 2010) para el manejo con una agricultura de precisión.

Un sistema de teledetección requiere de un foco energético, superficie terrestre y un sensor. En un sistema óptico-electrónico la radiancia recibida por los componentes ópticos se descompone en varias longitudes de onda, cada una de ellas se envía a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la amplifican y la convierten en señal eléctrica y finalmente en un valor numérico conocido como Nivel Digital (ND).

Se puede definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para discriminar información de detalle. La resolución de un sensor depende del efecto combinado de sus distintos componentes y puede ser (Chuvienco, 2010):

- Resolución espacial, define al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen, es el tamaño del pixel.

- Resolución espectral, indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, que será más idóneo cuantas más bandas y más estrechas. Así, cuando un sensor adquiere información en una única banda del espectro electromagnético se dice que el sensor es pancromático. Cuando adquiere información en varias bandas se denominan sensores multispectrales y cuando adquiere de un número elevado de bandas se denominan sensores hiperespectrales.

- Resolución radiométrica, es el número de intervalos de intensidad que pueden captarse, indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta. Su forma de expresarse suele ser en número de bits necesarios que almacena cada pixel. Así, por ejemplo, los sensores Landsat y SPOT trabajan a 8 bits, es decir, por cada pixel son capaces de discriminar 256 niveles de energía (2⁸) y el sensor AVHRR, 10 bits o 1024 niveles de energía (2¹⁰) y el sensor Sentinel 2 tiene una resolución radiométrica de 12 bits que equivalen a 4096 niveles de energía.

- Resolución temporal, tiempo que transcurre entre dos imágenes, indica el intervalo de tiempo entre cada imagen obtenida por la plataforma. La serie de satélites de Landsat tenían una resolución temporal de 16 días y, en la actualidad, con el lanzamiento de los satélites Sentinel 2A y 2B se tiene una resolución temporal de 48 horas.

Cuando la radiación electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión. Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta, en varios canales. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie. De esta manera se puede distinguir las áreas cubiertas de vegetación de la tierra desnuda pues la diferencia de reflexión en los canales de infrarrojo cercano y en el rojo es mayor para las áreas cubiertas de vegetación e insignificante para la tierra desnuda. En términos generales, el agua sólo refleja la gama de luz visible, por lo que aparecen como áreas oscuras en imágenes registradas en la gama cercana al infrarrojo (ESA, European Space Agency, s.f.).

Los cultivos en buenas condiciones fisiológicas absorben la radiación en la zona azul (400-500 nm) y roja (600-700 nm) del espectro visible, debido a los pigmentos fotosintéticos que contiene, mientras que reflejan en el verde (500-600 nm) y especialmente en el infrarrojo cercano NIR (700-1300 nm) debido a la estructura celular de la hoja (Lehrer et al., 2007), provocando una firma espectral distintiva en relación a la de otras cubiertas (suelos desnudos,

zonas urbanas). Esta firma espectral única para la vegetación se verá modificada cuando los factores ambientales cambien o cuando el cultivo se encuentre bajo condiciones de cualquier tipo de estrés pudiendo identificar y cuantificar dichas variaciones.

A la hora de identificar los elementos en superficie y conocer su tendencia de reflectancia, se dispone de galerías de firmas multiespectrales, bases de datos donde se puede realizar búsquedas de componentes y elementos para identificar cómo responden sus emisiones a lo largo del espectro electromagnético, como son las librerías Carnegie Spectranomics Observatory (Carnegie) o Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).

La obtención de imágenes satelitales o mediante drones hacen posible explorar más allá del espectro electromagnético visible, tomando imágenes tanto de la región del infrarrojo cercano, lejano y térmico mediante el uso de sensores que con el uso de las firmas espectrales y los índices de vegetación, y mediante el tratamiento de las imágenes obtenidas mediante un software específico consigue combinaciones o ratios de las bandas que permiten aumentar las diferencias de reflectancia y la interpretación de la información.

En la actualidad, las técnicas de teledetección están adquiriendo gran interés en agricultura debido a su aplicación en la obtención de información sobre el estado fenológico y nutricional de los diferentes cultivos, proporcionan información sobre la variabilidad espacial en el vigor vegetativo de los cultivos y una estimación de diferentes parámetros que caracterizan el estado físico y fisiológico de las plantas tanto a escala global como a nivel de parcela. Estos conceptos se pueden extrapolar a la viticultura de precisión, aplicándolos a los factores que afectan al crecimiento de la vid y la maduración de la uva, donde ha demostrado sus ventajas como herramienta de análisis y gestión, a diferentes niveles como la fertilización o el riego (Blanco, 2013).

2

OBJETIVOS



2. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la adaptación de *Vitis vinífera* var. Tempranillo sobre 16 portainjertos (1616C, 1613C, 161-49C, Gravesac, 5BB, 5C, 41B, Fercal, Rupestris, 110R, 99R, 140Ru, 1103P, Dog Ridge, Salt Creek y Freedom), sobre un suelo calcáreo en la finca Baretón de Olite (Navarra).

Objetivos específicos

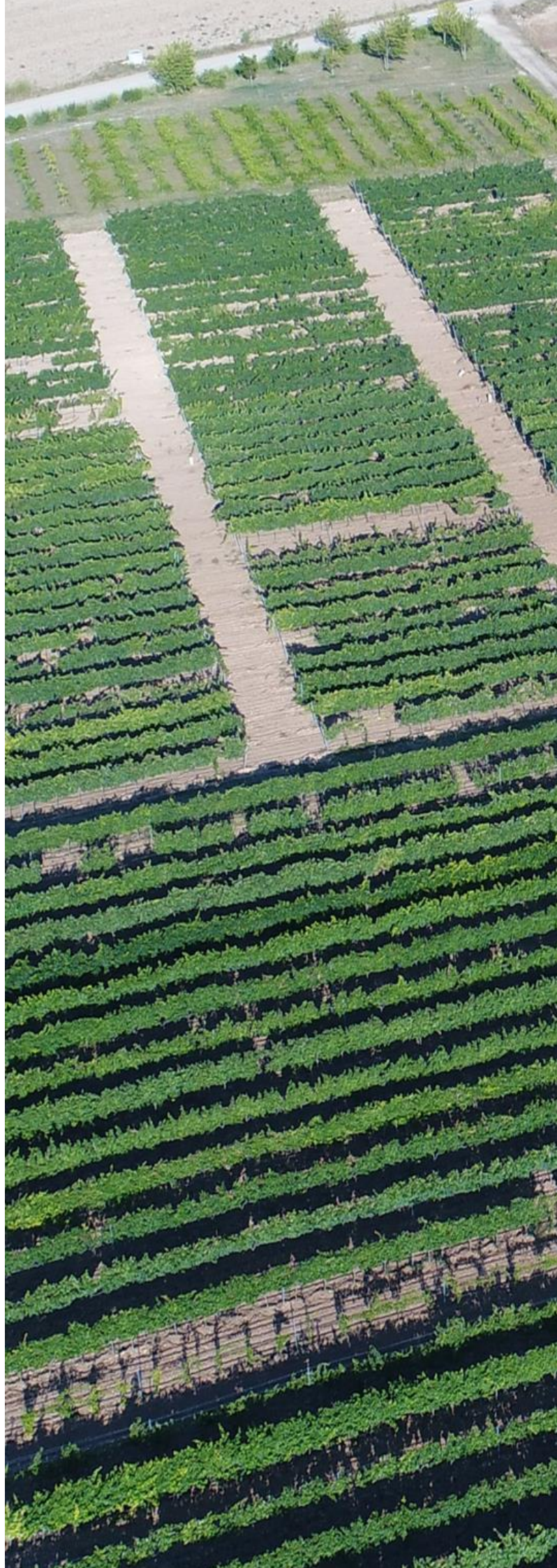
1. Evaluación edafoclimática de la zona en estudio. Caracterización del suelo sobre el que se realiza el estudio en la finca Baretón de Olite para evaluar su homogeneidad en aspectos químicos, texturales y nematológicos y conocer la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo/planta. Caracterización climática para evaluar su condicionamiento en el ensayo.
2. Evaluar la adaptación a la zona en estudio de *Vitis vinífera* var. Tempranillo sobre los 16 portainjertos 1616C, 1613C, 161-49C, Gravesac, 5BB, 5C, 41B, Fercal, Rupestris, 110R, 99R, 140Ru, 1103P, Dog Ridge, Salt Creek y Freedom en su comportamiento:
 - Vegetativo mediante el estudio de estados fenológicos, clorofilas, índice SPAD, vigor (SFE, madera poda, índice Ravaz) macro y micronutrientes e índices vegetativos.
 - Productivo: peso g/cepa, producción Kg/ha, peso racimo, peso de 100 bayas, nº racimos/cepa, nº bayas/racimo.
 - Calidad maduración uva: grado, pH, acidez total, málico, potasio, antocianos, taninos, polifenoles e intensidad colorante.
 - Enológicos: grado, pH, acidez, potasio, polifenoles, catequinas, intensidad colorante, catequinas y parámetros sensoriales en cata visual, olfativa, boca y armonía.
3. Valorar el estado nutricional del viñedo sobre los 16 portainjertos y establecer el balance nutricional mediante el análisis peciolar y el diagnóstico nutricional utilizando el Rango de Suficiencia (RS), Desviación del Optimo Porcentual (DOP) y Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico (DRIS) en los estados fenológicos de floración y envero. Establecer un plan de fertilización de acuerdo con los resultados y las características físico-químicas del suelo y los resultados del estado nutricional en el período 2015-2017
4. Evaluar el uso de herramientas y técnicas propias de la agricultura de precisión como factor predictivo y discriminante sobre *Vitis vinífera* var. Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos. Se determinará la respuesta espectral de las plantas mediante la determinación radiométrica en la zona del visible e infrarrojo cercano a lo largo del ciclo de cultivo. Se evaluará el carácter predictivo de la agricultura de precisión mediante el cálculo y análisis de los índices

de vegetación, a partir de las firmas espectrales, y la correlación con los parámetros experimentales (nutricionales, productivos y de calidad) medidos en las condiciones del ensayo.

5. Establecer una metodología que integre la información obtenida en este trabajo, que permita elegir los portainjertos más idóneos para una determinada parcela, mediante un análisis de decisión multicriterio.

3

MATERIALES Y MÉTODOS



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El viñedo experimental donde se realiza este ensayo está ubicado en la finca Baretón de Olite, Navarra, dependiente de la Estación de Viticultura y Enología de Navarra, EVENA del Departamento Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra. Está ubicada en las coordenadas geográficas UTM 30N x: 610.156 y: 4.697.754, altura 397 m, latitud 42°25'27'' longitud 1° 39'39'' (figura 11)



Figura 11. Parcela experimental de viticultura de Baretón (Olite) de Gobierno de Navarra con ensayo de portainjertos tintas señalado en rojo.

El 2014 fue un año de ensayo preliminar en que se realizaron una serie de determinaciones para valorar la metodología de la experimentación. El trabajo de investigación corresponde a tres años de experimentación 2015, 2016 y 2017. Se complementa el estudio agronómico productivo con los datos de 2018. Las principales características de los experimentos son:

Variedad: Tempranillo clon 711 de ENTAV-INRA

Portainjerto: 16 portainjertos con representación todas las familias de Vitis americanas (tabla 7)

Tabla 7. Portainjertos utilizados en el diseño experimental con sus clones y seleccionadores.

Portainjerto	Clon	Seleccionador	Portainjerto	Clon	Seleccionador
99R	01AD	FPS-UC Davis	41B	02D	FPS-UC Davis
Rupestris	15D	FPS-UC Davis	Salt Creek	01AD	FPS-UC Davis
Freedom	01D	FPS-UC Davis	161-49 C	176	ENTAV-INRA
5BB	02D	FPS-UC Davis	Fercal	242	ENTAV-INRA
1616C	01D	FPS-UC Davis	Gravesac	264	ENTAV-INRA
1613C	01D	FPS-UC Davis	110R	E35	Ministerio Agricultura España
Dog Ridge	02D	FPS-UC Davis	140Ru	E30	Ministerio Agricultura España
5C	08	FPS-UC Davis	1103P	E37	Ministerio Agricultura España

Año plantación: 2010. La viabilidad de los injertos con Dog Ridge es menor y no se consigue implantar correctamente hasta 2011, por lo que no se considera adecuado valorar los parámetros productivos y sus derivados el primer año de experimentación, el resto de parámetros se valoran con plantas de 2010.

Marco de plantación: 2,8 m entre calles por 1,3 m entre cepas, utilizando una superficie plantada de 2784,6 m². Con una densidad de 2747 plantas /ha.

Diseño experimental: Es de tres bloques al azar. Cada bloque está compuesto por 16 filas correspondientes a las 16 variantes independientes del ensayo que son los 16 portainjertos injertados con Tempranillo con 15 cepas cada fila. En el bloque 2 el portainjertos 110R causa falta por error en el injertado y este portainjerto consta de dos repeticiones en todo el ensayo. En cada bloque las variantes están distribuidas aleatoriamente y con filas borde. En la figura 12 se muestra el esquema del diseño experimental.

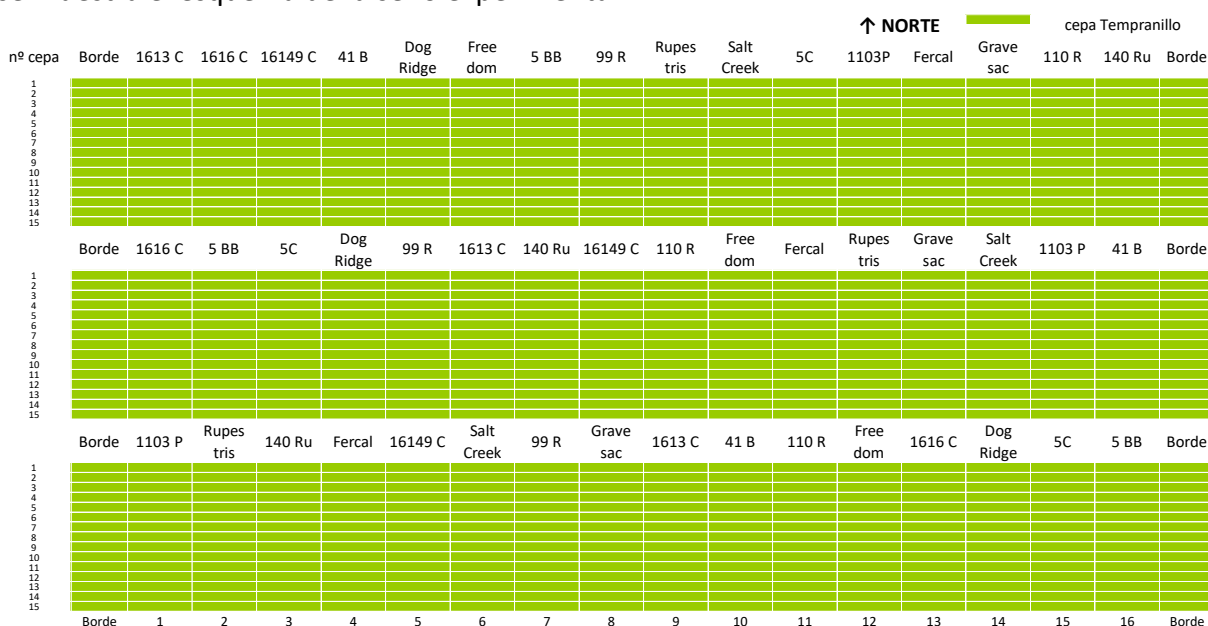


Figura 12. Esquema de la distribución de los 16 portainjertos en el diseño experimental.

Sistema de conducción: espaldera, en cordón Royat doble, con una altura de tronco recto de 60 cm de altura y 2 brazos horizontales con 6 pulgares por brazo. La vegetación se apoya sobre los elementos que participan de la estructura de la espaldera. Hay dos postes intermedios y dos terminales por cada fila. Los hilos de alambre de acero galvanizado de 3 mm de diámetro están a una altura de 0,60 m del suelo y el segundo, a 1,80 m; hay varios alambres que se van subiendo conforme crecen los pámpanos formando un paralelepípedo de sección rectangular. La altura de la vegetación se controla a 1m de altura a través de despuntes y la recogida y posicionamiento de los pámpanos para que se mantenga equilibrada a la forma de espaldera que la conduce.

Tipo de poda: corta a pulgar con dos yemas en enero. Se dejan 12 pulgares por cepa.

Nº yemas/ha: 32.967 yemas/ha. Se controla mediante poda de invierno y desferracinado.

Sistema de Riego: La instalación de riego está formada por un sistema de riego por goteo, con una distancia entre goteros de 0,60 m y un caudal nominal de 3,5 l/h. Se realiza un riego de mantenimiento con sistema de programación, igual para todas las variantes ensayadas. Tiene un sector de riego propio.

Mantenimiento del suelo: se realiza mediante laboreo superficial con intercepas, igual para todas las variantes ensayadas.

Tratamientos fitosanitarios: se realizan tratamiento de primavera con sistémico anti mildiu y tratamientos de azufre anti oídio durante el verano cuando es pertinente, el mismo para todas las variantes ensayadas.

3.2. CONDICIONES DEL ENSAYO

3.2.1. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

Olite está incluido dentro de la zona caracterizada por las Clasificaciones climáticas de Koppen como clima mediterráneo y según Papadakis, del grupo climático mediterráneo templado (seco). Según la clasificación bioclimática, Olite se localiza en la región mediterránea, piso meso mediterráneo superior seco superior según la tipología de Rivas – Martínez, 1994. Los mapas de vegetación potencial realizados localizan Olite en la serie meso-supra mediterránea basófila seca de carrasca o *Quercus rotundifolia* (Loidi y Bascones, 1995).

La caracterización climática general se ha realizado a partir de una serie de datos meteorológicos de 30 años de 1981 a 2010, obtenidos de la estación meteorológica manual de Olite en EVENA, altitud 389m, latitud 42°29'21.29''N, longitud 1° 39'20,26'' W, del Gobierno de Navarra - AEMET, recogidos en la tabla 8. Se representa además el diagrama ombrotérmico medio de Olite en la figura 13. Se calculan los índices climáticos de referencia para la vid para este periodo, integral térmica eficaz de Winkler y Amerie 1730,5 °C, e índice heliotérmico de Hugglins 2187,73 °C (Honorio, 2016).

La estación meteorológica utilizada para el seguimiento climático del periodo de ensayo, de 2015 a 2017, ha sido la estación situada junto al ensayo en la finca Baretón en el término municipal de Olite en Navarra. Es una estación Campbell Scientific que calcula como parámetros diarios temperatura media, máxima, mínima, humedad relativa media, máxima y mínima, precipitación acumulada, radiación global, insolación total, velocidad y dirección del viento, y los mismos en parámetros semihorarios.

Tabla 8. Caracterización termo pluviométrica de la estación meteorológica Olite 1981-2010

Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Precipitación media (mm)	30.0	27.4	34.3	58.0	46.4	39.7	21.0	25.1	38.8	52.7	51.1	37.9	462.3
Precipitación máxima 24 h (mm)	44.3	25.5	40.6	61.5	37.3	49.5	55.4	48.0	66.0	50.0	52.3	34.8	66.0
Días de lluvia	8.8	8.2	8.5	10.1	9.6	6.3	4.0	4.4	6.1	9.9	10.1	9.4	95.4
Días de nieve	1.4	1.2	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	4.4
Días de granizo	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0
Tª máxima absoluta (°C)	19.2	22.5	27.0	29.5	35.0	39.0	40.0	39.5	37.5	29.5	25.0	19.5	40.0
Tª media de máximas (°C)	9.2	11.3	14.9	16.9	21.4	26.1	29.1	28.8	24.9	19.2	13.1	9.7	18.7
Tª media (°C)	5.5	6.8	9.9	11.8	15.9	20.0	22.6	22.5	19.2	14.5	9.2	6.1	13.7
Tª media de mínimas (°C)	1.7	2.4	4.8	6.7	10.3	14.0	16.2	16.2	13.5	9.7	5.4	2.4	8.6
Tª media de mínimas absolutas (°C)	-3.9	-3.2	-1.1	1.4	4.4	8.5	11.4	10.7	7.7	3.2	-1.0	-3.6	2.9
Tª mínima absoluta (°C)	-9.0	-8.0	-7.0	-1.5	0.9	3.0	8.5	5.5	4.0	-1.0	-7.5	-10.0	-10.0
Días de helada	10.6	7.8	2.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	8.4	33.0
ETP índice de Thornthwaite (mm)	10.5	14.6	31.4	44.7	78.4	112.7	137.0	126.2	86.7	51.9	22.7	11.8	728.7

La evapotranspiración de referencia (ETPo) se ha calculado según el método de Thornthwaite, 1948. Se calculan los índices climáticos de referencia para la vid, periodo activo durante el cual las temperaturas medias son superiores a 10°C, integral térmica eficaz de Winkler y Amerie, 1944 e índice heliotérmico de Hugglins de 1978 (Honorio, 2016).

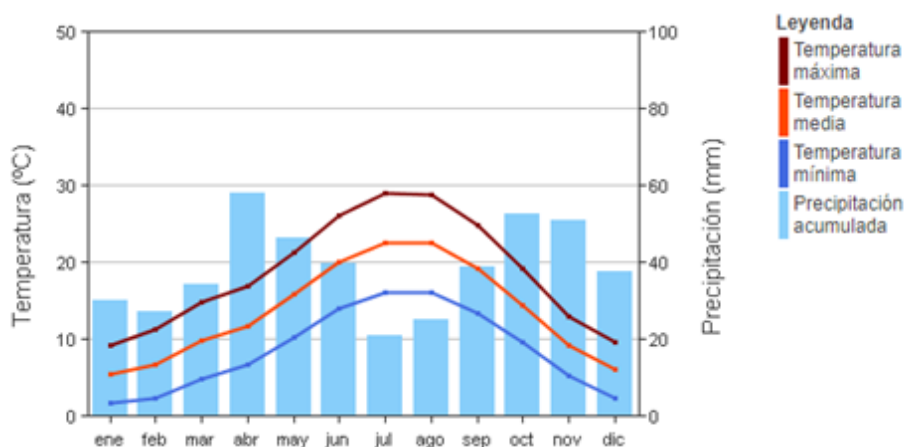


Figura 13. Diagrama ombrotérmico medio de Olite (1981-2010)

3.2.2. CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA

La parcela de Baretón de Olite se encuentra localizada en las terrazas medias del río Cidacos en suelos datados del Pleistoceno, descritos de la Cartografía Geológica de Navarra 1:25.000, en la Memoria del pliego 206-IV en la serie 506, destacando su formación por gravas polimícticas, con arenas más bien escasas predominando los clastos redondeados de naturaleza carbonatada. Se puede observar su localización en los mapas de la figura 14. La caracterización de los perfiles es (del Valle, 2011):

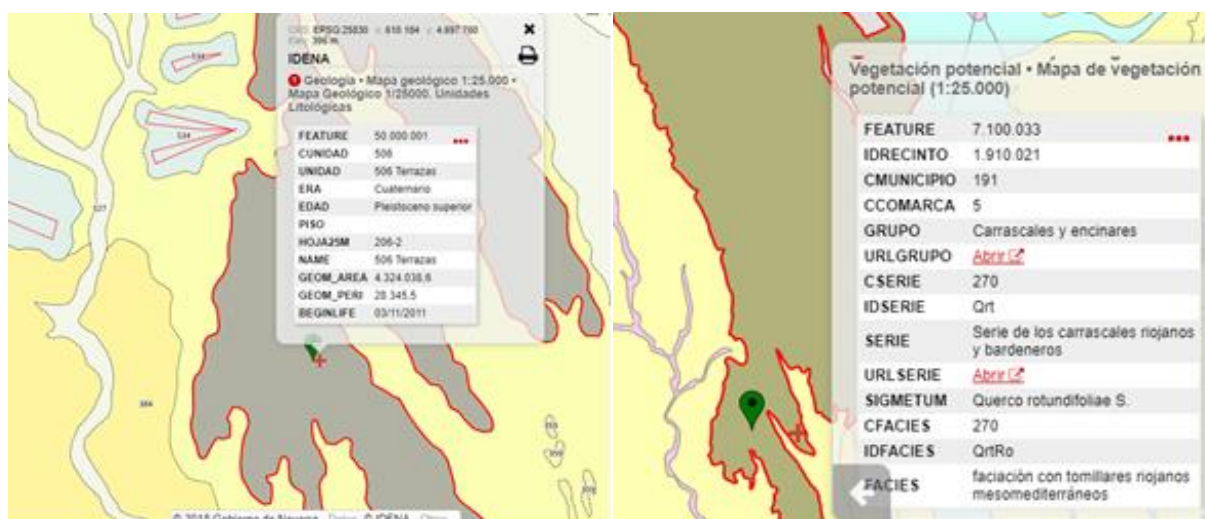


Figura 14. Mapas de la localización del ensayo de portainjertos en la cartografía geológica y de vegetación potencial 1:25000 de Gobierno de Navarra.

A1 0-35 cm Color: 7.5YR3/3, Pardo oscuro Humedad/consistencia: a capacidad de campo muy friable. Elementos gruesos: 20% rodados y subangulares, éstos con trozos de cemento. Recubrimiento total. Estructura: Bloques subangulares, muy fina, fuerte. Poros: tubulares e

intersticiales, finos y muy finos, muchos. Raíces: Muchas, finas y muy finas. Textura: Franco arcillosa. Límite: Neto y plano.

A2 35-75 cm Color: 10YR5/3, Pardo 60% y 10YR7/3, pardo pálido 40% Humedad/consistencia: a capacidad de campo, firme. Elementos gruesos: No. Estructura: Bloques subangulares, muy fina, débil. Poros: Tubulares e intersticiales, muy finos, frecuentes. Raíces: frecuentes, finas y muy finas. Textura: Franco arcillosa. Límite: Gradual y plano.

Ckm 75-115 cm Color: 10YR8/1 Blanco 90% y 10% YR6/3 pardo pálido 10% Humedad/consistencia: a capacidad de campo, muy firme. Elementos Gruesos: 15% rodados de 3 cm con recubrimiento total. Estructura: Masiva Poros: Tubulares e intersticiales, muy finos, pocos. Raíces: Frecuentes, finas y muy finas. Textura: Franco arcillosa. Sólo en las zonas pardas hay raíces. Límite: Gradual y plano.

Ck 115-175cm. Color: 10YR6/6, Amarillo parduzco. Humedad/Consistencia: A capacidad de campo, firme. Elementos Gruesos: 60% rodados de 3 cm, con recubrimiento total. Estructura: Impedida. Poros: Tubulares e Intersticiales, muy finos, pocos. Raíces: muy pocas, muy finas. Precipitados: de carbonatos en poros y caras. Textura: Franco arenosa.

Los datos analíticos de cada horizonte se presentan en la tabla 9a y el perfil en figura 15.

Tabla 9a. Análisis físico químico de los horizontes del suelo en parcela portainjertos (del Valle,2011).

Horizonte	A1	A2	Ckm	Ck
Profundidad	0-35	35-75	75-115	115-175
Análisis Físico				
Arena 2-0,2 mm	7,2	24,5	32,1	38,0
Arena 0,2-0,1 mm	3,1	7,2	5,4	12,3
Arena 0,1-0,05 mm	11,4	7,8	4,2	9,3
Arena 0,05 - 0,02 mm	18,3	6,4	5,6	12,5
Limo 0,02-0,002 mm	29,8	26,5	24,2	16,4
Arcilla < 0,002 mm	30,2	27,6	28,6	11,6
Análisis Químico				
Caliza total %	19,1	78,8	90,1	54,3
Caliza activa %	6,5	26,0		
Mat. org. oxidable %	2,3	2,0	1,5	0,3
Nitrógeno total ‰	0,1			
Fósforo asimilable ‰	35,9			
Potasio asimilable ‰	184,3			
Relación C/N	9,0			
pH en agua (1:2,5)	8,52	8,5	8,54	8,76
PH en ClK (1:2,5)	7,30	7,94	8,09	8,11
C.E. (1:1) dS/m	0,33	0,51	0,55	0,38



Figura 15. Foto de perfil del suelo de la parcela de portainjertos en Baretón.

En 2016 se realizó un análisis edafológico para conocer la composición y verificar la homogeneidad de la parcela, tomando muestra de suelo S (1-20 cm) y subsuelo SS(20-40cm) de todas las filas, dispersando la toma de muestra en zigzag. Se determinan 9 unidades experimentales para el estudio de la homogeneidad del suelo, constituidas cada una por los cinco puntos de muestreo (uno por fila) más próximas de cada bloque, como se puede observar en la figura 16. Se agruparon en una muestra el suelo y en otra el subsuelo, quedando 9 muestras de suelo y 9 de subsuelo identificadas como muestra la figura. Los métodos utilizados en este análisis se resumen en la tabla 9b (MAPA, 1994).

Tabla 9b. Determinaciones y métodos utilizados para análisis de homogeneidad de suelo

Parámetro	Método
pH en agua	Potenciometría 1:2,5
pH en KCl	Potenciometría 1:2,5
Sales	Estimación a partir de eCE potenciometría 1:5
Carbonatos %	Calcímetro de Bernard
Caliza activa‰	Calcímetro de Bernard
P mg/kg (mg/L)	Olsen
N inorgánico (mg/L)	Kjeldhal
Cationes cambio (mg/Kg suelo)	CaCl ₂

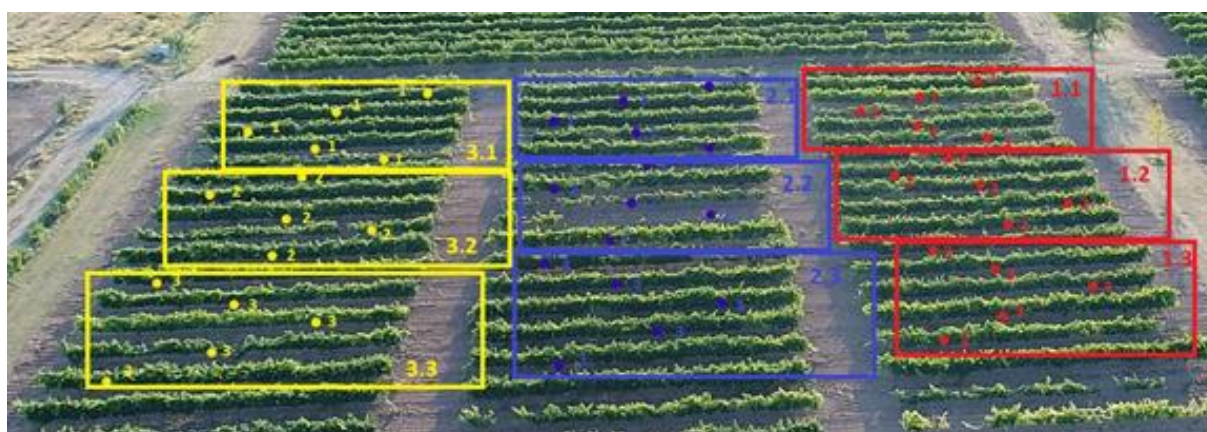


Figura 16. Situación de las 9 unidades experimentales de estudio de homogeneidad del suelo y muestreo.

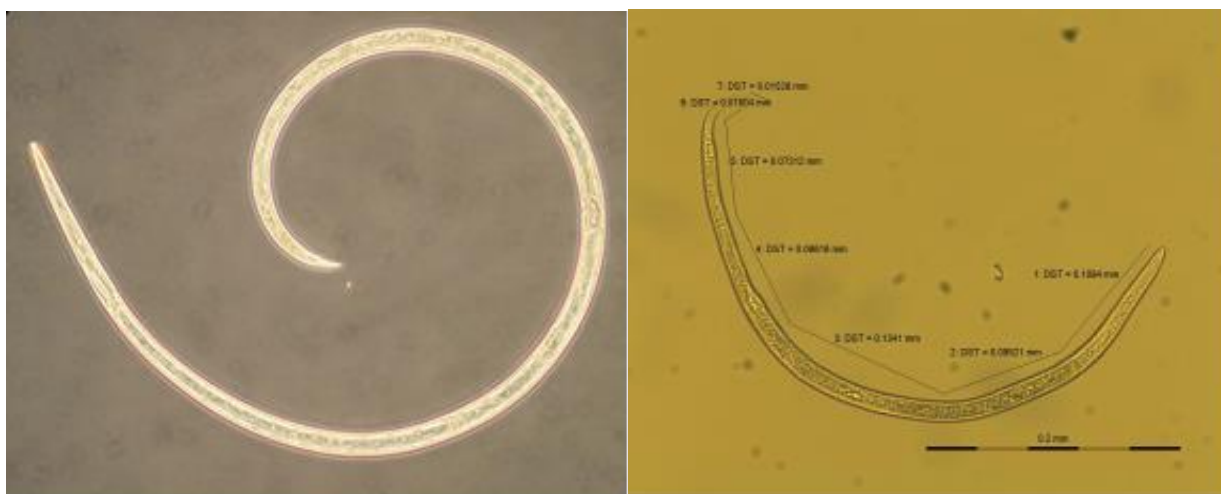
Se realizó otro análisis fisicoquímico más completo del suelo para ver la composición del suelo en 2015 y disponer de referencias para el análisis del sistema planta/suelo. Para ello se homogeneizaron distintas submuestras de un muestreo representativo para finalmente tener una muestra de suelo y otra de subsuelo. Los análisis se realizaron sobre el suelo seco al aire y sobre la fracción fina, pasado por tamiz de 2mm de luz de malla. Se analizaron por las metodologías que se detallan en tabla 10 (MAPA, 1994; Laboratorio Regional de La Rioja, 2015).

Tabla 10. Determinaciones y métodos de análisis para caracterización de suelo.

Horizonte	Método
Textura	Difractometría laser
pH agua (1:5)	Potenciometría
C.E.(1:5 mmhos/cm)	Potenciometría
Carbonatos totales (%) IR	Infrarrojos
Caliza activa (%) calcímetro	Calcímetro Bernard
Mat. orgánica oxidable (%) Vol.	Volumetría (dicromato potásico)
Nitrógeno total (‰)	Conductividad eléctrica, método Dumas
Fósforo (P ₂ O ₅) (mg/Kg)	Método Olsen (bicarbonato sódico)
CIC total (cmolc/kg)	Cohex y colorimetría
Cationes cambio (cmolc/kg)/mg/kg	Cohex e ICP
Fe, Mn, Zn, Cu, Al, As, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Ba, Sr, B, SO ⁴ (mg/kg)	Mehlich e ICP

3.2.3. CARACTERIZACIÓN NEMATOLÓGICA DEL SUELO

El comportamiento de los portainjertos puede verse influenciado por la presencia de poblaciones de nematodos, como se muestra en el apartado 1.2.2., por lo que se estima oportuno evaluar las poblaciones de nematodos que existen en la parcela. Se realiza un muestreo de todas las filas del ensayo. La recogida de muestras de suelo para la realización del análisis de nematodos se realizó el día 9 de marzo de 2015, cuando las lluvias ya son importantes y las temperaturas van aumentando, favoreciendo las poblaciones de nematodos en la zona de las raíces. Se muestrea en un punto en cada fila, en las cepas centrales para la toma de muestra de suelo. Los nematodos libres se extraen por el método de centrifugación y flotación (Nombela y Bello, 1983) y se cuantifican *Xiphinema spp.* y *Meloidogyne spp.* en su estado juvenil J2 (nº individuos/ 200g suelo) figura 17.



Figuras 17. Fotografías de los nematodos *Xiphinema spp.* y *Meloidogyne spp.* durante su identificación microscópica.

3.2.4. CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA

Se ha realizado un seguimiento de los estados fenológicos de la vid más significativos para este ensayo experimental durante los años 2015, 2016 y 2017, considerando brotación, floración, envero y maduración según los estados de Baggiolini (Baggiolini, 1952). El seguimiento se ha realizado mediante visitas a la parcela en las fechas apropiadas anotando el porcentaje de yemas, brotes o racimos que se encontraban en cada estado. La fecha de cada estado fenológico se ha estimado cuando el 50% de las yemas, brotes o racimos se encontraban en dicho estado, a excepción de la fecha de vendimia que se ha determinado a partir de un seguimiento semanal del índice de madurez. El portainjerto Dog Ridge se ha valorado con las plantas del mismo año de plantación que el resto de portainjertos.

3.3. SEGUIMIENTO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

3.3.1. ESTUDIO NUTRICIONAL

3.3.1.1. Diseño de la Fertilización

La fertilización se fue configurando según se desarrollaba el ensayo atendiendo a los resultados obtenidos del diagnóstico nutricional del cultivo y a los objetivos, proponiéndose una estrategia secuencial de fertilización. En el primer año no se aplicó ninguna fertilización y según se obtuvieron los resultados, advirtiendo las necesidades se decidió hacer aplicaciones en 2016. En 2016 se aplica fertilización de invierno y aplicación de quelato de hierro via foliar en envero a 10 mM. Intentando mejorar los resultados de 2016 y optimizar las aplicaciones, se diseñaron las fertilizaciones de 2017, modificando la aplicación de hierro via foliar y añadiendo fertirrigación NPK. No se dispone de capacidad ni infraestructura para evaluar la fertilización con un control sin tratar, por lo que su evaluación se realiza en los parámetros de nutrición por comparación entre los tres años, estando el factor climático interanual implícito en la misma evaluación y con los diagnósticos nutricionales.

3.3.1.2. Análisis peciolar de macro y micronutrientes

El análisis de la planta es ampliamente reconocido como el método más fiable para la determinación del estado nutricional del viñedo (Kliwer, 1991). El diagnóstico foliar se basa en el hecho de que la hoja es el órgano metabólicamente más activo de la planta, por lo que las alteraciones nutricionales le afectan en mayor medida que a otros órganos (Cadahía, 2000), es decir, refleja de forma adecuada el estado nutricional de la planta.

La utilización del análisis de tejidos como indicador del estado nutricional del viñedo requiere tener en cuenta que, para una misma planta, la composición mineral puede variar en función del tejido analizado, su posición en la planta, y el momento del ciclo, caracterizado por su estado fenológico. Esta variación obliga a asumir un compromiso en cuanto al tejido y al momento del ciclo seleccionados para el diagnóstico foliar (Romero, 2015). Existe divergencia de opiniones en cuanto cuál es el mejor tejido y momento para el diagnóstico nutricional, siendo en cualquier caso imprescindible tener unos niveles de referencia para la variedad y la zona.

En el presente trabajo se siguieron las metodologías francesas, californianas y australianas para el diagnóstico nutricional del viñedo, realizando un muestreo peciolar (opuesto al racimo basal) en floración y envero (Wolf, 2007). Se muestrean 75 peciolas en cada fila de portainjertos en las fechas: floración el 17 junio de 2015, el 20 de junio de 2016 y el 16 de junio de 2017 y en envero el 29 de julio de 2015, el 24 de agosto de 2016 y el 7 de agosto de 2017.

Los análisis peciulares se realizan mediante los métodos indicados en la Tabla 11 (MAPA, 1994).

Tabla 11. Determinaciones y métodos de análisis peciolares.

Determinación	Método
Materia seca inicial	Desecación a 65°C y cuantificación con técnicas gravimétricas
Humedad residual	Desecación a 103°C y cuantificación con técnicas gravimétricas
Nitrógeno total	Combustión (Método Dumas) y cuantificación con celda conductividad
P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B	Digestión con ácido nítrico por microondas y cuantificación por ICP-MS

3.3.1.3. Diagnóstico nutricional

En el presente trabajo se utilizan diversos métodos de interpretación del análisis mineral de tejidos vegetales, algunos univariantes como Rango de Suficiencia (Marschner, 1995) y Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) (Montañes et al., 1993), y otros multivariantes como el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) (Beaufils, 1973).

RANGO DE SUFICIENCIA

El método de Rangos de Suficiencia compara individualmente, para determinado tejido y estado fenológico, la concentración de cada nutriente con respecto a su referencia. Los valores se mueven entre un valor crítico, que constituye el límite inferior del rango de suficiencia y un límite superior que se sitúa en un valor inusualmente alto o incluso tóxico. El Rango Suficiencia es con frecuencia demasiado amplio, por lo que su precisión es menor (Romero, 2015)

DESVIACIÓN DEL ÓPTIMO PORCENTUAL DOP

El método del cálculo de la Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) compara individualmente la concentración de cada nutriente con respecto a su referencia, mediante la siguiente fórmula:

$$DOP = [(C - C_{ref}) / C_{ref}] \times 100$$

donde C es la concentración de un nutriente dado en un vegetal y C_{ref} es la concentración referencia u óptima para dicho nutriente en el mismo tejido. El DOP refleja la desviación porcentual respecto a la concentración de referencia y puede ser positivo o negativo. Entre sus ventajas cuenta el ser capaz de obtener de forma rápida un orden de limitación de nutrientes, además de ser fácil de extrapolar a las necesidades de fertilización (Montañes et al., 1993).

DIAGNÓSTICO Y SISTEMA INTEGRADO DE RECOMENDACIÓN DRIS

El método DRIS, siglas de Diagnosis and Recommendation Integrated System, utiliza las relaciones de elementos para llevar a cabo el diagnóstico y compara las relaciones obtenidas en la muestra con unas referencias óptimas. Esta comparación se lleva a cabo calculando unos índices individuales para cada nutriente, que miden el grado de deficiencia o suficiencia relativa de un nutriente respecto a los demás y permite obtener un orden de limitación de nutrientes.

El cálculo de los índices individuales para cada nutriente no es tan sencillo como en el DOP. El cálculo de los índices DRIS se realiza utilizando todas aquellas relaciones de nutrientes que contienen cada nutriente. Para ello se calculan unas funciones particulares de cada relación de nutrientes, que miden de forma ponderada la desviación de cada relación de nutrientes respecto a su referencia (Walworth y Sumner, 1987). Cada función se calcula de la siguiente manera:

$$F(A/B) = 100 \times [(A/B/a/b)-1] \times (10/CV\%) \quad \text{si } A/B > a/b$$

$$F(A/B) = 100 \times [1-(A/B/a/b)] \times (10/CV\%) \quad \text{si } A/B < a/b$$

A/B es la relación de nutrientes en hoja de la muestra a evaluar.

a/b es el valor de referencia de dicha relación de nutrientes.

CV% es el coeficiente de variación de a/b (población de referencia) expresado en porcentaje.

Una vez calculadas las funciones para cada relación de nutrientes, el índice DRIS para un elemento concreto se calcula mediante el promedio de todas las funciones que contienen a dicho elemento. El valor del índice para cada elemento representa una medida de suficiencia considerando su relación con los elementos restantes. Los negativos indicarían deficiencia y cuanto más próximos a cero estuviesen, más próximos estarán de tener un nivel adecuado. Los valores positivos indicarían exceso. (Walworth y Sumner, 1987).

La principal desventaja de la metodología DRIS es la escasez de referencias disponibles, que a menudo están limitadas en cuanto al número de nutrientes que se puede diagnosticar (Lucena, 1997). Además, únicamente dan un diagnóstico relativo con respecto a los demás elementos, por lo que no se puede considerar una medida absoluta de la desviación del nutriente frente a una referencia única, dado que es un valor promedio de desviaciones ponderadas. Por tanto, no son tan fácilmente extrapolables a necesidades nutricionales y fertilizantes. Los niveles peciolares de referencia utilizados en el presente trabajo son los obtenidos para la D.O.Ca. Rioja para Tempranillo sobre 110R para una producción moderada de entre 3800 a 10000 kg/ha (Romero, 2015).

3.3.2. ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

3.3.2.1. Índice SPAD

El índice SPAD (Soil Plant Analisis Developement) es proporcional a la concentración de clorofila presente en la hoja, representando un sistema sencillo de estimación fisiológica no destructiva. Para la estimación del contenido en clorofilas se ha utilizado un SPAD 502 Minolta. Determina la concentración relativa de clorofilas midiendo la transmitancia de la hoja después de emitir en dos longitudes de onda, 650nm y 940nm. Calcula un valor numérico de SPAD (Soil Plant Analisis Developement) que se correlaciona directamente con la concentración de clorofilas presentes en la hoja, altas concentraciones generan altos valores de SPAD (Follet et al, 1992; Uddling et al, 2007).

En 2015, 2016 y 2017 se han llevado a cabo 4 muestreos en los siguientes estados fenológicos: Inicio Floración (I), Floración + 15 días (I+15), Guisante (K) e inicio de Envero (M). En cada muestreo se toman cuatro hojas por repetición de portainjerto, seleccionadas entre vegetación representativa de cada fila. Se eligen hojas activas de las cepas, entre la 6ª y 8ª hoja adulta de cada pámpano, como en las medidas radiométricas. En la época en que ya se ha despuntado se elige la hoja por morfología y estado similar a las hojas antes seleccionadas. En cada hoja se hacen tres medidas y el valor de la medida de cada hoja es el obtenido de la media de las tres.

3.3.2.2. Clorofilas

Se determinó la concentración de clorofilas por medida directa de los pigmentos extraídos de las hojas sobre las que se recogieron los datos de radiometría y los índices SPAD en el momento de floración durante los tres años. La extracción se hace mediante método de la acetona al 80% (Mc Kinney, 1941) y se mide en espectrofotómetro Shimadzu UV-1700 a 663 y 645 nm. Se utilizan las ecuaciones de Arnon (1949). Se utilizarán estas medidas para determinar su correlación con los índices radiométricos y de SPAD.

$$\text{Chl}_a \text{ (mg/l)} = 12,7 \times A663 - 2,69 \times A645$$

$$\text{Chl}_b \text{ (mg/l)} = 22,9 \times A645 - 4,68 \times A663$$

$$\text{Chl}_{a+b} \text{ (mg/l)} = 20,2 \times A645 + 8,02 \times A663$$

3.3.2.3. Vigor

El vigor es la medida del desarrollo vegetativo de una planta. Se han estimado varias medidas relativas al vigor: el peso de la madera de poda y la superficie foliar externa. Es importante tener en cuenta que, aunque estos parámetros no consideran el total de la biomasa vegetativa producida en la viña, si son medidas que reflejan el tamaño alcanzado por una viña en unas condiciones de cultivo determinadas (Skinkis and Vance, 2013). Además, se ha calculado el índice de Ravaz que refleja el balance de la viña entre su crecimiento vegetativo y productivo (Hidalgo, 2006).

El **peso de poda** se ha expresado en gramos por cepa después de la caída de la hoja. La medida de este parámetro se realiza en el mes de enero, coincidiendo con la poda. Dentro de cada fila se seleccionan cinco cepas representativas, pesando con balanza Mettler Toledo IND236 todos los sarmientos y calculando el peso medio.

La **superficie foliar externa** (SFE) de la cepa hace referencia al área foliar que puede recibir la radiación solar de forma directa. Se considera superficie foliar externa de la espaldera la de las partes laterales y la parte superior del prisma rectangular que forma la pared de vegetación (*canopy o dosel*). También la radiación reflejada por el suelo puede ser absorbida por la cara inferior del *canopy*, pero algunos autores han observado que la contribución es muy pequeña y puede despreciarse. El índice SFE representa la relación entre la superficie foliar externa de la cepa (o fila) y la superficie del suelo correspondiente a la cepa (o fila), ambos expresados en metros cuadrados (Pérez, 2002).

Las medidas de superficie foliar externa se obtuvieron cuando la vegetación había alcanzado su pleno desarrollo. La altura y la anchura de la vegetación se midieron en tres posiciones distintas por fila, para calcular su valor medio. También se estimaron en los casos en los que existían, los huecos en la vegetación. El cálculo de la SFE se realizó conforme a la siguiente fórmula:

$$\text{SFE} = [(\text{altura media } m \times \text{largo } 20 \text{ m}) \times 2] + (\text{largo } 20 \text{ m} \times \text{anchura media } m) + [2 \times (\text{anchura media } m \times \text{altura media } m)] / 20 \times 2,8 \text{ m}^2$$

El **índice de Ravaz** (Ravaz, 1903) es la relación de la producción entre el peso de la madera de poda en una viña. Se calculan estos parámetros medios por cepa. El índice de Ravaz refleja el balance de la viña entre su crecimiento vegetativo y productivo. El valor óptimo del índice de Ravaz está entre 4 y 7 según los valores establecidos por Garcia-Escudero et al., 1991. Los valores extremos indican desequilibrios, siendo los valores superiores indicativos de un exceso de producción y los inferiores de un excesivo vigor de las cepas (Martinez-Vidaurre, 2017)

3.3.2.4. Radiometría e Índices de Vegetación

La radiometría es el análisis de cómo la radiación electromagnética interactúa con la materia en diferentes longitudes de onda (Diago et al., 2013). Las medidas radiométricas se llevan a cabo con un radiómetro que proporciona la firma espectral (reflectancia para cada longitud de onda) característica de un objeto. Las firmas espectrales suelen representarse gráficamente indicando el valor de reflectancia para cada longitud de onda. En este trabajo de investigación, se utiliza la radiometría con el objetivo de caracterizar a cada portainjerto mediante la obtención de sus firmas espectrales en los momentos fenológicos más relevantes y críticos. Además, se pretende utilizar la radiometría como factor pronóstico mediante la selección de los índices de vegetación (IVs) que mayor correlación tenga con los parámetros de nutrición, producción y calidad.

Se utiliza un radiómetro de campo StellarNet Spectroradiometer PS-100, unido a una sonda con luz artificial, realizando las medidas en laboratorio entre 400 nm y 1050 nm, a una resolución de 1 nm, con 650 medidas por hoja.

Durante 2014, se hicieron medidas en Guisante (K), Envero (M) y Maduración (N), como prueba de concepto a este ensayo. En 2015, 2016 y 2017 se han llevado a cabo 4 muestreos en los siguientes estados fenológicos: Inicio Floración (I), Floración + 15 días (I+15), Guisante (K) e inicio de Envero (M). Se utilizarán estas medidas en el apartado de índices de vegetación.

En cada muestreo se toman cuatro hojas por repetición de portainjerto, seleccionadas entre la vegetación representativa de cada fila. Se eligen hojas activas de las cepas, entre la 6ª y 8ª hoja adulta de cada pámpano empezando por el ápice. En la época en que ya se ha despuntado se elige la hoja por morfología y estado similar a las hojas antes seleccionadas. En cada hoja se hacen tres medidas y el valor de la medida de cada hoja para cada longitud de onda es el obtenido de la media de las tres medidas. A lo largo del periodo 2014 - 2017 se realizaron mediciones radiométricas que generaron 1.775.664 datos. Una vez depurados se estructuran en Microsoft Excel en 2520 filas.

Se realiza la evaluación de la información contenida en las imágenes hiperespectrales. Para ello se utilizan índices vegetales obtenidos de las longitudes de onda del visible y el infrarrojo de cada hoja.

Los índices vegetales usados han sido consultados en Index Data Base (IDB) que es una herramienta desarrollada por Crop Science Group – Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES) de la Universidad de Bonn, en Alemania. IDB es una herramienta para trabajar con índices de detección remota, proporcionando una descripción rápida de qué índices

son aptos para sensores y aplicaciones específicos, que permite seleccionar o consultar interactivamente (The IDB-Proyect, 2018).

La primera selección de los índices de vegetación se realizó a partir del análisis de los 519 IVs que aparecen recogidos en la base de datos IDB. Tras una consulta pormenorizada de cada uno de ellos, se realizó una primera selección de 208 de ellos siguiendo los siguientes criterios generales:

- Que sus aplicaciones estuvieran relacionadas con la vegetación a nivel agrícola o forestal, descartando por ejemplo aquellos propios de análisis geológicos.
- Que las longitudes de onda requeridas en sus expresiones matemáticas estuvieran dentro del intervalo de las medidas radiométricas del espectro de los datos recabados (400nm- 1049nm).
- Que definieran la resolución espectral con datos concretos y no mencionando intervalos.

Una vez seleccionados los 208 IVs válidos para el ensayo y habiendo depurado los datos iniciales de radiometría, se procedió a aplicar su expresión matemática a cada una de las 2520 líneas de valores radiométricos correspondientes a portainjerto, repetición y un año concreto, usando el programa informático Microsoft Excel ver. 2010. Los índices seleccionados con sus correspondientes expresiones matemáticas correspondientes se muestran en el anexo 1. del cd adjunto.

3.3.2.5. Teledetección con dron

La adquisición de la ortofoto fue tomada por Smart Rural el 27 de julio de 2017, en estado fenológico de envero. Las imágenes se tomaron con el sensor multispectral Parrot Sequoia montada sobre un dron agrícola Ebee AG (Figura 18)



Figura 18. Sensor Parrot Sequoia y sus dimensiones

El sensor Sequoia dispone de una cámara multispectral formada por 4 cámaras espectrales 1,2 Mpx 10 bits global shutter y calibración automática usando el sensor solar. Su resolución espectral y su tolerancia son Verde (550 nm \pm 40), Rojo (660 nm \pm 40), red edge-borde rojo (735 nm \pm 10) y NIR- infrarrojo cercano (790 nm \pm 40) con una resolución espacial de 8 cm. Dispone de sensor inercial, IMU, y magnetófono.

Sobre las imágenes iniciales se realizó una corrección geométrica y radiométrica presentando los datos en reflectancia para su posterior análisis (Figura 19).

En la base de datos IDB (Henrich et al. 2009 y 2012), se recopilaron todos los IVs que cumplieran con las características del sensor multispectral Parrot Sequoia, es decir, que en la expresión matemática se incluyeran las bandas del sensor; 550 nm \pm 40; 660 nm \pm 40; 735 nm \pm

10; 790 nm ±40. Se seleccionan 6 índices de vegetación que concordaban con el objetivo del presente trabajo.



Figura 19. Imagen de partida RBG obtenida por la empresa Smart Rural, sobre la que se realiza el procesamiento de la imagen y la creación de nuevas bandas a partir de los índices de vegetación seleccionados.

En la figura 20 se presenta el esquema de trabajo. El análisis de las imágenes se realiza con el software ENVI. Se seleccionó la imagen y a partir de la expresión matemática de cada índice de vegetación, usando la herramienta del software llamada “Math Band”, se aplica la ecuación del índice de vegetación a una o más bandas en una imagen para obtener las capas.

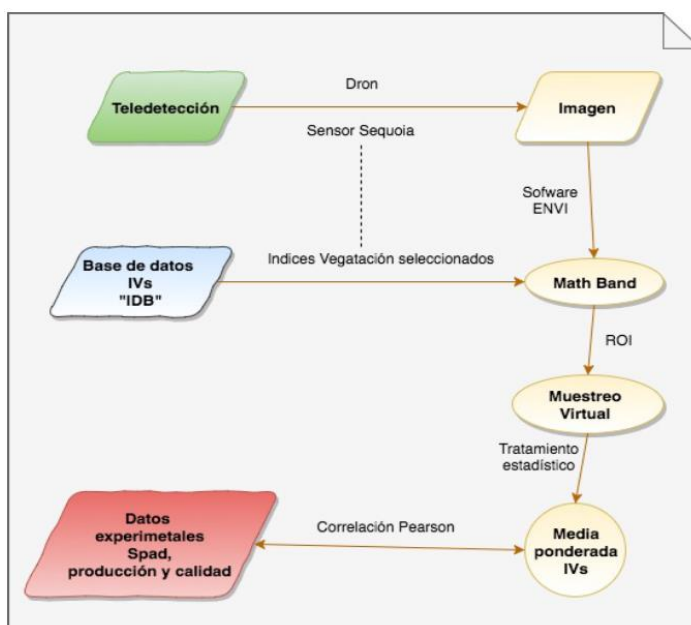


Figura 20. Algoritmo de trabajo

Para poder diferenciar el comportamiento de los diferentes portainjertos en función del índice de vegetación se realiza un muestreo virtual a partir de cada una de las nuevas imágenes generadas para cada uno de los índices de vegetación. Este muestreo virtual, se lleva a cabo mediante otra herramienta de software ENVI, llamada ROI (region of interest), el cual permite delimitar la región en estudio y obtener para cada portainjerto un tratamiento estadístico del índice de vegetación (figura 21). Para ello se identificó y seleccionó de manera independiente el área correspondiente a cada una de las variedades de portainjerto (ROI) para cada uno de los bloques del diseño experimental. Sobre éstas áreas se puede, a posteriori, obtener la información procedente de la reflectancia para cada uno de los índices de vegetación seleccionados. La ventaja es que se obtienen datos de reflectancia de toda la zona en estudio sin necesidad de realizar un muestreo representativo. Para cada área de estudio se determinó la media ponderada teniendo en cuenta la superficie ocupada por cada gradiente de índice de vegetación. De esta forma, al final, se obtiene un valor medio para cada índice de vegetación procedente de las medias ponderadas de cada uno de los bloques.

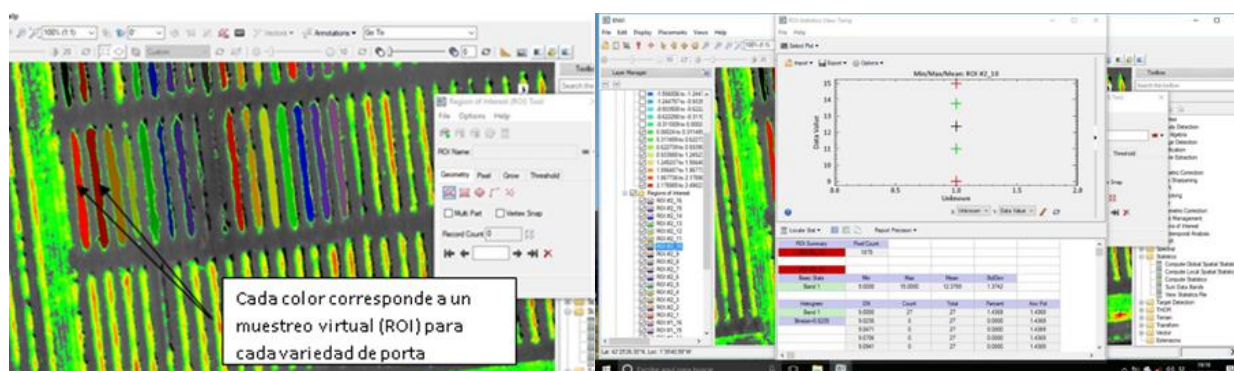


Figura 21. Ejemplo del proceso de muestreo virtual para cada uno de los portainjertos mediante la herramienta ROI y tratamiento estadístico

3.3.3. ESTUDIO PRODUCTIVO

El estudio se lleva a cabo según el protocolo de seguimiento de la producción establecido en EVENA, mediante la determinación de los parámetros tales como medida del rendimiento, peso cepa, número de racimos por cepa, el peso de racimo, el peso de 100 bayas y el número de bayas del racimo.

La **producción**, peso de uva en gramos por metro cuadrado de suelo ($\times 10 = \text{kg/ha}$), se obtuvo pesando el conjunto de todos los racimos de cinco cepas representativas mediante la báscula Mettler Toledo IND236. Se contaron el número de racimos de cada cepa inmediatamente antes del momento de vendimia. Luego se dividió el peso entre la superficie ocupada por las cinco cepas que calculada según el marco de plantación suponen $18,2\text{m}^2$.

El **peso de 100 bayas** se obtuvo a partir de muestreo de bayas tomadas aleatoriamente de entre todos los racimos y de todas las posiciones dentro del racimo. Cada muestreo de 100 bayas fue depositado en bolsas que se pesaron en el laboratorio en balanza de 0,01 g de sensibilidad. Posteriormente se utilizó esta muestra para el análisis cualitativo.

El **número de racimos/cepa** se determina contando los racimos de 5 cepas representativas y calculando la media.

El **peso del racimo** se calcula de forma indirecta como cociente entre el peso total de producción y el número de racimos contabilizados en ese mismo momento.

El **peso cepa** se calcula de forma indirecta como el cociente entre el peso total de producción control y el número de cepas control.

El **número de bayas del racimo** se obtiene también de forma indirecta, a través del cociente entre el peso medio del racimo y el peso medio de baya.

3.3.4. ESTUDIO DE CALIDAD

3.3.4.1. MADURACIÓN DE LA UVA

La evaluación de la maduración de la uva requiere valorar dos aspectos, la maduración tecnológica y la maduración fenólica.

La maduración tecnológica se produce cuando los compuestos del mosto llegan a un equilibrio adecuado para el tipo de vino a elaborar. La elaboración del vino de la variedad Tempranillo requiere un grado y una acidez equilibrados. Hay que tener en cuenta que el Tempranillo es una variedad con una proporción de acidez tartárica/málica bastante compensada, con lo que la reducción de la acidez tras la fermentación alcohólica y maloláctica es notable, transformando el málico en otros ácidos débiles como el láctico en el vino, y produciéndose además un incremento del pH variable dependiendo del contenido de potasio, que actúa como contra ion en la formación de las correspondientes sales de los ácidos (Chatonnet, 2005).

La maduración fenólica se refiere a los componentes polifenólicos de la uva y su facilidad de extracción. El Tempranillo es una variedad con una carga polifenólica alta, que requiere una maduración fenólica adecuada para obtener vinos de calidad. Estos compuestos se encuentran principalmente en el hollejo, flavonoles y antocianos, y en la pepita gran parte de los taninos. Son los responsables del color, el aroma y de alta relevancia en la estructura y estabilidad. Su máxima acumulación durante la maduración puede coincidir con el momento en que la relación azúcar/acidez es óptima, pero también puede alcanzarse antes o después, por lo que su valoración es importante para escoger el momento óptimo de vendimia (Martínez de Toda, 2002).

Se procesan las muestras de 100 bayas de cada variante según se indica en el apartado de producción 3.3.3. Se pasan por una licuadora, se centrifugan 4 minutos a 4000 rpm y posteriormente sobre el mosto se determinan parámetros de calidad tales como: grado probable, acidez total, pH, ácido málico y potasio, con las metodologías indicadas en la tabla 12 (OIV, 2000; Laboratorio Enológico de Navarra, 2018).

Tabla 12. Determinaciones y métodos para la maduración tecnológica de la uva.

Determinaciones	Método
Grado probable (%vol.)	Refractometría Shidmazu RX-3000
pH	Potenciometría autoanalizador ATP 3000
Acidez total titulable (g/l ácido tartárico)	Valoración potenciométrica autoanalizador ATP3000
Ácido málico (g/l)	Enzimático NADH espectrofotometría absorción a 340nm Autoanalizador Miura
Potasio (mg/l)	Espectrofotometría de emisión atómica a 766,5 nm Perkin Elmer PinAAcle 500

Se calcula el índice de madurez que relaciona el grado probable de la muestra obtenido por refractometría entre los gramos de acidez total expresado en tartárico, multiplicado por 17 que son los gramos de azúcar que aproximadamente producen un grado de alcohol. El cálculo se realiza con la siguiente fórmula: $IM = GP * 17 / ATT$

La madurez fenólica se valora mediante el método Glories (Saint-Cricq et al., 1998). Se parte de dos muestras de 100 granos de peso similar obtenidas con la metodología indicada en el apartado 3.3.3. Una servirá para determinar el volumen de baya, la proporción de pulpa y hollejo y el factor de dilución, que se obtiene mediante la medida gravimétrica de bayas enteras y bayas sin pulpa (estrujada en papel de filtro y secado de 48 horas). Los otros 100 granos se utilizan para el procesado mediante batidora de vaso durante 20 segundos y maceración con dos soluciones, una de pH 1,0 (disolución de HCl que produce una degradación de las células y una extracción completa de los antocianos) y otra a pH 3,2 (disolución de ácido tartárico, comparable con una vinificación clásica). De estos extractos filtrados, mediante las preparaciones del método se obtienen los índices propuestos para la maduración fenólica (tabla 13) a partir de las medidas en espectrofotómetro Jasco a longitudes de onda 420, 520, 620 y 280 nm.

Tabla 13. Índices de estimación del potencial polifenólico de la uva.

Índices de potencial polifenólico	
IPT	Índice polifenoles totales, riqueza polifenólica de la uva
AP	Antocianos potenciales
AFE	Antocianos fácilmente extraíbles
EA%	Índice de extractabilidad de los antocianos = $[(AP - AFE) / Ap] \times 100$
dTpell	Contenido de taninos de hollejos = $AFE \times 40$
dTpep	Contenido de taninos de semillas = $IPT - dTpell$
Mpep	Índice de madurez de las semillas $[dTpep / IPT] \times 100$

El **índice de polifenoles totales (IPT)** da un valor de la cantidad de polifenoles que tiene la uva. Se mide sobre el extracto de pH 3,2 a una absorbancia de 280 nm. Durante la maduración va aumentando (Saint Cricq et al., 1998).

Los antocianos son los compuestos primarios que aportan el color rojo al vino, metabolitos secundarios de las plantas, responsables también de los tonos azules, púrpuras y morados que provienen bien directamente de ellas o de sus uniones a otras moléculas presentes en el vino (Tudo, 2008).

Los **antocianos potenciales (AP)** indican la concentración total de antocianos que posee la uva, valorada con el extracto de pH1 a una absorbancia de 520 nm.

Los antocianos fácilmente extraíbles (AFE) se relacionan con la cantidad de antocianos que se pueden extraer en una vinificación habitual, valorados con el extracto de pH 3,2 a una absorbancia de 520 nm. Durante la maduración se van acumulando antocianos en las vacuolas de los hollejos aumentando su concentración

El Índice de extractabilidad de antocianos (EA) indica la fracción de antocianos que se ha podido extraer fácilmente de la uva respecto a los antocianos totales. Durante la maduración las membranas celulares se van degradando permitiendo una mejor extracción de los antocianos, por tanto, se observa como disminuye la diferencia entre las concentraciones de antocianos potenciales y fácilmente extraíbles, por tanto, cuanto menor sea EA mayor será la concentración de antocianos extraídos, disminuyendo este valor con la maduración.

Los taninos se encuentran en las partes sólidas del racimo. Los **taninos del hollejo (dTpell)** van aumentando durante la maduración; suelen ser taninos más condensados y dulces, no hidrolizables, que dan una indicación de la correcta madurez de la uva (Flores, 2017) Los **taninos de las pepitas (dTpep)**, considerados astringentes, hidrolizables y extraíbles, van disminuyendo con la maduración. Los taninos tienen la particularidad de polimerizarse y hacerse menos agresivos, pues con la polimerización disminuye la reactividad con las proteínas salivares, que es el origen de la astringencia. (Martínez de Toda, 2002). Su extracción es mecánica, no fisiológica, y dependiendo de las técnicas de vinificación utilizada, se puede extraer más o menos taninos para obtener la estructura y cualidades adecuadas. El **índice de madurez de las pepitas (Mpep)** se calcula como el porcentaje de la contribución de los taninos de las pepitas al contenido polifenólico total. Disminuye durante la maduración debido a las reacciones de polimerización de los taninos extraíbles que se transforman en taninos condensados no extraíbles.



Figura 22. Fases de la microvinificación experimental y foto de la fermentación 2017.

3.3.4.2. ESTUDIO ENOLÓGICO

Se realiza la vendimia de las tres repeticiones de cada portainjerto juntas, después de llevar a cabo todos los controles de maduración y producción. La uva de los 16 portainjertos por separado se conduce a bodega donde sigue un protocolo para la microvinificación experimental (EVENA, 2015). Se realizan 16 microvinificaciones en los años 2015, 2016 y 2017, una para cada portainjerto que consisten en las fases esquematizadas en la figura 22.

La entrada de la uva en bodega se realiza el mismo día de la vendimia. El procesado comienza con el paso de la uva por la despalilladora-estrujadora separando el raspón de las bayas que se estrujan y pasan a cubos de 80 litros donde se adiciona metabisulfito potásico (6 g/Hl) y se añade la levadura seca liofilizada (25 g/Hl).

La fermentación se realiza a temperatura de 20°C durante 15 días aproximadamente, en los que se controlan densidades y temperaturas hasta fin de fermentación. Luego se descuba y se adicionan bacterias lácticas liofilizadas (0,63 g/HI) que realizan la fermentación maloláctica. Una vez terminada se trasiega y adiciona metabisulfito y se deja reposar durante 15 días para facilitar una limpieza natural de sedimentos del vino.

Se procede a continuación a un trasiego de limpieza y el vino pasa a cámara de semiestabilización tartárica a 4-5°C, donde permanece aproximadamente un mes. Se corrige el metabisulfito a 30 mg/l de sulfuroso libre y se filtra por placas de clarificación finas k200 (1-2,25 micras), finalizando el proceso con el embotellado.

3.3.4.2.1. ANÁLISIS DEL VINO

El vino obtenido se analiza en el Laboratorio Enológico de Navarra, laboratorio acreditado por ENAC, conforme a los criterios de la Norma ISO/IEC 17025 (UNE-EN, 2005) para la realización de análisis físico-químicos de vinos. Las determinaciones y los métodos utilizados se indican en la tabla 14 (OIV, 2000; Laboratorio Enológico de Navarra, 2018).

Tabla 14. Determinaciones y métodos utilizados para el análisis de los vinos.

DETERMINACIONES ENÓLOGICAS	MÉTODOS
Grado alcohol volumétrico 20/20 %Vol.	Infrarrojo cercano (NIR)
Acidez total g/l ac. tartárico	Valoración potenciométrica
pH	Potenciometría autoanalizador
Acidez volátil g/l ac. acético	Destilación y espectrofotometría FCS
Sulfuroso libre mg/l	Destilación fría y espectrofotometría FCS
Sulfuroso total mg/l	Destilación 98 °C y espectrofotometría FCS
Azúcares reductores g/l glucosa	Espectrofotometría FCS
Acido L-málico g/l	Método Enzimático NADH espectrofotometría
Potasio mg/l	Espectrofotometría de emisión atómica 766,5 nm
Parámetros color	
Intensidad colorante Un Abs/cm	Espectrofotometría UV-Vis
Tonalidad	Espectrofotometría UV-Vis (DO 420 nm/DO520 nm)
Índice polifenoles totales Un Abs/cm	Espectrofotometría UV-Vis (DO280nm)
Antocianos mg/l	Espectrofotometría UV-Vis Ribereau-Gayón, 1965
Índice de ionización de antocianos	Espectrofotometría UV-Vis (Glories, 1984)
Catequinas mg/l	Espectrofotometría UV-Vis (Pompei y Peri, 1971)

Leyenda: FSC- Flujo Continuo Segmentado; UV-Vis: UltraVioleta - Visible

Algunas determinaciones son de control de la elaboración, como es la acidez volátil, que indica el estado del vino, el sulfuroso libre y total, para ver que se ha corregido y se mantienen dentro de los rangos adecuados, los azúcares reductores, para controlar que se ha terminado la fermentación alcohólica, y el ácido málico, que indica el fin de la fermentación maloláctica. Los demás parámetros sirven para realizar los análisis cualitativos de los vinos. Algunas determinaciones incluyen:

El grado alcohólico volumétrico es el número de litros de alcohol que contienen 100 litros de vino ambos a 20°C e indica la riqueza en alcohol que ha alcanzado el vino (OIV, 2009a).

El índice de ionización de antocianos (IIA) indica el porcentaje de antocianos libres y combinados que contribuyen al color del vino, oscilando su valor entre 10 y 30 en vinos jóvenes (Glories, 1984).

Las catequinas son los precursores de los taninos, que se forman por condensación de estas. Los taninos tienden a polimerizarse entre ellos y con otras moléculas, como proteínas o polisacáridos, dando lugar a moléculas más voluminosas y menos amargas, que organolépticamente aumentan la estructura y volumen en boca de los vinos (Tudo, 2008).

3.3.4.2.2. VALORACIÓN SENSORIAL DEL VINO

El vino obtenido de cada portainjerto se analiza sensorialmente en cata a ciegas. La evaluación se realiza en una sala de cata que cumple las normas ISO 8589 (UNE-EN, 2010) con copas catavinos según ISO 3591 y un panel de cata compuesto por 12 catadores todos los años, entre ellos expertos catadores del sector vitícola de D.O. Navarra y D.O.Ca. Rioja, internos y externos a EVENA y catadores cualificados. La ficha de cata utilizada es la Ficha OIV/UIOE (OIV, 2009b) para vinos tranquilos, que se reproduce en la tabla 15. Se hace una valoración de las tres percepciones principales, ponderándose de los 100 puntos de la valoración máxima global, 15 puntos a la fase visual, 30 a la olfativa, 44 a la gustativa y 11 a la armonía total, predominando siempre la valoración de la calidad.

Tabla 15. Ficha de valoración sensorial vino OIV/UIOE utilizada para cata de vinos.

FASE		EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	CORRECTO	INSUFICIENTE
VISUAL	COLOR	5	4	3	2	1
	ASPECTO	10	8	6	4	2
OLFATIVA	INTENSIDAD	8	7	6	4	2
	FRANQUEZA	6	5	4	3	2
	CALIDAD	16	14	12	10	8
BOCA	INTENSIDAD	8	7	6	4	2
	FRANQUEZA	6	5	4	3	2
	CALIDAD	22	19	16	13	10
	PERSISTENCIA	8	7	6	5	4
GENERAL	ARMONÍA	11	10	9	8	7

3.3.5. EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN

La adaptación es la capacidad de un organismo, sometida a control genético, que contribuye a su supervivencia en un entorno determinado (RAC,1996). En el entorno vitícola en estudio (apartado 3.1.) la capacidad de adaptación del Tempranillo varía según el portainjerto sobre el que se encuentra, dependiendo de su genotipo.

La evaluación de esta adaptación se realiza valorando las capacidades que le confieren los distintos portainjertos al Tempranillo en este entorno vitícola. Para evaluarlos se utilizan tres

categorías; Desarrollo vegetativo (véase apartado 3.3.1.), Producción (véase apartado 3.3.3.) y Calidad de la uva (véase apartado 3.3.4.) con cada grupo de parámetros que se han definido para cada categoría. Se realiza una estandarización de cada uno de los parámetros a evaluar, basada en los criterios de técnicos expertos de EVENA, estableciendo rangos de valor dando puntuación del 1 al 10 (Tablas 16, 17 y 18) teniendo como objetivo una viticultura de calidad, rentable y sostenible dentro de una Denominación de Origen.

Tabla 16. Categorías y puntuaciones de los parámetros de producción evaluados para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos

Peso/cepa (g)		Producción (kg/ha)		Peso 100 (g)		Peso racimo (g)		Nº racimos /cepa		Nº Bayas /racimo	
	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos
0-610	4	0-1700	4	0-128	4	0-129	4	0-4	2	0-21	1
610-1220	6	3400	6	142	6	158	5	6	3	63	2
1220-1830	8	5100	7	156	8	187	6	8	4	84	6
1830-3050	10	6800	9	170	9	216	8	9	5	105	8
3050-3660	8	10200	10	184	10	274	10	11	7	126	9
3660-4270	7	11900	8	198	9	303	8	13	9	168	10
4270-4880	6	13600	6	212	8	332	7	17	10	189	8
4880-5490	4	17000	4	226	7	361	6	19	9	210	6
5490-6100	3	>	2	240	6	390	5	22	8		

Tabla 17. Categorías y puntuaciones de los parámetros de calidad de la uva para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos

Grado		pH		Acidez Total		Acido Málico		Índice Maduración	
Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos
11,9	2	3,35	4	2,3	1	0,54	3	45	6
12,3	4	3,40	5	2,7	2	0,81	4	51	8
12,8	6	3,46	7	3,0	3	1,08	5	66	10
13,2	8	3,56	10	3,4	5	1,35	8	77	6
14,1	10	3,61	9	3,7	6	1,61	9	82	4
14,5	9	3,66	7	4,1	8	2,15	10	93	2
15,0	8	3,72	6	5,1	10	2,42	7		
15,4	5	3,77	4	5,4	8	2,69	5		
		3,82	2						
Potasio		IC		IPT		AP (mg/l)		AFE (mg/l)	
Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos
900	6	4,7	4	18	2	1050	4	420	4
1080	8	7,0	5	23	3	1400	6	630	6
1620	10	9,3	6	27	4	1750	7	840	7
1800	8	11,6	7	31	6	2100	8	1050	8
		16,3	8	35	8	2450	9	1260	9
		23,3	10	52	10	3500	10	2100	10

Tabla 18. Categorías y puntuaciones de los parámetros de estado y equilibrio vegetativo para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos

Peso poda (kg/cepa)		SFE (m ² /ha)		SPAD flor		SPAD enero		SFE/producción (m ² /kg)	
Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos	Max	Puntos
0,3	2	3760	1	7	1	14	2	0,50	2
0,5	4	4520	2	14	2	18	3	0,66	4
0,7	6	6040	3	18	3	22	4	0,83	6
1,0	10	6800	6	20	4	27	5	0,91	8
1,2	8	7560	7	24	5	31	7	0,99	9
1,4	6	8320	8	28	6	35	8	1,49	10
1,7	4	9840	10	36	7	39	9		
		10600	8			52	10		

Para poder interpretar el grado de adaptación de los portainjertos en estudio, es necesario definir el escenario, dependiendo del objetivo final de la clasificación. Se plantea un escenario en donde la calidad sea la categoría limitante para la elección del portainjerto (tabla 19), para ello, en porcentaje, se va a ponderar la categoría de calidad con un 45%, producción con un 27% y estado y equilibrio vegetativo 27% repartido en estado vegetativo un 18% y la relación vegetativa/productivo con un 9%.

Tabla 19. Ponderación de las puntuaciones obtenidas en las categorías evaluadas para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos con un balance de puntos 60:60:100 de Producción: Estado y equilibrio vegetativo: Calidad

CATEGORÍA	PARÁMETRO	VALOR MAX	TOTAL 220
PRODUCCIÓN	Peso cepa (g)	10	60
	Producción (kg/ha)	10	
	Peso100 (g)	10	
	Peso racimo (g)	10	
	Nº Racimos/cepa	10	
	Nº Bayas/racimo	10	
CALIDAD	Grado Probable	25	100
	pH	10	
	Acidez Total	10	
	Acido málico	5	
	Índice Madurez	5	
	Potasio	15	
	Intensidad Colorante	10	
	Intensidad Polifenoles Totales	10	
	Antocianos Potenciales (mg/L)	3	
	Antocianos Fácil Extraíbles (mg/L)	7	
VEGETATIVOS	Madera poda	10	40
	SFE (m ² /ha)	10	
	SPAD FLOR	10	
	SPAD ENVERO	10	
VEGET/PRODUCCIÓN	SFE/Producción (m ² /kg)	20	20

La suma de las puntuaciones de todos los parámetros valorados ofrece un índice de adaptación cuyo valor máximo es 220 puntos. Cien puntos corresponden a parámetros de calidad de uva, repartidos entre las categorías de cualidades de forma equilibrada, con 25 grado, 25 acidez y 5 equilibrio entre grado y acidez, 30 color y 15 potasio por su importancia en los

equilibrios del vino. 60 puntos a parámetros de producción valorando con 20 puntos la producción (peso cepa y kg/ha) pero también los parámetros que influyen en una buena distribución de la carga productiva con 10 puntos cada parámetro. 60 puntos a parámetros de estado vegetativo, 20 buen estado de la hoja valorado en el SPAD de envero y floración, 10 adecuado peso de poda y 10 adecuada SFE, por último, 20 al equilibrio vegetativo/productivo, un parámetro que autores como Toda y Tardáguila mantienen como uno de los más importantes en sus fichas de valoración del viñedo VITUR (Toda, 2008). Con estos valores obtenidos con tres repeticiones para cada portainjerto cada año, se analiza si hay diferencias significativas entre portainjertos. De entre los mejores adaptados se puede realizar una jerarquización ordenándolos según su posición en cuanto a diferentes intereses, valorando solo parámetros o categorías de calidad de uva, de producción o de estado vegetativo.

Para interpretar el grado de adaptación de los portainjertos en estudio en otros escenarios, con mayores intereses productivos o vegetativos, se establecen diferentes ponderaciones en algunas categorías (tabla 20). La categoría de producción se valora sin penalizar el exceso y se introducen los datos de nutrición de macro y micronutrientes de floración y envero en la categoría de estado y equilibrio vegetativo. Se pretende mostrar así la versatilidad en la interpretación de la base de datos obtenida de esta investigación mediante una herramienta de ayuda a la decisión creada con Microsoft Excel®, en la que se pueden fijar los porcentajes de ponderación de cada parámetro.

Tabla 20. Categorías y puntuaciones de los parámetros de producción evaluados para el índice de adaptación del Tempranillo sobre 16 portainjertos según prioridad productiva.

Peso/cepa (g)		Producción (kg/ha)		Peso 100 (g)		Peso racimo (g)		Nº racimos /cepa		Nº Bayas /racimo		Madera de poda (kg/cepa)	
Max	pt	Max	pt	Max	pt	Max	pt	Max	pt	Max	pt	Max	pt
610	1	1700	1	114	1	129	1	2,14	1	21	1	0,17	1
1220	2	3400	2	128	2	158	2	4,28	2	42	2	0,34	2
1830	3	5100	3	142	3	187	3	6,42	2	63	3	0,51	3
2600	4	6800	4	156	4	216	4	7,5	3	84	4	0,68	4
3050	5	8500	5	170	5	245	5	8,56	4	105	5	0,85	5
3660	6	10200	6	184	6	274	6	10,7	5	126	6	1,02	6
4270	7	11900	7	198	7	303	7	12,84	6	147	7	1,19	7
4880	8	13600	8	212	8	332	8	14,98	7	168	8	1,36	8
5490	9	15300	9	226	9	361	9	17,12	8	189	9	1,53	9
6100	10	17000	10	240	10	390	10	19,26	9	210	10	1,7	10

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio estadístico de los datos obtenidos se ha realizado con el paquete informático IBM SPSS Statistics 24 para los análisis de varianza ANOVA de un factor y comparación de medias mediante t-student, y la extensión XLSTAT® de Microsoft Excel 2019 para análisis de componentes principales (ACP).

En el estudio de caracterización edafológica para evaluar la homogeneidad del suelo se ha realizado ANOVA. El factor independiente son los 3 bloques que componen el ensayo teniendo como factores dependientes pH, eCE, N%, C/N, P mg/kg, Caliza %, Caliza activa %, Mg,

K, Fe y Mn (mg/kg), y en la nematológica, Xiphinema spp. y Meloidogyne spp. (nº /500g suelo). Se utiliza la prueba post hoc de Tukey al 95% de significación ($\alpha = 0,05$) para evaluar las diferencias entre bloques.

Para evaluar la influencia de los portainjertos sobre los estados fenológicos de brotación del Tempranillo se hace ANOVA sobre los datos de los estados fenológicos acumulados %B y %C de todos los años y de las desviaciones medias en el interanual. Para ver la influencia sobre el envero se hace ANOVA de los porcentajes de envero para cada año, y de las desviaciones medias anuales para el análisis interanual.

En el seguimiento vitícola del ensayo para evaluar la influencia de los portainjertos en el Tempranillo estos son tratados estadísticamente como el factor independiente y los demás parámetros a evaluar son los factores dependientes. Se marcan las diferencias en la significación del ANOVA, al 95%, 99% o 99,9%. Se utiliza el post hoc de Tukey al 95% de significación ($\alpha = 0,05$) para evaluar las diferencias entre portainjertos y hacer los grupos de significación.:

Para el **estudio vegetativo** se hace ANOVA anual e interanual de clorofila a, b y a+b (mg/l), peso madera poda (kg/cepa), SFE (m²/ha) e índice de Ravaz. Para evaluar las diferencias de SPAD entre portainjertos cada año, se analizan los datos de cada estado fenológico por separado mediante ANOVA de un factor, siendo los portainjertos el factor independiente. Se determinan las diferencias mediante post hoc de Tukey $\alpha = 0,05$. Se evalúa el SPAD y la concentración de clorofilas a lo largo de los años del experimento, se analizan los datos de cada estado fenológico de cada portainjerto mediante ANOVA de un factor considerando el factor independiente el año.

En el **estudio radiométrico** los índices vegetativos obtenidos requieren un análisis de big data, que muestra los más significativos para el comportamiento de los portainjertos en estudio. Se calculan las correlaciones de Pearson y R² de los IVs respecto a SPAD mediante los programas SPSS y Microsoft Excel y se calculan las regresiones entre los más significativos.

Para valorar el comportamiento de los IV con respecto a cada portainjerto se seleccionan y se realiza un análisis de la varianza (ANOVA de un factor) con los valores de los índices MND 750_705, reNDVI, NDVI 705, NDRE y D2 (aquellos IVs que mejor correlacionan con el SPAD) siendo el portainjerto la variable independiente.

Se calcula R de Pearson entre los IVs seleccionados y los parámetros nutricionales, vegetativos, productivos y vitícolas, para evaluar su idoneidad y la capacidad predictiva de estos IV. De estas correlaciones se obtienen indicadores de calidad en uva a través de parámetros de vegetación e indicadores de adaptación de los portainjertos.

Para el **estudio de las imágenes multispectrales** de dron se obtuvieron los valores medios ponderados de los índices de vegetación y se procedió a evaluar cada índice mediante ANOVA en el que el factor dependiente son los portainjertos y las pruebas post hoc de Tukey, con un grado de significación del 90% ($\alpha = 0,1$). Se estudia la correlación de los IVs obtenidos con la imagen de dron 2017 con los datos experimentales vitícolas, nutricionales y calidad realizados en el año 2017, calculando para ello los coeficientes de correlación lineal de Pearson, evaluando su idoneidad y capacidad predictiva. Luego se analizan las correlaciones de Pearson

por portainjerto para ver si existe alguna relación entre portainjerto y parámetros correlacionados.

Para poder estudiar con más robustez cuáles son las relaciones entre estos IVs y los parámetros vitícolas y nutricionales se calculan estos índices de vegetación a partir de los datos radiométricos de todo el periodo 2015-2017 y las correlaciones de Pearson. Luego se correlacionan también los índices calculados por las dos técnicas.

Para evaluar el **estado nutricional**, se realiza análisis estadístico entre los portainjertos para cada año y estado fenológico de floración y envero para los resultados de las analíticas peciolares de materia seca % sms, N total % sms, P % sms, % K % sms, Ca % sms, Mg mg/kg, Bo mg/kg, Mn mg/kg, Fe mg/kg y Zn mg/kg (mg/kg sms). Se hace también análisis del conjunto de los años, calculando las desviaciones de las medias cada año y se hace ACP de macroelementos y microelementos por separado para floración y envero.

Para evaluar la evolución nutricional a lo largo de los años se hace ANOVA para N total % sms, P % sms, % K % sms, Ca % sms, Mg mg/kg, Bo mg/kg, Mn mg/kg, Fe mg/kg y Zn mg/kg (mg/kg sms) en floración y envero de cada portainjerto con variable independiente los años y gráficas con las diferencias significativas para cada estado y elemento entre los portainjertos. No se dispone de capacidad para evaluar la fertilización con un control sin tratar, por lo que su evaluación se realiza mediante esta comparación entre los tres años, estando el factor climático implícito en la misma evaluación que la fertilización. Para estudiar las diferencias estacionales entre floración y envero del N total % sms, P % sms, % K % sms, Ca % sms, Mg mg/kg, Bo mg/kg, Mn mg/kg, Fe mg/kg y Zn mg/kg cada año, se hace t student entre floración y envero.

Para el **estudio productivo y de maduración de uva** se hace ANOVA con factor independiente el portainjerto y como dependientes peso cepa (g/cepa), producción (kg/ha), peso 100 granos (g), peso racimo (g), nº bayas/racimo, nº racimos /cepa, % racimos secos, GP, pH, ATT, málico, IM, IPT, AP, AFE, EA, dTpell dTpep, Mpep. Se realiza un estudio para 2015, 2016 y 2017 y luego se realiza un estudio interanual. Hay que destacar que en 2015 Dog Ridge no se tiene en cuenta en producción, puesto que se encuentra todavía en formación, pero si en los demás parámetros, pues los controles se realizan en las cepas del mismo año que los demás portainjertos.

Se realiza un análisis de componentes principales como criterio de clasificación y con carácter predictivo para evaluar la correlación lineal entre los parámetros analizados. Se realizarán gráficas biplot en donde se agruparán los parámetros peso cepa (g/cepa), producción (kg/ha), peso 100 granos (g), peso racimo (g), nº bayas/racimo, nº racimos /cepa, % racimos secos, GP, pH, ATT, málico, IM, IPT, AP, AFE, EA, dTpell, dTpep, Mpep en torno a los portainjertos en estudio.

En el análisis estadístico del **estudio enológico** de los vinos se realiza análisis de la varianza de un factor en el que los portainjertos son el factor independiente y las desviaciones de la media anual de los parámetros enológicos grado %Vol., ATT, pH, K, IC, DO420, DO520, DO620, tonalidad, IPT, antocianos, índice ionización antocianos y catequinas, son los factores dependientes. Se utiliza el post hoc de Tukey al 95% de significación ($\alpha = 0,05$) para evaluar las

diferencias entre bloques. Luego se realiza ACP para cada año y el interanual con las medias de dichos parámetros.

Para el estudio estadístico del **análisis organoléptico de los vinos** en las campañas 2015, 2016 y 2017 se han llevado a cabo análisis estadísticos de la varianza y componentes principales. Con ello se ha podido establecer para la cata de los vinos, por una parte, diferencias entre portainjertos, y, por otra parte, situar y representar estos portainjertos en función de la valoración otorgada a cada atributo sensorial evaluado. El ANOVA de un factor, las variables analizadas se corresponden con las distintas fases que se han realizado en la cata: visual, olfativa, boca y armonía y total como global de todas. Los portainjertos son el factor independiente y las repeticiones son los catadores. Se utiliza el post hoc de Tukey al 95% de significación para evaluar las diferencias entre bloques. Se realiza un análisis anual y luego uno interanual. Para representar cada uno de los portainjertos en función de las valoraciones en cata, se ha realizado ACP teniendo en cuenta los puntos obtenidos por valoración positiva, pero también por penalización. Se han elaborado variables que responden a esta valoración negativa restando del valor máximo de puntos posibles para cada fase, la puntuación obtenida en la cata en dicha fase.

Para **evaluar la adaptación** de los distintos portainjertos se hace ANOVA de un factor siendo la variable independiente los portainjertos y dependiente el índice de adaptación calculado para cada año e interanual. Se determina el grado de significación entre portainjertos mediante el test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$) y Duncan ($\alpha = 0,10$). Para ver la evolución y la capacidad de valorar entre los años 2015, 2016 y 2017, del índice de adaptación y sus componentes, se hace ANOVA de cada portainjerto por separado siendo variable independiente los años y post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$). A la luz de los resultados se valora mediante t student las diferencias entre 2015 y 2017, más regulares en producción y homogéneos en maduración. Se analiza también el índice de adaptación en otros escenarios productivos y vegetativos prioritarios mediante ANOVA con Duncan ($\alpha = 0,10$).

4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONDICIONES DEL ENSAYO

4.1.1. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

En las tablas 21, 22 y 23 se recogen los parámetros climáticos de 2015, 2016 y 2017 de la estación meteorológica situada en la parcela experimental de Baretón, en término de Olite, altitud 397m latitud 42° 25'25'' N y longitud 1° 39' 45,16''W.

Tabla 21. Características climatológicas del año 2015 estación meteorológica de Olite en Baretón (Navarra). Periodo activo del 27/3/15 al 15/11/15. Integral térmica eficaz 1859 °C. Índice helitérico de Hugglins 2396°C

Año	Temperaturas			Humedad Relativa			Precipitación	Radiación	Viento a 2m		ETPo
	Med	Máx	Mín	Med	Máx	Mín	Acumulada	Global	Med	Máx	Thorn
Mes	°C	°C	°C	%	%	%	mm	W/m ²	km/h	km/h	mm
Ene	5,3	10,5	0,5	80,9	94,0	60,6	27,1	82,1	10,9	30,2	10,6
Feb	4,6	9,1	0,5	82,1	96,3	62,9	26,8	111,6	12,2	33,8	8,7
Mar	9,9	15,7	4,5	72,8	91,7	51,5	41,1	164,2	11,6	32,4	32,8
Abr	13,3	19,9	6,7	66,3	90,9	40,2	31,6	237,9	9,6	28,8	54,8
May	17,2	24,1	10,3	62,3	88,2	36,2	4,6	290,7	12,8	33,0	90,0
Jun	21,5	29,7	13,8	62,0	89,0	31,3	46,2	333,2	9,3	29,2	124,8
Jul	24,3	32,3	17,3	60,1	85,9	33,8	19,6	305,8	9,8	28,8	150,5
Ago	22,7	30,4	15,3	62,6	91,0	34,4	24,0	269,8	8,0	24,4	126,9
Sep	17,6	24,3	11,2	67,4	91,2	39,3	16,6	207,5	8,7	23,7	76,7
Oct	14,1	19,7	9,5	76,0	93,3	52,1	34,0	142,2	9,6	27,6	50,9
Nov	10,3	15,0	6,5	88,2	98,3	70,9	51,2	86,2	8,6	24,4	27,9
Dic	5,8	10,1	1,8	94,1	99,7	81,0	6,2	58,0	4,5	16,4	11,6
Año	13,9	20,1	8,2	72,9	92,5	49,5	329,0	190,7	9,6	27,7	765,0

Tabla 22. Características climatológicas del año 2016 estación meteorológica de Olite en Baretón (Navarra). Periodo activo del 10/4 /16 al 5/11/16. Integral térmica eficaz 1723,8 °C. Índice helitérico Hugglin 2337 °C.

Año	Temperaturas			Humedad Relativa			Precip.	Radiación	Viento a 2m		ETPo
	Med	Máx	Mín	Med	Máx	Mín	Acumulada	Global	Med	Máx	Thorn.
Mes	°C	°C	°C	%	%	%	mm	W/m ²	km/h	km/h	mm
Ene	6,2	10,4	2,0	89,6	98,8	74,4	63,4	61,0	7,0	22,6	14,3
Feb	6,9	12,1	2,4	82,7	97,0	60,0	80,0	113,9	11,2	33,3	16,6
Mar	7,8	13,1	3,5	78,1	94,8	54,7	57,4	158,8	12,7	35,1	25,1
Abr	10,9	16,8	5,6	72,8	94,0	46,8	37,4	217,7	13,0	33,8	43,6
May	15,1	21,5	9,2	70,3	93,5	42,9	77,4	276,5	12,5	33,3	76,8
Jun	19,8	27,4	13,0	62,9	89,1	34,6	5,3	315,0	11,5	31,8	113,5
Jul	22,4	30,3	15,5	63,0	87,7	36,0	28,5	323,8	12,2	31,5	135,9
Ago	22,7	30,9	15,2	57,6	82,7	30,9	0,4	302,2	11,3	30,3	128,8
Sep	20,4	27,7	13,7	67,1	90,6	40,0	13,2	217,2	8,7	25,6	96,4
Oct	14,6	20,9	9,3	78,1	95,0	52,4	23,4	150,4	7,8	22,8	55,1
Nov	8,7	13,4	4,6	87,4	97,9	68,9	84,5	85,2	7,8	23,0	23,1
Dic	5,3	8,9	2,5	96,4	100,1	86,4	13,3	55,6	5,1	16,2	11,2
Año	13,4	19,4	8,0	75,5	93,4	52,3	484,2	189,8	10,1	28,3	765,0

Tabla 23. Características climáticas del año 2017. Estación meteorológica de Olite en Baretón (Navarra). Periodo activo del 6/3/17 al 5/11/17. Integral térmica eficaz 1844°C. Índice heliotérmico Hugglin 2415 °C.

Año	Temperaturas			Humedad Relativa			Precip.	Radiación	Viento a 2m		ETPo
	Med	Máx	Mín	Med	Máx	Mín	Acumulada	Global	Med	Máx	Thorn.
Mes	°C	°C	°C	%	%	%	mm	W/m ²	km/h	km/h	mm
Ene	4,4	9,3	0,2	77,9	93,3	57,6	16,1	89,7	11,9	29,9	8,0
Feb	8,2	13,6	3,2	83,4	97,8	61,3	53,9	114,9	10,2	30,6	19,9
Mar	10,8	17,5	5,0	74,7	95,7	48,5	84,9	188,5	10,5	30,0	37,4
Abr	12,8	20,0	5,7	60,9	86,4	33,4	6,3	276,9	13,3	32,8	52,2
May	17,7	24,7	10,2	66,5	93,2	37,1	37,5	278,5	8,6	25,8	93,9
Jun	22,0	30,0	15,3	67,6	94,3	37,8	72,4	298,6	9,1	27,8	130,2
Jul	22,7	30,7	16,0	62,6	87,9	35,4	9,6	314,2	12,3	31,9	137,1
Ago	22,0	29,9	15,5	66,4	90,0	38,0	32,2	265,9	10,8	30,6	121,5
Sep	17,0	23,9	11,1	73,1	95,8	44,4	44,1	216,8	8,3	25,6	73,1
Oct	15,8	22,6	10,0	74,6	93,8	48,8	10,6	164,1	9,3	25,5	59,9
Nov	8,6	14,0	4,0	76,4	93,5	54,2	17,7	103,5	9,7	26,4	21,6
Dic	5,3	9,6	1,8	86,9	97,3	69,2	43,5	73,8	10,1	29,6	10,3
Año	13,9	20,5	8,2	72,6	93,2	47,1	428,8	198,8	10,3	28,9	765,0

Se pueden consultar los datos y el cálculo de los índices Heliotérmico e Integral Térmica Eficaz en el Anexo1 del cd adjunto.

Los índices estimados para Integral Térmica Eficaz de Winkler (que es un índice grados día en el periodo de crecimiento), sitúan las zonas de producción descritas en la región productora III (Winkler y Amerine, 1952), definida entre 1667 y 1944 °C en el periodo de crecimiento, y caracterizada como productora de uvas con alto contenido en azúcar, con mucho cuerpo, pueden tener baja acidez. En cuanto al Índice Heliotérmico Hugglin, que da más importancia a la temperatura máxima y a la duración del día, sitúan a la finca Baretón en la región cálida - templada definida entre los 2100- 2400°C, estando el 2017 más allá del límite superior con 2415°C, que pasaría a la categoría cálida.

El año 2015 es un año seco y cálido, como se puede ver en la tabla 21. La pluviometría baja casi 100 mm respecto a otros años y el periodo activo comienza tardío, el 27 de marzo; sin embargo, tiene la integral térmica eficaz más alta de los tres años, debido a las altas temperaturas estivales y las mayores ETP_o.

2016 es el año más lluvioso, 484 mm, y tiene la integral térmica más baja, sobre todo por las temperaturas de la primera mitad del año, entre enero y julio, por lo que es el año más templado, lo que tendrá su reflejo en la fenología de la vid, pues la temperatura del suelo ha sido catalogada como el factor intra-regional que más afecta a la fenología de la vid (Barbeau et al, 1998; Tesic et al, 2001). El índice heliotérmico de Hugglin también es el más bajo. Cabe señalar que en agosto no se produjeron precipitaciones y se alcanzaron máximas superiores a los 35 °C en las últimas semanas del mes (ola de calor), lo que si se refleja en la mayor ETP_o de agosto de los tres años (tabla 22).

2017 es el año más cálido (tabla 23). El periodo activo comienza muy pronto, el 6 de marzo, así los estados fenológicos iniciales son los más adelantados; sin embargo, las temperaturas del verano alcanzan medias más moderadas que en 2015 por lo que el índice heliotérmico y la integral térmica eficaz resultan bastante cercanos a los del año 2015.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA

El análisis fisicoquímico representativo de la parcela se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados de los análisis de suelo de la parcela de portainjertos de Baretón, Olite.

Horizonte	A1	A2	Horizonte	A1	A2	cmolc/kg	A1	A2	mg/kg	s	ss
Profundidad (cm)	0-35	35-60	pH agua (1:5)	8,2	8,3	CIC Total	20,7	17,7	Al	251	46
Arena (%)	21,9	27,3	C.E.(1:5dS/m)	0,14	0,16	Ca cambio	21,3	18,2	As	0,71	0,78
Limo total%	46,9	46,4	Carbonatos totales (%) IR	22,1	43,2	Mg cambio	0,81	0,66	Cd	0,10	0,07
Limos gruesos (0.05-0.02) (%)	14,3	15,5	Caliza activa (%) calcímetro	10	12,6	K cambio	0,15	0,08	Co	0,94	0,29
Limos finos (0.02-0.002) (%)	32,6	30,9	Materia. orgánica. oxidable (%) Vol.	2,5	1,8	Na Cambio	0,04	0,06	Cr	0,05	0,22
Arcillas (<0.002 mm) (%)	31,2	26,3	Nitrógeno total (‰)	1,4	1,1	Fe	0,05	0,03	Pb	2,7	0,9
			Fósforo (mg/kg)	28,3	21,4	Mn mg/kg	100	12	Ba	25,8	21,8
			Relación C/N	8,1	7,5	Zn mg/kg	1,4	1,01	Sr	21,3	34,8
						Cu mg/kg	3,1	1,14	B	2,1	1,2
									SO ⁴	24	36
									Ni	0,96	0,24

Los resultados analíticos muestran un suelo con una textura pesada, franco arcilloso, y un suelo alcalino, debido a la presencia elevada de carbonatos que contralarán la dinámica del suelo. Bajo contenido en sales y en sodio. El contenido en materia orgánica es significativamente alto, en el contexto del tipo de suelo que es. Además, el elevado contenido en calcio hace que el proceso de humificación prime sobre el de mineralización y, por tanto, que en el complejo de cambio predomine el humus tipo mull cálcico muy estable y con un lento proceso de mineralización. Esta materia orgánica juega un papel muy importante, en cuanto a la textura que mantiene y los nutrientes que aporta, con una relación C/N buena. Su capacidad de intercambio es buena, mientras que la saturación de bases al 100% está dominada por el calcio. La toma de otros nutrientes como magnesio, potasio y hierro, presentes en mucha menor proporción, se puede ver limitada en este suelo.

Los resultados del estudio de la homogeneidad de la parcela mediante las 9 unidades experimentales se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Análisis de suelos de las unidades experimentales diseñadas para valorar la homogeneidad del suelo de la parcela de portainjertos de Baretón S- suelo SS- subsuelo. Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 test de Tukey. Nivel de significación del ANOVA (*=<0,05; n.s.= no significativo)

	pH_w	eCE	N %	C/N	P mg/kg	Caliza%	Caliza_act ‰	Mg mg/kg	K mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg
1 S	8,16	0,2 b	0,14	13	43	25	74	66	0,42	0	0,02
2 S	8,15	0,2 a	0,15	14	36	25	72	59	0	0	0,12
3 S	8,13	0,2 a	0,16	15	20	28	76	57	0	1,53	0,03
Sig.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1 SS	8,2	0,1	0,2	12	33	27	91	63 a	0	1,6	0,1
2 SS	8,2	0,2	0,1	16	29	24	84	52 b	0	1,7	0,1
3 SS	8,2	0,2	0,1	16	21,	27	81	50 b	0	0	0
Sig.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.

El archivo de resultados puede consultarse en el CD anexo 2 Edafología. El resultado muestra que el suelo de la parcela a estudio es homogéneo en los parámetros analíticos. No se encuentran diferencias significativas en casi ningún parámetro analizado evaluando el suelo y el subsuelo de forma independiente, excepto en la conductividad eléctrica del suelo entre el bloque 1 y el 2 y 3, con una media de 0,15 y 0,17 respectivamente, en cualquier caso, valores muy bajos que no inducen a problemas de salinidad. Se aprecia mayor concentración de magnesio en los cationes de cambio del primer bloque con diferencia significativas con la segunda y tercera repetición, pero poco influye en la dinámica del suelo puesto que su toma está limitada por la cantidad de calcio que es el catión que domina el complejo de cambio y cuya concentración no presenta diferencias significativas.

Por lo tanto, se puede concluir que el suelo presenta una gran homogeneidad y los distintos portainjertos no se ven influidos de manera significativa por su distribución en la parcela, por lo que no se debe considerar como una variable o factor a lo largo del ensayo.

4.1.3. CARACTERIZACIÓN NEMATOLÓGICA DEL SUELO

Los resultados de las determinaciones de nematodos realizadas pueden consultarse en el CD adjunto, en el anexo 3 Nematología del suelo. Puede observarse su cuantificación y distribución, y cabe destacar que en ningún caso se encontró *Xiphinema index*, nematodo transmisor de virosis del entrenudo corto. Las distribuciones de las poblaciones en la parcela se muestran en las figuras 23 y 24.

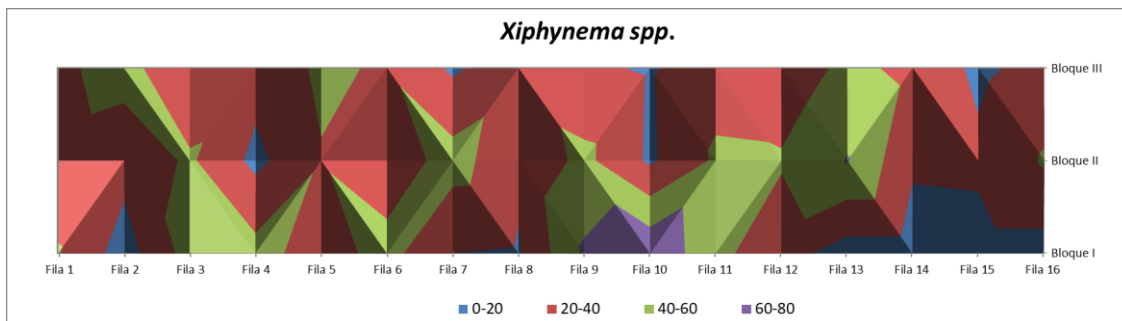


Figura 23. Poblaciones de *Xiphinema spp.* (n° adultos /200 g) análisis de marzo 2015.

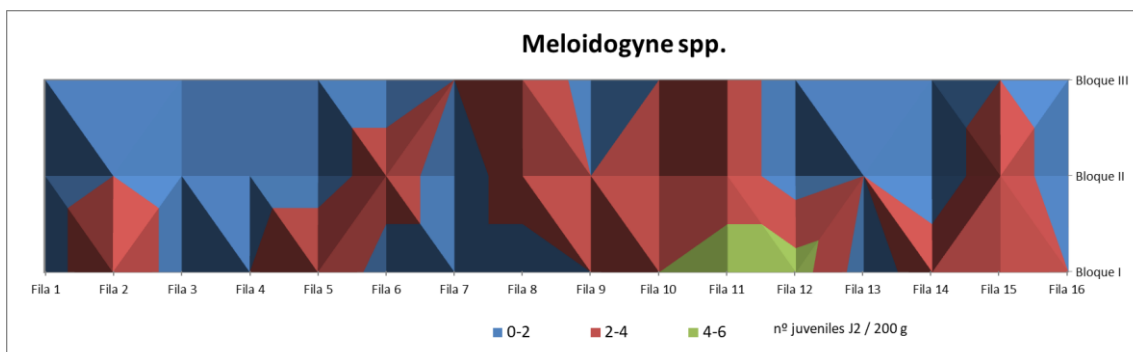


Figura 24. Poblaciones de *Meloidogyne spp.* (n° juveniles J2/200 g) análisis de marzo 2015.

El resultado es que no se encuentran diferencias significativas en la distribución de *Xiphinema spp.* ni de *Meloidogyne spp.* Por lo tanto, la parcela es homogénea y los distintos

portainjertos no se ven influidos de manera significativa por su distribución en la parcela. Además, los niveles de población de los dos géneros en la parcela, respecto a los umbrales fijados por McKenry (1992), se consideran bajos, estando el umbral en 4 *Xiphinema index* /200g y en 15 *Meloidogyne* /200 g de suelo en invierno (Nicol et al., 1999).

4.1.4. CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA

Durante 2015, 2016 y 2017 se ha realizado un seguimiento de los estados fenológicos de la vid más significativos para este ensayo experimental, cuyas fechas medias se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Fechas medias de los estados fenológicos en la parcela portainjertos en 2015, 2016 y 2017.

	Desborre (B)	Floración (I)	Envero (M)	Vendimia
2015	7 abril	17 junio	29 julio	15 septiembre
2016	4 abril	20 junio	10 agosto	13 octubre
2017	29 marzo	16 junio	7 agosto	7 septiembre

Se aprecia como el año 2017 es el más precoz debido al inicio de ciclo temprano, que se observa también en la integral térmica efectiva de los valores climatológicos expuestos en el apartado 4.1.1. El año de brotación más tardía fue el 2015, pero pronto aventajó al 2016, ya en floración. El año 2016 fue el más lento fenológicamente, correspondiendo con la integral térmica más baja y por tanto la menor temperatura del suelo, que es el factor intra-regional que más afecta a la fenología de la vid (Tescic et al, 2001), produciéndose la vendimia más tardía, el 13 de octubre, mientras los otros dos años tuvieron temperaturas bastante elevadas que adelantaron la vendimia hasta en más de un mes a principios de septiembre, especialmente en 2017, un año especialmente cálido.

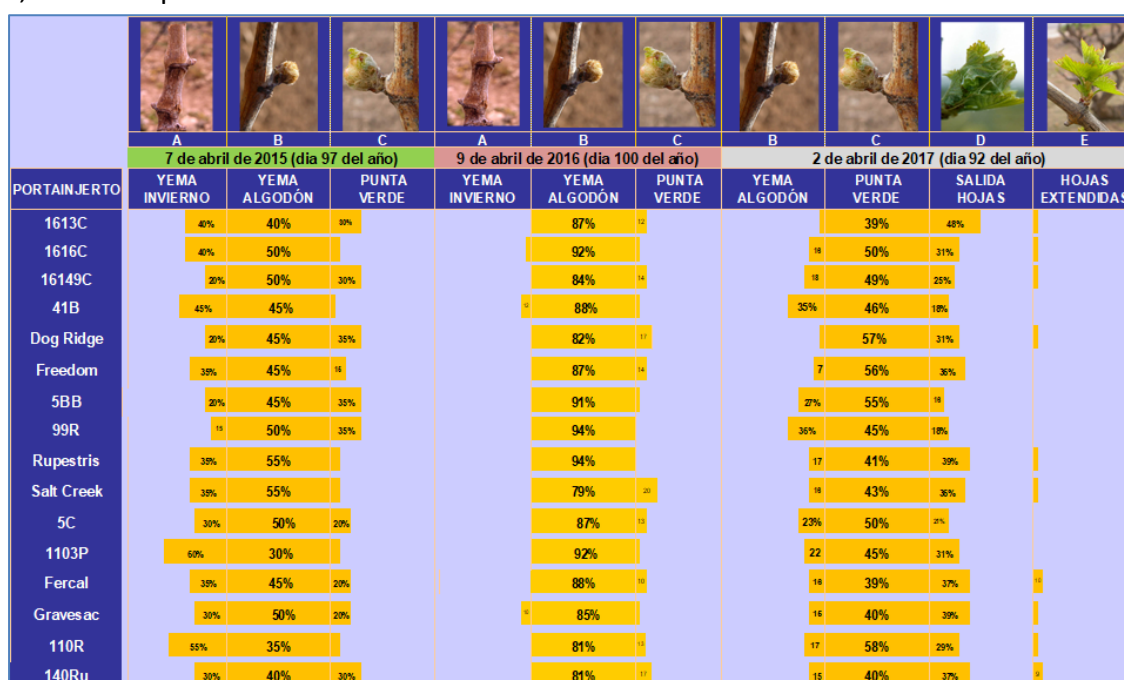


Figura 25. Porcentajes de los estados fenológicos de Baggiolini durante la brotación de 2015, 2016 y 2017.

Para comparar la incidencia del portainjerto en el ciclo se ofrece una representación gráfica de la evolución de los estados fenológicos de brotación en Tempranillo sobre los 16 portainjertos en fechas comparables, pudiéndose apreciar los porcentajes de cada estado fenológico en los años 2015, 2016 y 2017 (figura 25). En estos diagramas de barras se puede apreciar como la brotación dista unos días entre unos portainjertos y otros, reflejando los más precoces y los más atrasados, que se comentan más adelante.

Los resultados de los análisis estadísticos se pueden consultar en el anexo 4 fenología en el CD adjunto. Las comparaciones entre portainjertos se realizan con los porcentajes de yemas que ya han alcanzado un estado fenológico determinado y las que lo han superado; estos porcentajes se denominan estados fenológicos acumulados. Así se evitan los errores a los que induce trabajar directamente con los porcentajes de cada estado. Por ejemplo, al comparar dos portainjertos, el que tiene mayor porcentaje de un estado fenológico es siempre el más adelantado. El portainjerto Dog Ridge se ha comparado con las plantas del mismo año de plantación que el resto de portainjertos.

Tabla 27. Porcentajes de estados fenológicos B y C acumulados de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015, 2016 y 2017 e interanual de desviaciones medias. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0.05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA (Sig. $^{\wedge} \leq 0,10$; $* \leq 0,05$; $** \leq 0,01$; $*** \leq 0,001$)

	2015				2016				2017	Interanual			
	Estado B acumulado		Estado C acumulado		Estado B acumulado		Estado C acumulado		Estado C acumulado	Estado B acumulado		Estado C acumulado	
1103P	40,9	b	9,1	ab	97,8	a	6,1	ab	78,1	ab	-11,8	-6,3	bc
110R	42,8	b	8,4	b	98,3	a	18,8	ab	93,2	ab	-10,6	2,8	abc
41B	57,5	ab	12,1	ab	87,5	b	0	b	64,6	b	-8,7	-11,8	c
1616C	59,4	ab	9,6	ab	95,4	ab	2,9	ab	83,8	ab	-3,7	-5,3	bc
1613C	59,4	ab	30,9	ab	99,6	a	12,3	ab	93,2	ab	-1,6	8,1	ab
Fercal	63,1	ab	18,1	ab	98	a	9,7	ab	84,1	ab	-0,6	-0,1	abc
Freedom	64,3	ab	14,3	ab	97,6	a	10,3	ab	93,3	ab	-0,2	2	abc
Rupestris	65,1	ab	11,1	ab	97,6	a	3,3	ab	82,6	ab	0,2	-5	bc
Gravesac	73	ab	22,2	ab	90	ab	5,1	ab	85	ab	0,3	0,1	abc
140Ru	66,8	ab	28,5	ab	98	a	17,1	ab	92,8	ab	1,3	8,8	ab
Salt Creek	65,5	ab	11,2	ab	99,4	a	20,3	a	84,2	ab	1,4	1,2	abc
5C	67,2	ab	20,4	ab	99,8	a	12,5	ab	76,7	ab	2,4	-0,8	abc
5BB	70,9	ab	16,9	ab	98,5	a	7,8	ab	73	ab	3,6	-4,8	bc
Dog Ridge	78,7	ab	32,6	ab	98,4	a	16,8	ab	99,5	a	7,4	12,3	a
161-49C	79,3	ab	28,3	ab	98	a	13,7	ab	81,3	ab	7,5	3,7	abc
99R	83,7	a	32,8	a	97,6	a	3,3	ab	64,3	b	9,5	-3,9	abc
sig.	$^{\wedge}$		**		**		*		**		n.s.		***

En 2015 los estudios estadísticos (tabla 27) muestran diferencias en brotación, medido como estado fenológico B acumulado, entre 1103P y 110R, con menor porcentaje y 99R, con mayor proporción, por tanto, más adelantado. También en el estado fenológico C acumulado se encuentran diferencias entre 110R más atrasado y 99 R más adelantado. Por tanto, en la brotación de 2015 se retrasa el que más el 110R seguido de 1103P. El que presenta el ciclo más adelantado es 99R.

En 2016 se observan diferencias en brotación, en el estado fenológico B acumulado, entre 41B en menor proporción y la mayoría de los portainjertos, excepto 1616C y Gravesac. Se encuentran también diferencias en el estado fenológico C acumulado entre Salt Creek, con mayor proporción y 41B, con menos, más tardío. Así en la brotación de 2016 se observa que el portainjerto más atrasado es el 41B, y el más adelantado es el Salt Creek.

En 2017 se encuentran diferencias en brotación en punta verde, en el estado fenológico C acumulado, entre el 41B y 99R en menor proporción y Dog Ridge con mayor proporción, más adelantado. Teniendo en cuenta las proporciones de D y E acumulado, cuyas diferencias se pueden consultar en el CD adjunto, se puede concluir que el portainjerto más atrasado fenológicamente en el 2017 fue 41B, seguido de 99R y los más adelantados son Dog Ridge y 1613C.

En la evaluación estadística interanual de las desviaciones medias se puede ver como en el estado fenológico B acumulado no se encuentran diferencias significativas. En el estado fenológico C acumulado Dog Ridge tiene el mayor porcentaje y es por tanto el más adelantado y se diferencia significativamente de 5BB, Rupestris, 1616C, 1103P y 41B. 140Ru y 1613C también resultan significativamente más adelantados que 41B, que es el más tardío en la brotación. Algunos portainjertos como 99R y 5 BB se muestran en 2015 y 2016 significativamente entre los más precoces y en 2017 significativamente más tardíos. Se puede atribuir el efecto al vigor que van desarrollando con la edad estos portainjertos y que se refleja en un retraso en el ciclo vegetativo (Hidalgo, 1993).

En cuanto al envero, en la figura 26 se aprecia que 2015 es el año en que comienza el envero más pronto, para el 22 de julio las uvas están enveradas en todos los portainjertos y como 2016 es el año más tardío. Se ven las diferencias en porcentajes, habiendo menos tipos de estados fenológicos que se pueden solapar que en brotación, puesto que todos los porcentajes se distribuyen entre L y M. Así en el envero no es necesario calcular los porcentajes acumulados para ver las diferencias entre portainjertos.

PORTAINJERTO	L		M		L		M		L		M	
	22 julio 2015 (día 203 del año)		4 agosto 2016 (día 217 del año)		4 agosto 2017 (día 216 del año)							
	CIERRE DE RACIMO	ENVERO	CIERRE DE RACIMO	ENVERO	CIERRE DE RACIMO	ENVERO	CIERRE DE RACIMO	ENVERO	CIERRE DE RACIMO	ENVERO	CIERRE DE RACIMO	ENVERO
1613C	92%	8%	90%	10%	63%	37%						
1616C	96%	4%	92%	8%	77%	23%						
16149C	80%	20%	87%	13%	77%	23%						
41B	95%	5%	99%	1%	78%	22%						
Dog Ridge	94%	6%	99%	1%	82%	18%						
Freedom	96%	4%	95%	5%	78%	22%						
5BB	96%	4%	88%	12%	77%	23%						
99R	94%	6%	90%	10%	92%	8%						
Rupestris	96%	4%	95%	5%	72%	28%						
Salt Creek	96%	4%	96%	4%	53%	47%						
5C	91%	9%	95%	5%	77%	23%						
1103P	96%	4%	87%	13%	67%	33%						
Fercal	98%	2%	100%	0%	85%	15%						
Gravesac	96%	4%	93%	7%	87%	13%						
110R	90%	10%	82%	18%	50%	50%						
140Ru	90%	7%	92%	8%	85%	15%						

Figura 26. Porcentaje de estados fenológicos de Baggioolini en envero de 2015, 2016 y 2017.

	2015***	2016	2017***	Interanual**			
Gravesac	3,7	b	76,7	15,0	de	-5,9	b
140Ru	7,3	ab	71,7	20,0	bcd	-4,7	b
99R	6,7	b	85,0	8,3	e	-4,4	ab
Fercal	2,3	b	85,0	15,0	de	-3,6	ab
Dog Ridge	6,7	b	78,3	18,3	cde	-3,3	ab
Rupestris	4,3	b	78,3	23,3	bcd	-2,4	ab
5BB	4,3	b	81,7	25,0	bcd	-0,7	ab
Freedom	3,7	b	86,7	21,7	bcd	-0,4	ab
5C	9,0	ab	80,0	25,0	bcd	0,3	ab
1616C	4,3	b	86,7	23,3	bcd	0,4	ab
41B	4,7	b	88,3	21,7	bcd	0,5	ab
1103P	4,3	b	86,7	35,0	abcd	4,3	ab
1613C	8,3	ab	81,7	36,7	abc	4,5	ab
161-49C	20,0	a	83,3	23,3	bcd	4,5	ab
Salt Creek	3,7	b	85,0	40,0	ab	5,2	ab
110R	10,0	ab	77,5	50,0	a	8,1	a

Las diferencias entre los portainjertos en cuanto al porcentaje de envero se muestran en la tabla 28. En el envero de 2015, 161-49C está más adelantado que Dog Ridge, 99R, 41B, Rupestris, 5BB, 1616C, 1103P, Salt Creek, Gravesac, Freedom y Fercal, el más tardío. En 2016 no se encuentran diferencias. En 2017, 110R que envera más temprano que la mayor parte de los portainjertos, excepto Salt Creek, 1613C y 1103P. El 99R resulta más tardío con respecto a estos portainjertos. La estadística de las desviaciones de 2015, 2016 y 2017 muestra diferencias en el envero entre 110R más temprano, con respecto a 140Ru y Gravesac, más tardíos.

Tabla 28. Porcentajes de envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según test Tukey. Significación anova ** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$

4.2. SEGUIMIENTO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

4.2.1. ESTUDIO NUTRICIONAL

4.2.1.1. Diseño de la Fertilización

Cada año se ha realizado un tratamiento de fertilización diferente correspondiendo con los resultados del diagnóstico nutricional (Rango Suficiencia, DOP y DRIS) y con los objetivos del ensayo, de manera que se establece una estrategia secuencial de fertilización que se resumen en las tablas 29 y 30.

Año 2015: Sin Fertilización. Año control para observar cual es el comportamiento de cada portainjerto en las condiciones ensayadas.

Año 2016: Fertilización con Rhizovit Process1, con una composición de 6% nitrógeno total (amoniaco 4 % y ureico 2 %), 5% pentóxido de fósforo, 18% óxido de potasio, 2% óxido de calcio, 2% óxido de magnesio, 20 % trióxido de azufre, para reponer la extracción de elementos nutritivos del cultivo, y con quelato hierro ácido Iminodisuccinico/Fe (IDHA/Fe³⁺) al 9,3% biodegradable comercial proporcionado por ADOB para su aplicación vía foliar, para ver su efecto en la clorosis.

Año 2017: Fertilización con Rhizovit Process1, para reponer la extracción de elementos del cultivo, aplicación quelato hierro biodegradable ADOB por aplicación foliar y fertirrigación NPK de Fertiberia formulado por Agralia en porcentaje en peso 6% Nitrógeno total (1% nitrógeno nítrico y 5 % nitrógeno ureico), 3% pentóxido de fósforo y 12% óxido de potasio y 2% oxido de calcio.

Tabla 29. Tratamientos fertilizantes aplicados durante el estudio experimental

FERTILIZANTE		2015	2016	2017
ABONO INVIERNO	Rhizovit Process1 UF 6N-5P-18K(2Ca-2Mg-20S)	NO	200 kg/ha	200 kg/ha
IDHA Fe FOLIAR	IDHA Fe Foliar 9,3% Fe	NO	10mM	3,3 mM (7,2kg/ha)
FERTIRRIGACIÓN	6N-3P-12K UF	NO	NO	36 UFN-18 UFP-72 UFK/ha

Tabla 30. Fechas y dosis de tratamientos fertilizantes realizados en 2016 y 2017.

AÑO	FECHA	FERTILIZANTE	DOSIS
2016	14 marzo	Rhizovit NPK	12 UFN-10UFP-36 UFK kg/ha
	27 julio	IDHA Fe Foliar	5 mM (3 kg/1000 l)
	18 agosto	IDHA Fe Foliar	5 mM (3 kg/1000 l)
2017	9 marzo	Rhizovit NPK	12 UFN-10UFP-36 UFK kg/ha
	22 mayo	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha
	30 mayo	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha
	2 junio	IDHA Fe Foliar	1,66 mM (1 kg/1000l)
	7 junio	IDHA Fe Foliar	1,66 mM (1 kg/1000l)
	14 junio	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha
	18 julio	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha
	1 agosto	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha
	09 octubre	Fertirrigación NPK	6 UFN-3 UFP-12 UFK/ha

4.2.1.2. Análisis de Micro y Macroelementos Peciolares

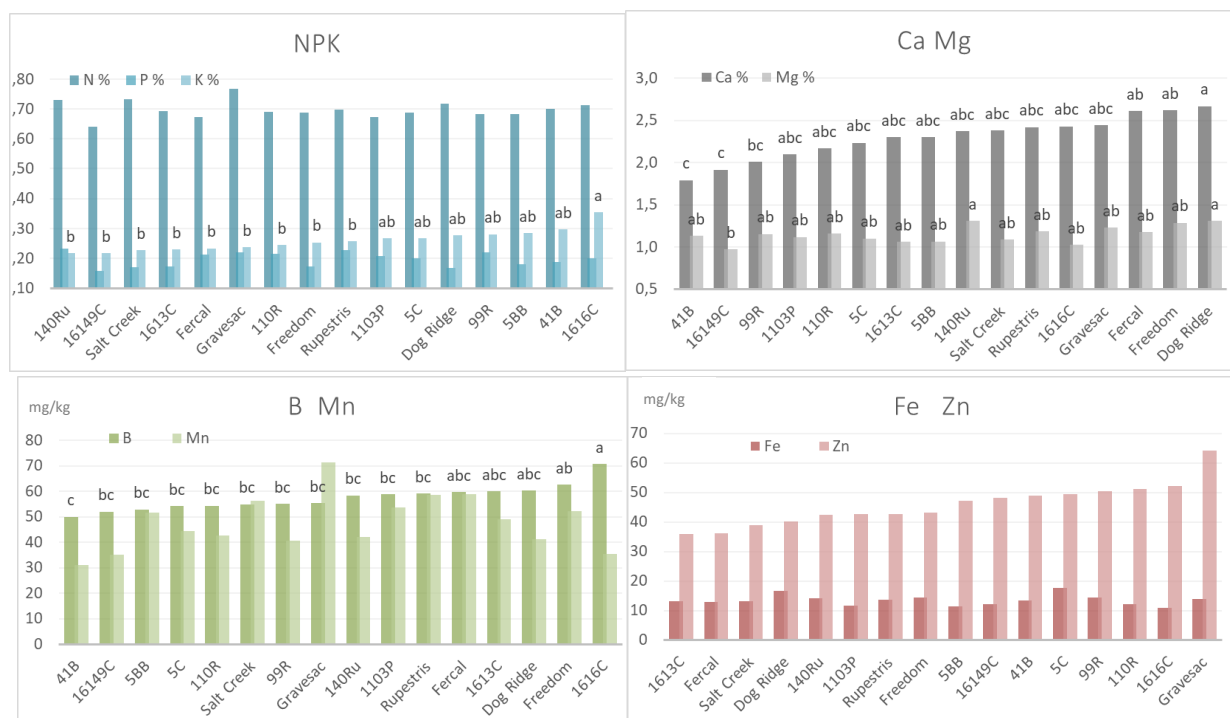
El análisis nutricional del Tempranillo injertado con 16 diferentes portainjertos, según las condiciones experimentales marcadas en el apartado 3.1 y la fertilización indicada en el apartado 4.2.1.1., se estudia primero mediante la comparación de las analíticas peciolares por años y estados fenológicos de floración y envero.

Las diferencias significativas entre las analíticas peciolares del Tempranillo sobre los distintos portainjertos se presentan mediante gráficas de las medias de cada elemento nutricional (figuras 27 a 34) y mediante diagramas de dispersión biespacial de componentes principales de los diferentes portainjertos respecto a los elementos nutricionales (figuras 35-38).

La evolución de los elementos entre los años en floración y envero se refleja mediante gráficas para cada estado fenológico de las diferencias significativas para un determinado nutriente dentro de cada portainjerto (figuras 39 a 56). Así se pretende evaluar la evolución de los nutrientes y en los casos de aporte fertilizante, el impacto de éste en el estado nutricional, estando implícito el factor climático que no puede eliminarse al no disponer de control sin fertilizar cada año.

En la **floración de 2015** no se habían aplicado fertilizantes. Se encuentran diferencias significativas entre portainjertos en cuanto a potasio, calcio, magnesio y boro, cuyos resultados se pueden consultar en la tabla 64 del anexo. En las figuras 27 se observa una representación gráfica que muestra respecto a los distintos elementos:

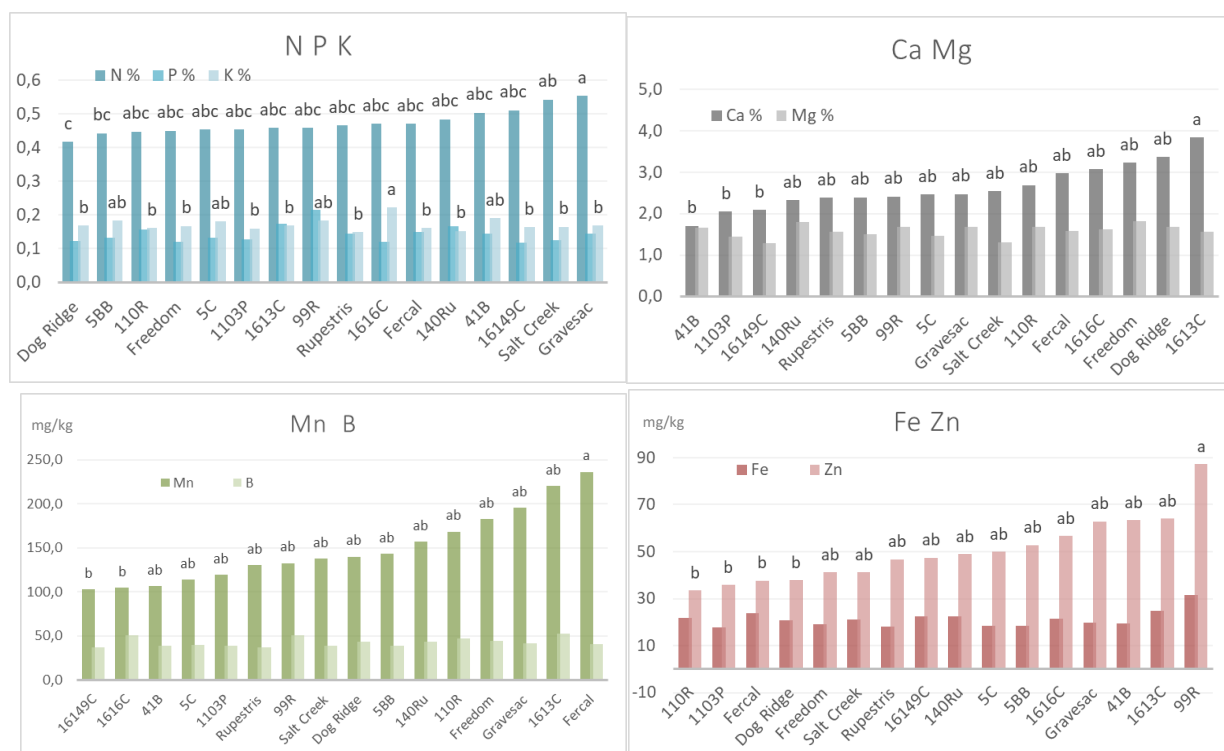
- % Potasio: el portainjerto 1616C aporta más potasio al Tempranillo que Rupestris, Freedom, 110R, Gravesac, Fercal, 1613C, Salt Creek, 161-49C y 140Ru.
- % Calcio: Dog Ridge presenta más calcio que 99R, 161-49C y 41B. Freedom y Fercal también aportan mayor cantidad de calcio al Tempranillo que 161-49C y 41B.
- % Magnesio: 161-49C muestra menos magnesio que Dog Ridge y 140 Ru.
- % Boro: 1616C tiene más boro que Rupestris, 1103P, 140Ru, Gravesac, 99R, Salt Creek, 110R, 5C, 5BB, 161-49C y 41B. Freedom también contiene más boro que 41B.



Figuras 27. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sobre materia seca); c. Boro y Manganeso; d. Hierro y Zinc (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en la **floración de 2015**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En cuanto a los nutrientes en los análisis peciolares del Tempranillo en **envero de 2015** se puede apreciar su situación en las figuras 28. Se encuentran diferencias significativas en los resultados que se pueden consultar en tabla 65 del anexo entre portainjertos en particular en los elementos nutritivos nitrógeno, potasio, calcio, manganeso y zinc:

- % Nitrógeno: Gravesac muestra más nitrógeno que 5BB y Dog Ridge. Salt Creek también presenta mayor porcentaje de nitrógeno que Dog Ridge.
- % Potasio: el portainjerto 1616C acumula más potasio en peciolo de Tempranillo que los demás portainjertos, excepto 41B, 5BB, 99R y 5C.
- % Calcio: 1613C presenta mayor porcentaje de calcio que 161-49C, 1103 P y 41B.
- % Manganeso: Fercal tiene mayor cantidad de manganeso que 1616C y 161-49C.
- % Zinc: 99R muestra mayor contenido en zinc que Dog Ridge, 1103P y 110R.

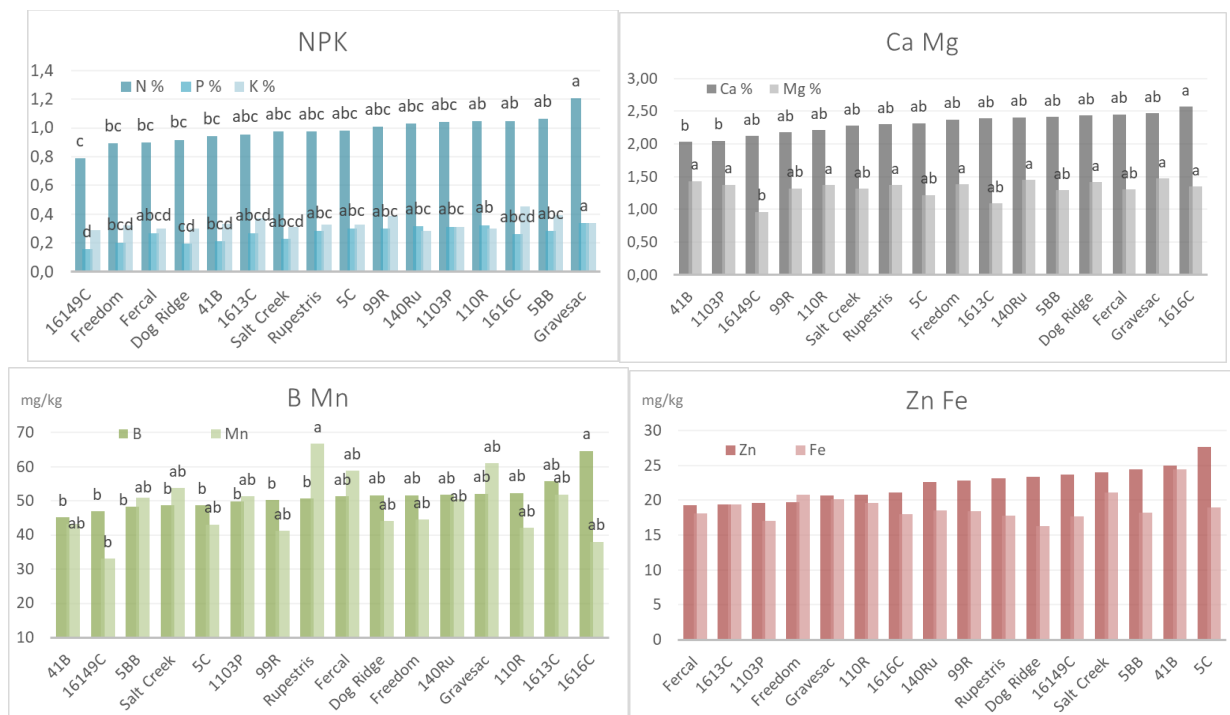


Figuras 28. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sms); c. Manganeso y Boro; d. Hierro y Zn (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en enero de 2015. Letras distintas indican diferencias comparables dentro del mismo parámetro significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En la **floración de 2016** no se habían realizado aplicaciones fertilizantes tan solo el abono de invierno en las cantidades explicadas en apartado 4.2.1.1. Se puede observar la situación de todos los nutrientes en los análisis peciolares del Tempranillo injertado con los diferentes portainjertos en las figuras 29. En cuanto a macronutrientes se encuentran diferencias significativas entre portainjertos en el nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, así como en los micronutrientes manganeso y boro (tabla 66 de anexo):

- % Nitrógeno: Gravesac induce mayor porcentaje de nitrógeno en Tempranillo que 41B, Dog Ridge, Fercal, Freedom y 161-49C.
- % Fósforo: Gravesac acumula mayor porcentaje de fósforo en Tempranillo que 41B, Freedom, Dog Ridge, 161-49C. El Tempranillo injertado con 110R también presenta más fósforo en los peciolares que Dog Ridge y 161-49C.
- % Calcio: 1616C induce mayor proporción de calcio en Tempranillo que 1103P y 41B.
- % Magnesio: 161-49C menor porcentaje de magnesio en Tempranillo que Gravesac, 140Ru, 41B, Dog Ridge, Fercal, 1103P, 110R, Rupestris y 1616C.
- Manganeso mg/kg: Rupestris mayor cantidad de manganeso en Tempranillo que 161-49C.

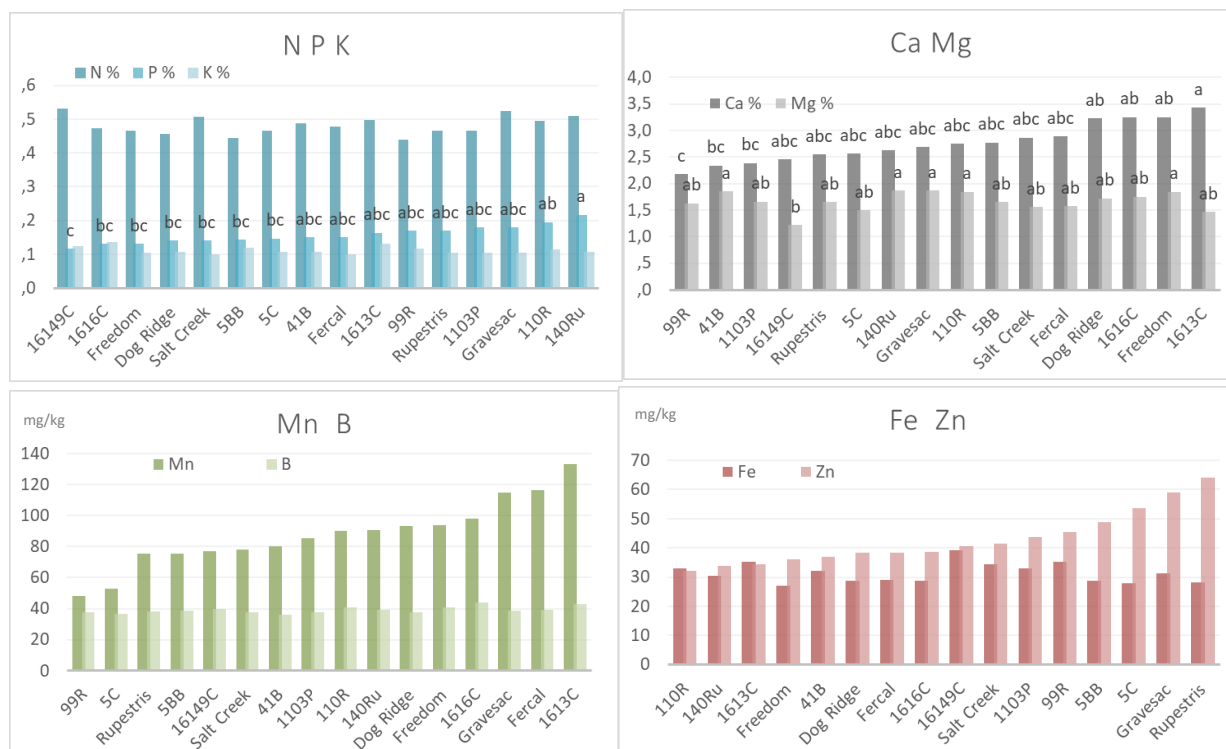
- Boro mg/kg: 1616C acumula mayor proporción de boro en Tempranillo que Rupestris, 99R, 1103P, 5C, Salt Creek, 5BB, 161-49C y 41B.



Figuras 29. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sms); c. Boro y Manganeso; d. Hierro y Zinc (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en la **floración de 2016**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En el **envero de 2016**, aplicados los tratamientos de quelatos de hierro por vía foliar 10 mM IDHA-Fe indicados en el apartado 4.2.1.1., se obtienen los resultados de analítica peciolar que se muestran en la tabla 67 del anexo. Se encuentran diferencias entre portainjertos en fósforo, calcio y magnesio en cuanto a macroelementos, como muestran las figuras 30:

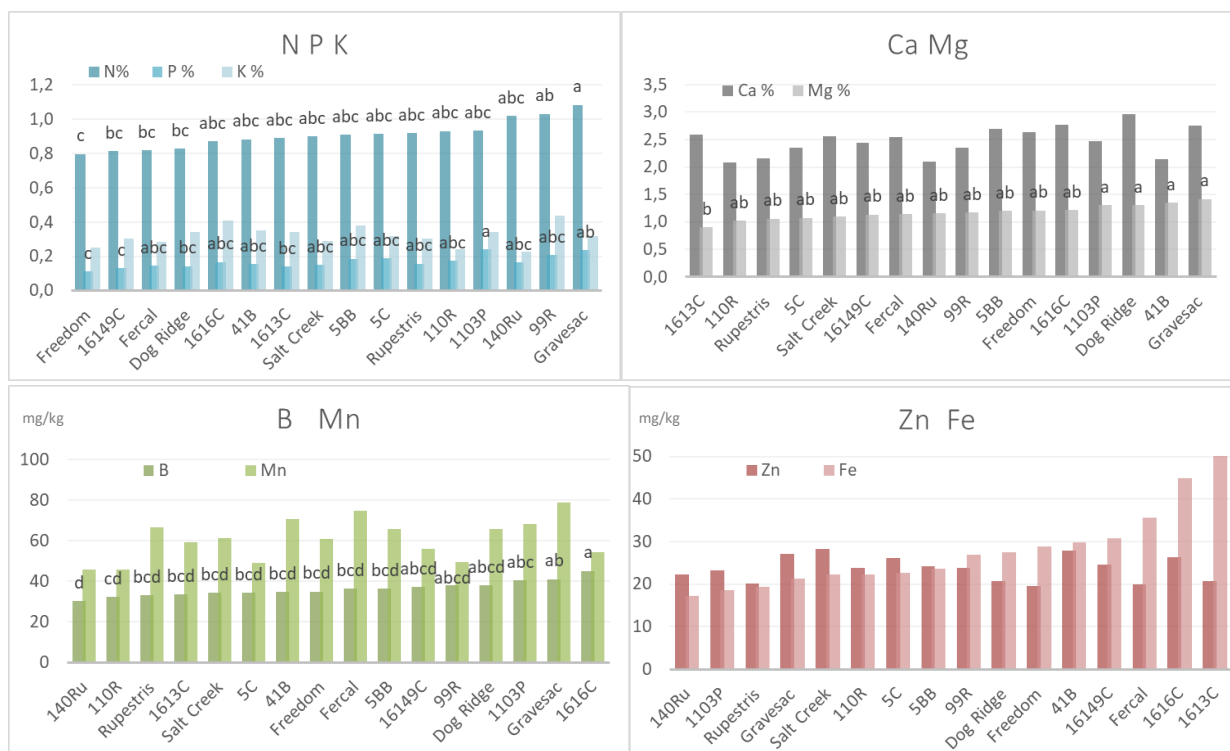
- % Fósforo: el Tempranillo injertado con 140Ru presenta mayor porcentaje de fósforo que aquellos injertados con 5C, 5BB, Salt Creek, Dog Ridge, Freedom, 1616C y 161-49C. 110R produce también mayor cantidad de fósforo en Tempranillo que 161-49C.
- % Calcio: El portainjerto 1613C induce mayor porcentaje de calcio en peciolares de Tempranillo que 1103P, 41B y 99R. Dog Ridge, 1616C y Freedom también mayor que 99R
- % Magnesio: El portainjerto 161-49C muestra menor cantidad de Mg que 140Ru, Gravesac, 41B, Freedom y 110R.



Figuras 30. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sms); c. Manganeso y Boro; d. Hierro y Zinc (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en **enero de 2016**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En la **floración de 2017** se habían realizado dos fertirrigaciones NPK y aplicaciones foliares de IDHA Fe, además de abonado de invierno tal como se indica en la tabla 30. Los resultados de las analíticas peciolares del Tempranillo injertado con los diferentes portainjertos se pueden observar en la tabla 68 del anexo. Se encuentran diferencias entre portainjertos en los macronutrientes nitrógeno, fósforo y magnesio y en el micronutriente boro y su comparativa se puede ver en las figuras 31:

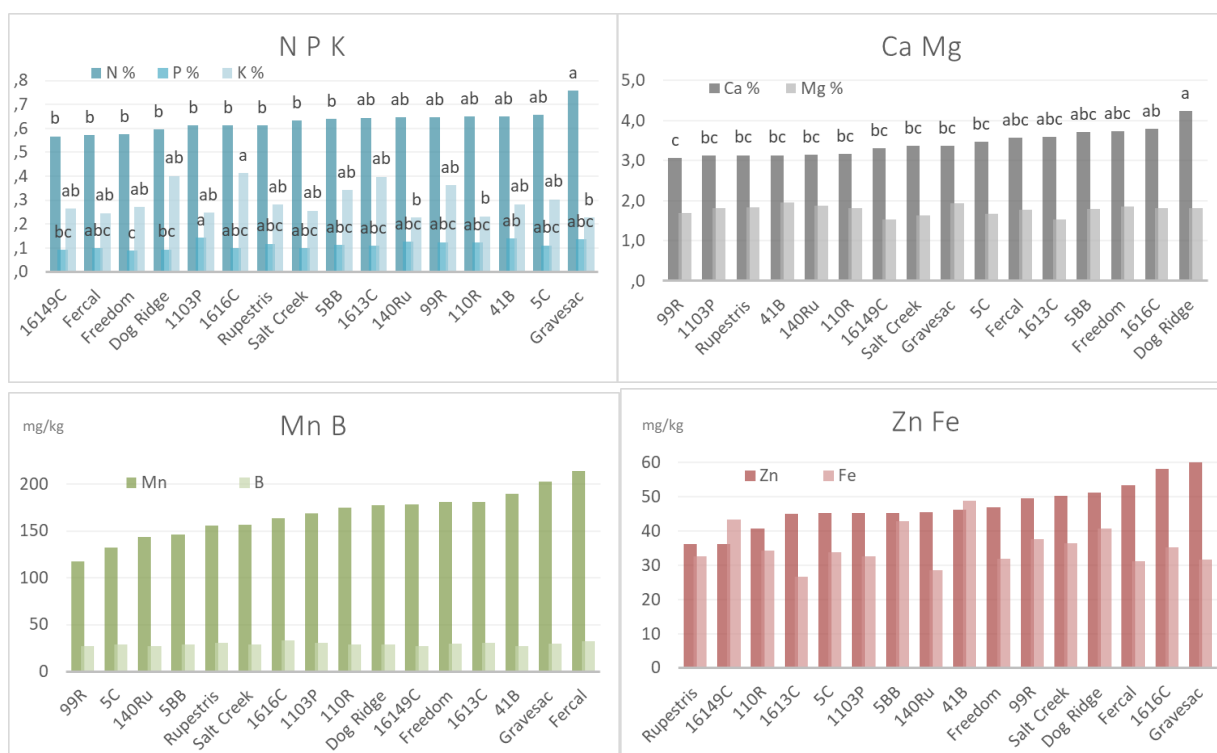
- % Nitrógeno: Gravesac induce mayor porcentaje de nitrógeno en peciolares de Tempranillo que Dog Ridge, Fercal, 161-49C y Freedom. 99R también mayor porcentaje que Freedom.
- % Fósforo: El portainjerto 1103P muestra mayor porcentaje de fósforo en peciolares de Tempranillo que Dog Ridge, 1613C, 161-49C y Freedom. Gravesac también mayor porcentaje que 161-49C.
- % Magnesio: El portainjerto 1613C acumula menos magnesio en Tempranillo que Gravesac, 41B, Dog Ridge y 1103P.
- Boro mg/kg: El portainjerto 1616C acumula más boro en peciolares de Tempranillo que 5BB, Fercal, Freedom, 41B, 5C, Salt Creek, 1613C, Rupestris, 110R y 140Ru. Gravesac presenta más boro que 110R y 140Ru. 1103P mayor cantidad que los Tempranillos injertados con 140Ru.



Figuras 31. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sms); c. Boro y Manganeso; d. Hierro y Zinc (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en la **floración de 2017**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En el **envero de 2017**, realizadas las aplicaciones NPK expuestas en el apartado 4.2.1.1., la situación nutricional del Tempranillo injertado con los diferentes portainjertos se ve reflejada en las gráficas 32. Los resultados de los peciolares se pueden consultar en la tabla 69 del anexo. Se encuentran diferencias significativas entre portainjertos en los análisis peciolares del nitrógeno, fósforo, potasio y calcio:

- % Nitrógeno: Gravesac aporta al Tempranillo mayor porcentaje de nitrógeno que 5BB, Salt Creek, Rupestris, 1616C, 1103P, Dog Ridge, Freedom, Fercal y 161-49C.
- % Fósforo: El portainjerto 1103P induce mayor porcentaje de fósforo en Tempranillo que Dog Ridge, Fercal y Freedom. 41B mayor porcentaje que Freedom.
- % Potasio: El portainjerto 1616C aumenta el contenido de potasio en peciolo del Tempranillo respecto a 110R, 140Ru y Gravesac.
- % Calcio: Dog Ridge muestra mayor cantidad de calcio en Tempranillo que 161-49C, 41B, Rupestris, 1103P y 99R. 1616C también induce mayor cantidad de calcio peciolar que 99R en el Tempranillo.



Figuras 32. Gráfico de barras de a. Nitrógeno, Fósforo y Potasio; b. Calcio y Magnesio (% sms); c. Manganeso y Boro; d. Hierro y Zinc (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en **enero de 2017**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey.

Para evaluar el estado nutricional interanual se calculan las desviaciones respecto a la media de todos los nutrientes y se tratan estadísticamente mediante análisis de varianza, resultados que se ofrecen en las tablas 70 y 71 del anexo.

En la **floración interanual 2015-2016-2017** se encuentran diferencias entre el Tempranillo injertado con diferentes portainjertos en todos los nutrientes excepto en el hierro. Se observa como los valores extremos suelen diferenciarse de la mitad opuesta respecto al eje, excepto en el caso del boro y del nitrógeno, en los que las diferencias son importantes entre los primeros y el resto de portainjertos. Se resalta de la situación descrita en las figuras 33 acerca del comportamiento de los portainjertos sobre el estado nutricional:

- Gravesac y 140 Ru aportan más cantidad de nitrógeno al Tempranillo en floración que los portainjertos Fercal, Freedom y 161-49C. Gravesac además aporta más nitrógeno que Salt Creek, Rupestris, 5C, 5 BB, 1613C, 41B, Dog Ridge.
- Gravesac, 1103P y 99R aportan mayor cantidad de fósforo al Tempranillo en floración que Salt Creek, Dog Ridge, Freedom y 161-49C. Gravesac también aporta mayor fósforo que 1613C y 41B.
- 140Ru aporta menos potasio al Tempranillo en floración que 5BB, 99R y 1616C.
- Dog Ridge y 1616C aportan más calcio al peciolar de Tempranillo en floración que 99R, 161-49C, 110R y 41B. Dog Rige además aporta más calcio que 1103P.
- Gravesac y Dog Ridge aportan más magnesio a la vegetación del Tempranillo que 5C, 161-49C y 1613C. Gravesac además aporta más cantidad que Salt Creek.

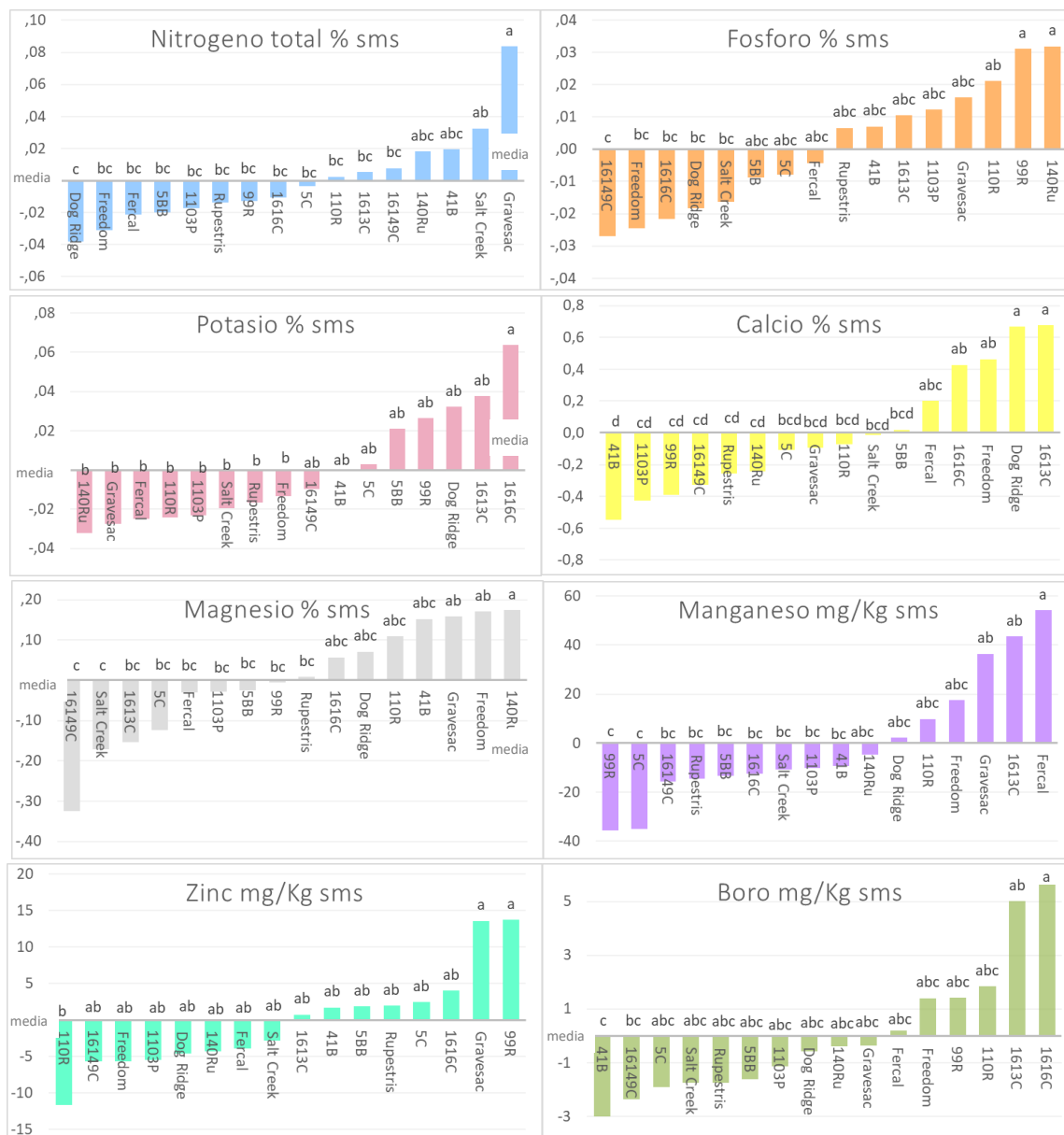
- Gravesac, Fercal y Rupestris confieren más manganeso al Tempranillo que 5C, 99R, 110R, 1616C y 161-49C. Gravesac además muestra mayor cantidad que Dog Ridge, 41B y 140Ru.
- Gravesac presenta también mayor cantidad de zinc en Tempranillo que 1613C y Fercal.
- El portainjerto 1616C aporta mayor cantidad de boro al Tempranillo el resto de portainjertos experimentados.

Se aprecia por tanto la mejor situación nutricional que algunos portainjertos como Gravesac, 140Ru, 1103P y 99R aportan al Tempranillo en la floración con respecto a otros portainjertos, como 161-49C, Freedom o 1613C.



Figuras 33. Gráficos de barras de desviaciones respecto a las medias de a. Nitrógeno; b. Fósforo; c. Potasio; d. Calcio; e. Magnesio (% sms); f. Manganeso; g. Zinc; h. Boro (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en floración de 2015-2016-2017. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En el **envero interanual 2015-2016-2017** la situación nutricional de la vegetación de Tempranillo es diferente en muchos casos, como se puede observar en las figuras 34. Se observan algunas consideraciones de los portainjertos respecto a las muchas diferencias significativas que se refleja en los resultados de la tabla 71 del anexo.



Figuras 34. Desviaciones respecto a la media de a. Nitrógeno; b. Fósforo; c. Potasio; d. Calcio; e. Magnesio (% sms); f. Manganeso; g. Zinc; h. Boro; (mg/kg sms) en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos en envero 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 según test de Tukey.

- Gravesac aporta más nitrógeno que el resto de portainjertos al Tempranillo en envero excepto, Salt Creek, 41B y 140Ru. Además, Dog Ridge aporta menos nitrógeno que Salt Creek.
- Los portainjertos 140Ru y 99R aportan más fósforo al Tempranillo en envero que Salt Creek, Dog Ridge, 1616C, Freedom y 161-49C.

- El portainjerto 1616C muestra más K en enero que muchos portainjertos, aunque no respecto a Dog Ridge, 5C y 161-49C con los que si se encontraban diferencias en floración.
- El portainjerto 41B aporta menos calcio al Tempranillo que Fercal, 1616C, Freedom, Dog Ridge y 1613C.
- Los portainjertos 5C y 99R aportan menos manganeso al Tempranillo que Gravesac, 1613C y Fercal en enero.
- Los portainjertos 161-49C y Salt Creek aportan menos Mg que Gravesac, Freedom y 140Ru
- El Tempranillo con el portainjerto 110R muestra menos Zn que con Gravesac y 99R.
- El Tempranillo con 41B muestra menos boro en enero que con 1613C y 1616C.

Se aprecian menos diferencias en enero que en floración y una situación nutricional complicada de valorar con esta metodología. La situación nutricional en enero depende del portainjerto con el que esté injertado el Tempranillo y del nutriente a valorar. Para valorar cómo se comportan los portainjerto respecto a su estado nutricional se elaboran ACP para macronutrientes y para micronutrientes de las desviaciones interanuales en floración y en enero. Se obtiene una mejor representación de los macronutrientes en los dos momentos para los 16 portainjertos.

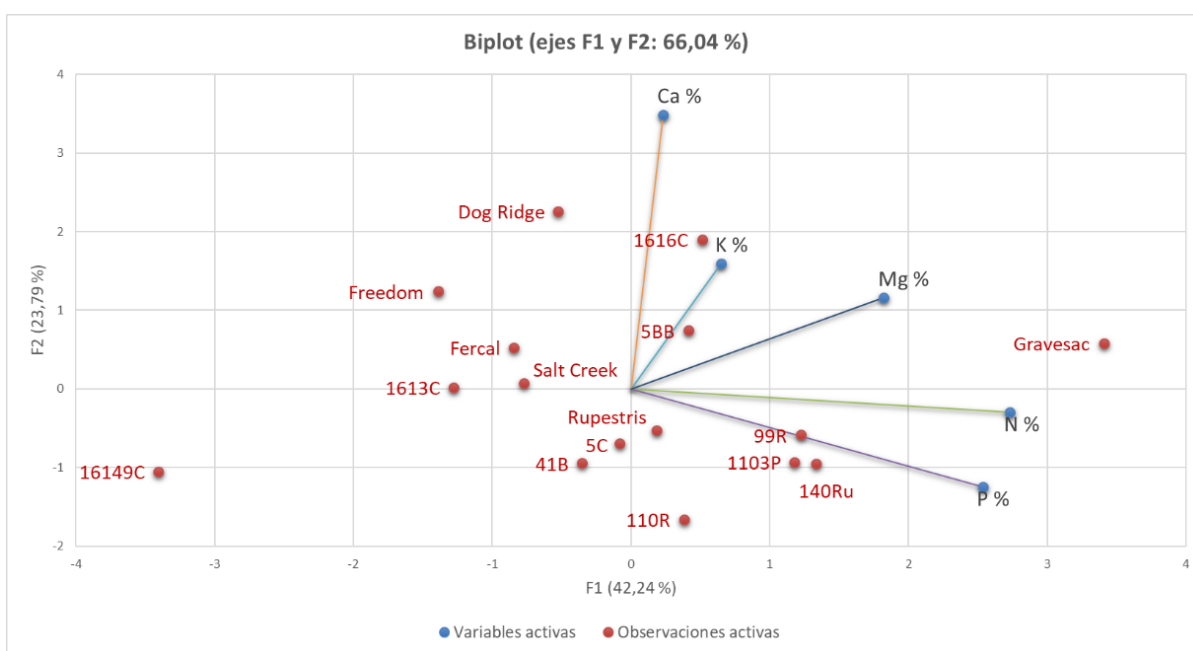


Figura 35. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de los **macronutrientes** de análisis peciolares de **floración 2015 + 2016 + 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

ACP floración 2015-2016-2017: Se consigue un 66% de representación en macronutrientes (figura 60). El eje menos representado es el % K. La mejor posición respecto a los macronutrientes la logra el Tempranillo sobre Gravesac, centrado entre todos los ejes. Los portainjertos 140Ru, 1103P y 99R se asocian al eje %P, mientras 1616C al eje %K y al %Ca. En la posición más opuesta a los ejes positivos, con las mayores deficiencias se sitúa 161-49C, mientras Freedom, Dog Ridge y Fercal se sitúan más opuestos al eje % P y %N indicando más déficit de estos elementos y 1613C indica más déficit de Mg. Los portainjertos 41B, 5C, 110R y Rupestris se encuentran en la zona de mayor déficit de K y Ca.

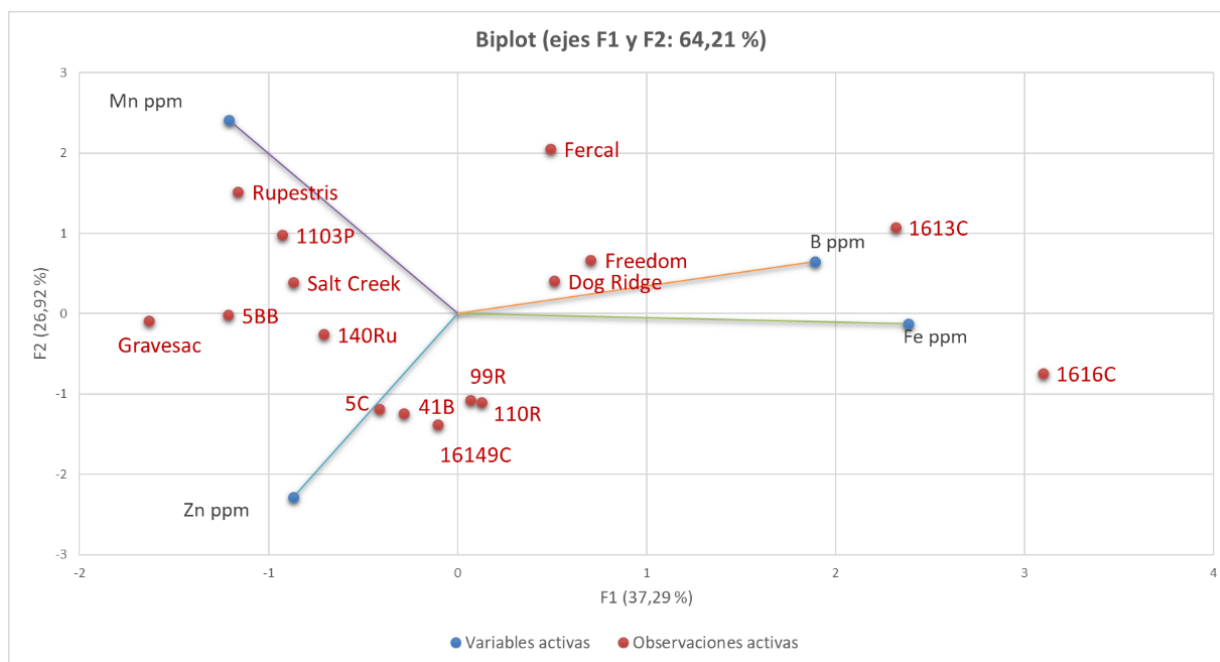


Figura 36. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de los **micronutrientes** de análisis peciolares de **floración 2015 + 2016 + 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

En cuanto al ACP de los micronutrientes en floración 2015+2016+2017: los portainjertos se distribuyen asociados a los distintos ejes, 1616C y 1613C, cercanos al boro y al hierro, 41B y 110R, 99R, 5C y 161-49C a los ejes del Zn. Rupestris y 1103-P asociado al Mn. Gravesac asociado a los mayores valores respecto a los ejes Zn y Mn (figura 61).

En las gráficas de ACP se refleja, por tanto, un mejor estado nutricional del Tempranillo en floración si está injertado en portainjertos como Gravesac, 140Ru, 1103P, Rupestris y 5BB y una situación más limitante nutricionalmente si se encuentra sobre portainjertos como 161-49C, 1616C, 1613C, Dog Ridge o Freedom.

En el **ACP enero 2015-2016-2017** (figura 37) los ejes de los macronutrientes parecen enfrentarse, N, P y Mg en el cuadrante negativo de F1, mientras K y Ca se encuentran en el positivo, directamente opuestos al N. El ACP obtiene la misma representación de la varianza que el de floración, un 66% pero en enero todos los ejes obtienen similar representación.

Gravesac y 140 Ru encuentran las mejores posiciones respecto a N, P y Mg seguidos de 41B, 110R y 1103P, estos último más asociados al N. Opuestos se encuentran Dog Ridge y 1616C con los mayores valores de K y Ca y las peores posiciones respecto al N y P, seguidos de Freedom y 1613C. El portainjerto 161-49C se encuentra separado de todos y opuesto al máximo con el Mg, destacando una situación nutricional bastante particular, como ocurría en la floración.

En cuanto a los microelementos en el enero con el ACP (figura 38) se obtiene una representación del 66%. La distribución de los ejes es diferente a la de floración, encontrándose todos en la mitad superior de los ejes. La distribución de los portainjertos se encuentra principalmente en la mitad opuesta, tan solo están asociados a los ejes positivos de los elementos el portainjerto 1613C muy ligado al B y Mn, los portainjertos 1616C y Gravesac asociados al B sobre todo y el portainjerto 99R muy vinculado también a altos valores de Zn y Fe. Los portainjertos 41B y 161-49C están asociados a altos valores de Fe y los portainjertos 5BB,

5C y Salt Creek se localizan opuestos al eje del boro y cercanos al del hierro. Freedom, Fercal y 110R están asociados también a altos Mn, opuestos a los elementos Zn y Fe.

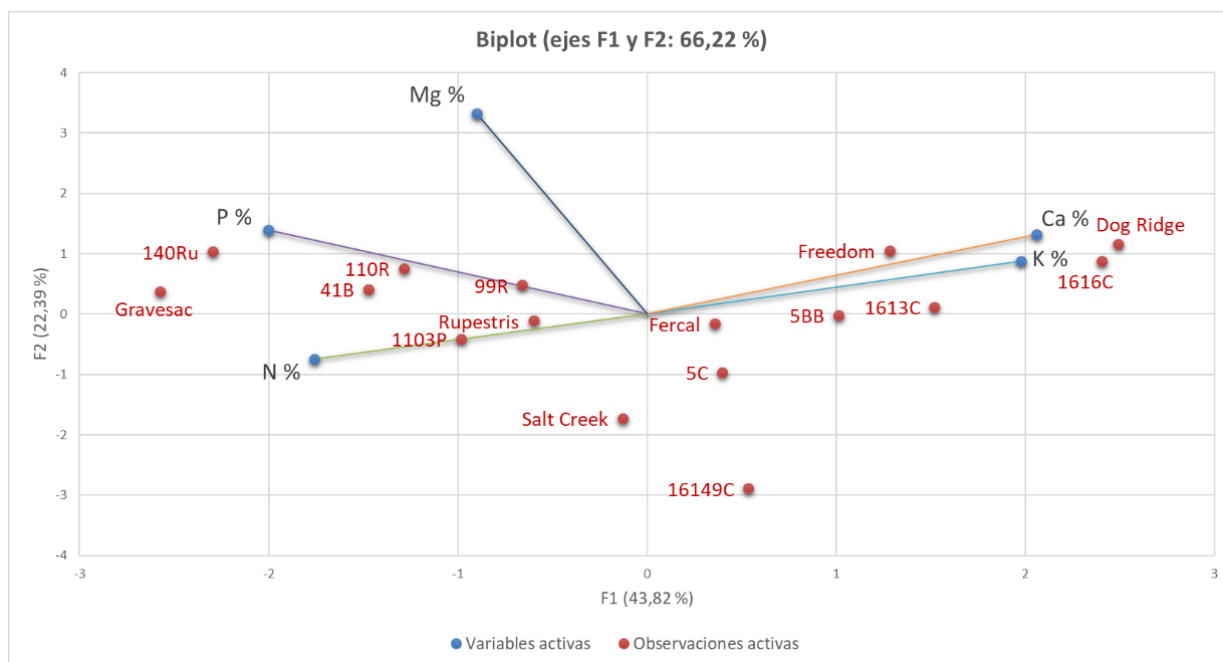


Figura 37. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de los **macronutrientes** de análisis peciolares de **envero 2015 + 2016 + 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

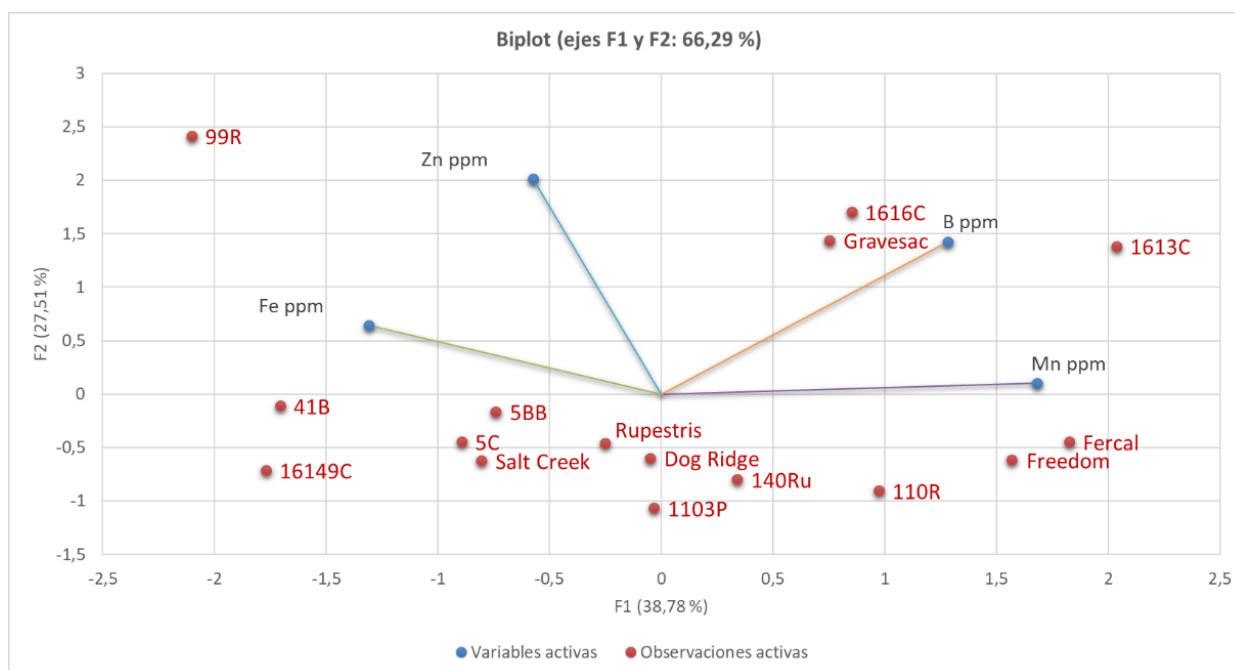


Figura 38. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de los **micronutrientes** de análisis peciolares de **envero 2015 + 2016 + 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

Se evalúa la evolución nutricional interanual del Tempranillo injertado sobre los 16 portainjertos, a lo largo de los años 2015, 2016 y 2017, y estacional, en floración y envero de cada año. Es un referente de la eficacia de la fertilización en el estado nutricional, ya que, al no disponer de control sin fertilizar todos los años, se evalúa comparando 2015, año control sin

fertilización, con 2016 y 2017, en los que se aplican diferentes tratamientos (tabla 30) incluyendo el efecto climático en esta evaluación, que hay que considerar. Se realiza ANOVA univariado con cada portainjerto en cada estado fenológico. En las figuras 39 a 56, se representan para cada elemento las medias entre los años para los portainjertos, indicando con letras las diferencias significativas, siendo comparables las letras solo dentro de cada portainjerto. Se analiza con t student las diferencias entre floración y envero de cada elemento cada año, cuyas diferencias significativas se indicarán al lado de las medias mediante letra en superíndices, para ver la evolución en esta etapa del ciclo (anexo 13 CD)

En el **estado fenológico de floración**, 2015 es el año que presenta menores valores de **nitrógeno** del Tempranillo, mientras en la floración de 2016 se presentan las mayores cantidades. En la floración de 2017, portainjertos como 1616C, Freedom, 5BB y 1103P se encuentran en una situación intermedia entre los años anteriores, el resto presentan más nitrógeno que en la floración de 2015 (figura 39).

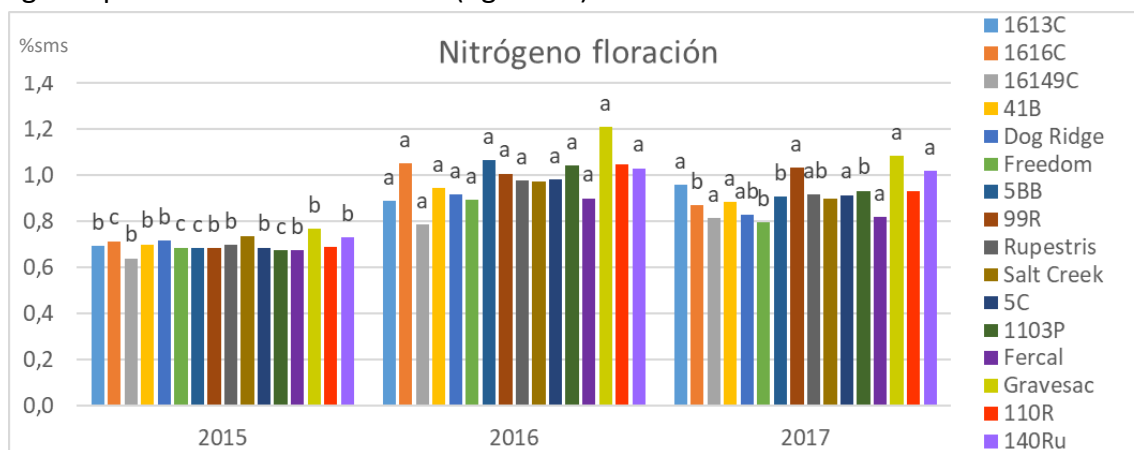


Figura 39. Gráfico de barras del % nitrógeno en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

El porcentaje de **fósforo** del Tempranillo también es más bajo en general en floración de 2015 y 2017, mientras en floración de 2016 se encuentran los valores más altos con la mayoría de portainjertos (figura 40).

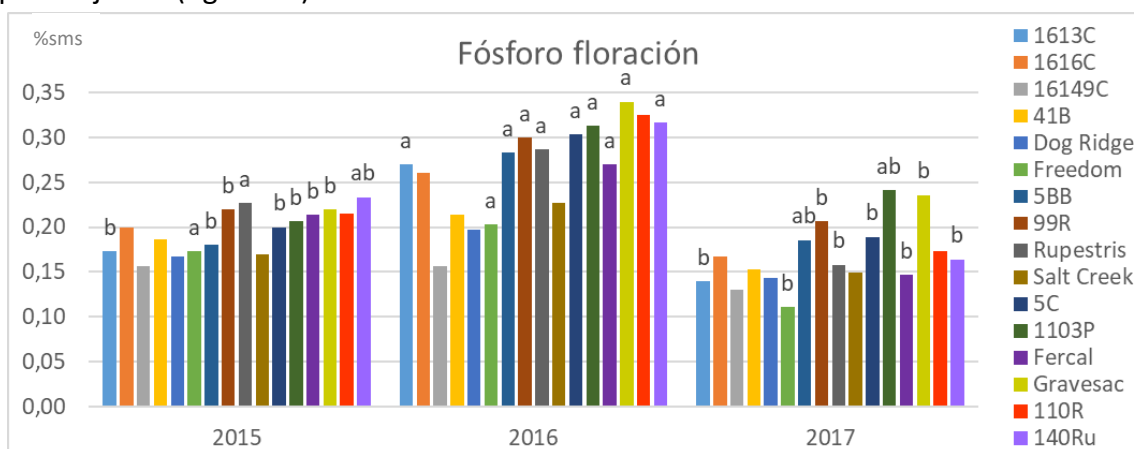


Figura 40. Gráfico de barras del % fósforo en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

El **potasio** del Tempranillo no encuentra diferencias con todos los portainjertos entre las floraciones de los diferentes años (figura 41), tan sólo en Gravesac, 110R y 140Ru, así como en el global de los portainjertos, donde se observan diferencias entre 2015 con un porcentaje medio de potasio de 0,26^b % significativamente menor que en 2016 y 2017, con 0,32^a % y 0,34^a % respectivamente.

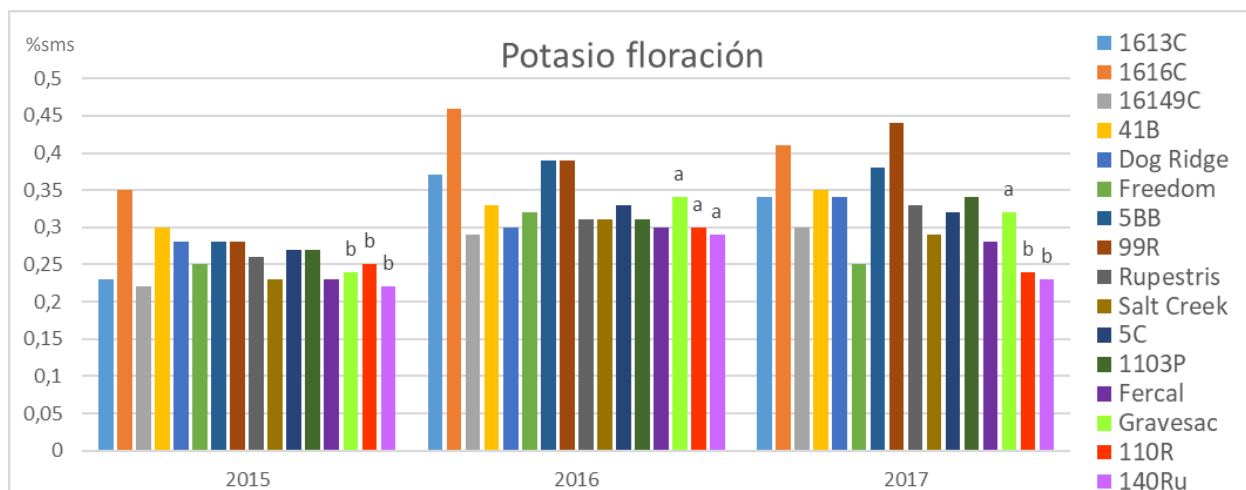


Figura 41. Gráfico de barras del potasio % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

El **calcio** en floración del Tempranillo es mayor en 2017 con los portainjertos 1616C, 161-49C, 41B y 99R que en 2015 (figura 42) y en el global de todos encuentra una concentración mayor en 2017 con un 2,47^a%, respecto a 2,31^b % en 2016 y 2,30^b % en 2015.

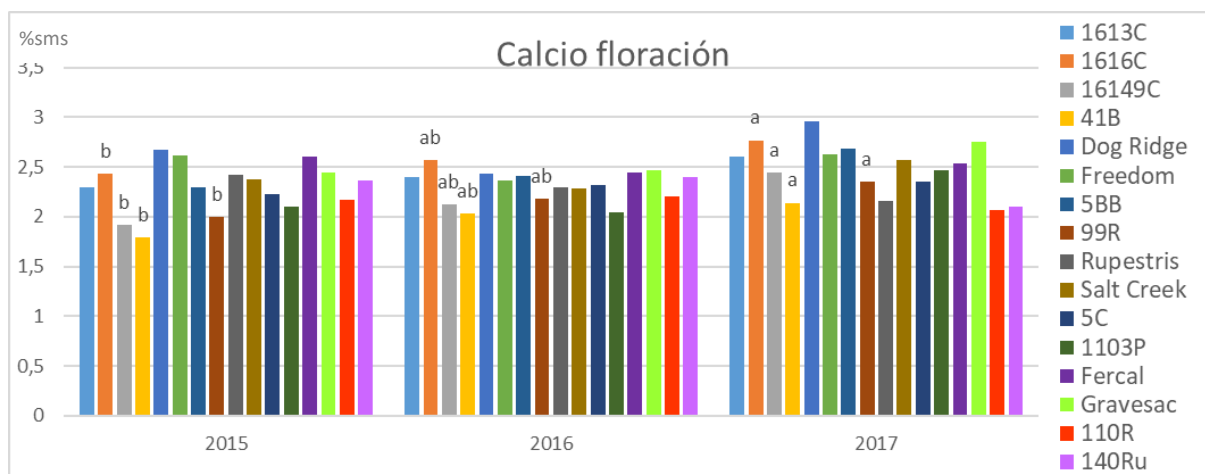


Figura 42. Gráfico de barras del calcio %sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

El **magnesio** del Tempranillo presenta diferencias significativas con muchos portainjertos, en la floración de 2016 presenta mayor cantidad con 1616C, 5BB, 99R, Rupestris y Salt Creek (figura 43) y en el global de los portainjertos en 2016 con 1,32^a % frente a 1,18^b % en 2017 y 1,15^b % en 2015, respectivamente. 161-49C, sin embargo, presenta un

comportamiento singular con mayor proporción de magnesio en la floración de 2017 que en 2016.

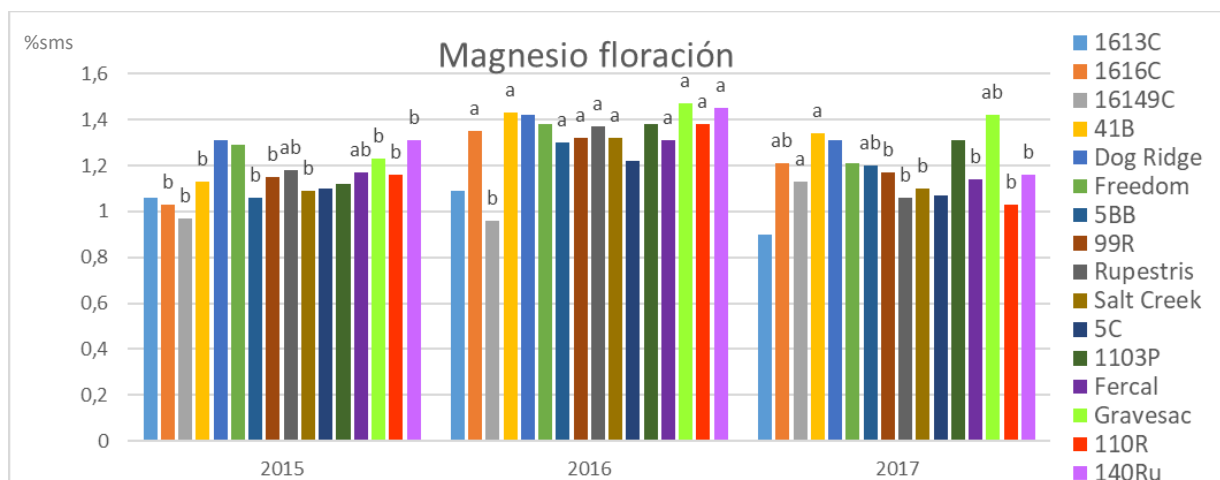


Figura 43. Gráfico de barras del % magnesio en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

El **hierro** del Tempranillo en floración muestra diferencias significativas con algunos portainjertos y una tendencia clara al aumento con muchos de ellos (figura 44). Se encuentran diferencias en el global de portainjertos entre los años, existiendo una progresión en aumento entre las floraciones, con diferencias significativas entre 2015 con 13^c mg/kg, 2016 con 19^b mg/kg y 28^a mg/kg en 2017.

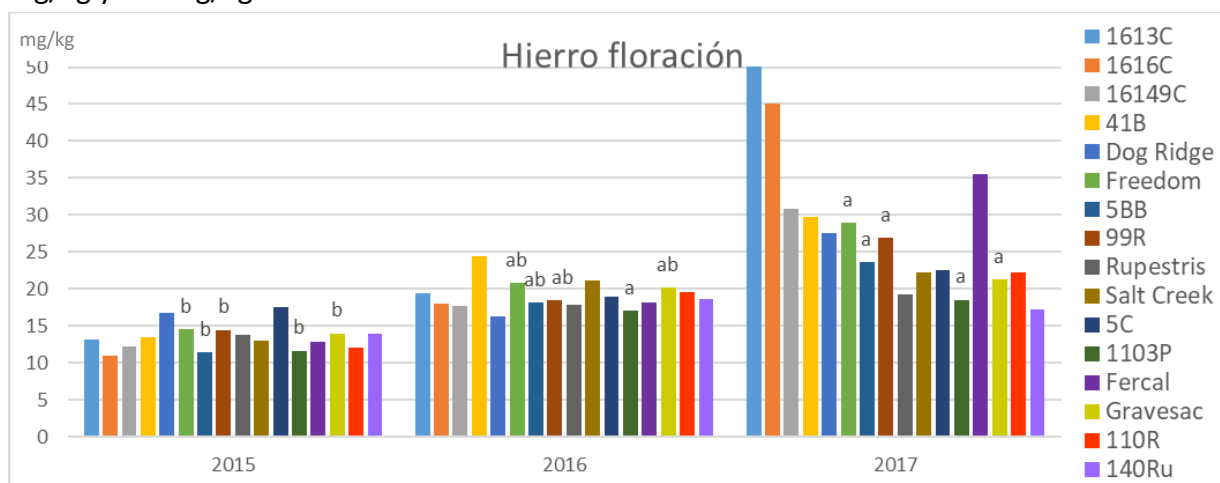


Figura 44. Gráfico de barras del hierro mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

El **manganeso** del Tempranillo en floración es mayor en 2017 con los portainjertos 1616C, 161-49C, 41B, Dog Ridge y 5BB que en los años anteriores. Se encuentran diferencias con el global de los portainjertos entre los años, aumentando en floración en 2017 con una media de 61^a mg/kg respecto a 2015 y 2016, con 48^b mg/kg y 49^b mg/kg respectivamente (figura 45).

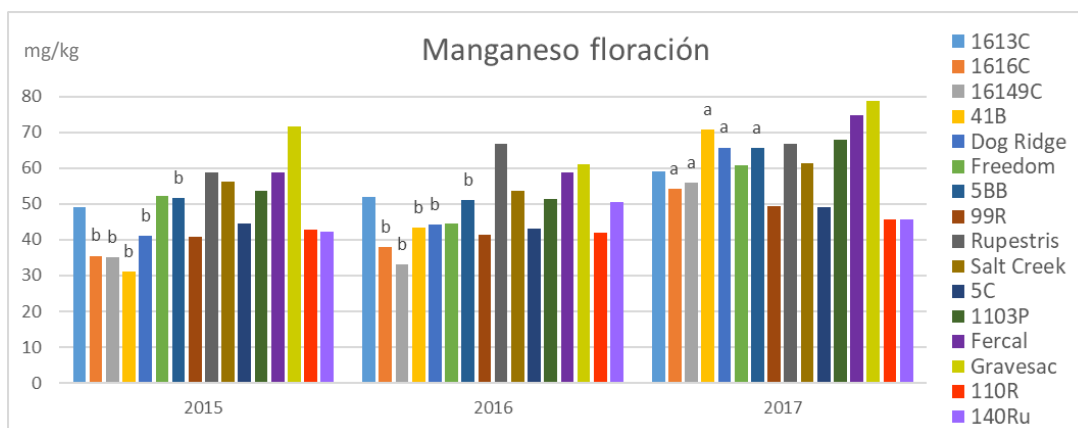


Figura 45. Gráfico de barras del manganeso mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

El **boro** del Tempranillo se encuentra en menor proporción en floración de 2017 con la mayoría de portainjertos, excepto Salt Creek y 110R, que en la floración de 2017 y 2016, muestran mayores concentraciones de boro que en 2015 (figura 46).

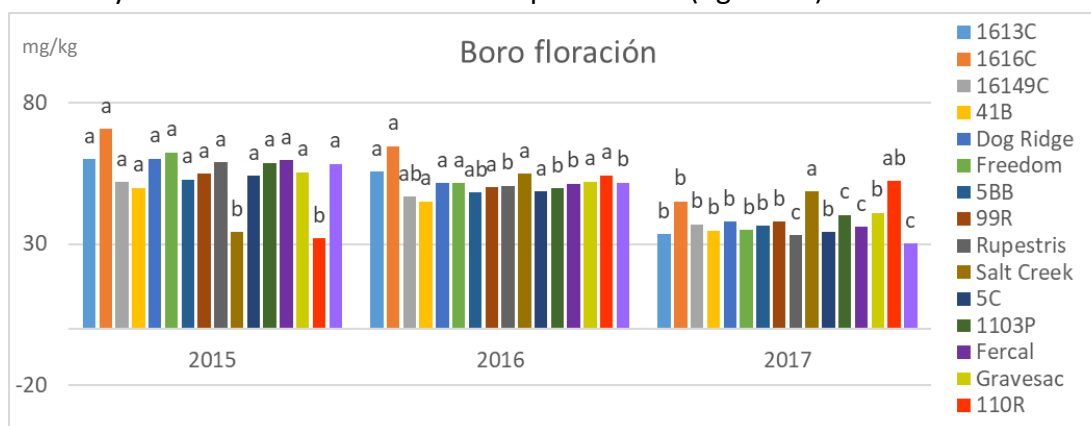


Figura 46. Gráfico de barras del boro mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

El **zinc** del Tempranillo también muestra diferencias en la floración con casi todos los portainjertos, siendo más alto en la floración de 2015, que en la floración de 2016 y 2017 (fig.47).

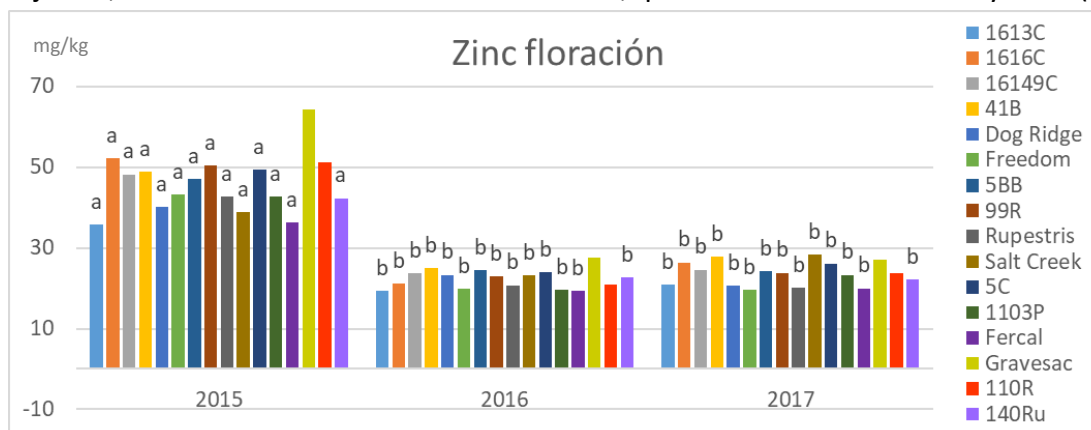


Figura 47. Zinc mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos en las floraciones de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas son diferencias significativas dentro del mismo portainjerto alfa 0,05 test de Tukey.

Se encuentra diferencias entre los **enveros de 2015, 2016 y 2017** para todos los elementos nutricionales del Tempranillo.

En la figura 48 se aprecia como el **nitrógeno** del Tempranillo en envero de 2017 es mayor que en envero de 2015 (excepto 140Ru y Salt Creek que no presenta diferencias) y que el de envero 2016 (excepto los portainjertos 161-49C, 110R y 140Ru que no encuentran diferencias). Esto es acorde con la fertilización llevada a cabo. En todos los casos el nitrógeno ha descendido respecto a los valores de su floración anual, cuando se compara la figura 39 y 48, con diferencias significativas analizadas con t student entre los dos estados fenológicos todos los años en todos los portainjertos (CD anexo 13b). Esto es consistente con apreciaciones de otros autores, pues el nitrógeno es un elemento móvil en el floema, lo que permite su exportación a hojas jóvenes, meristemos, frutos o incluso órganos leñosos (Romero, 2015).

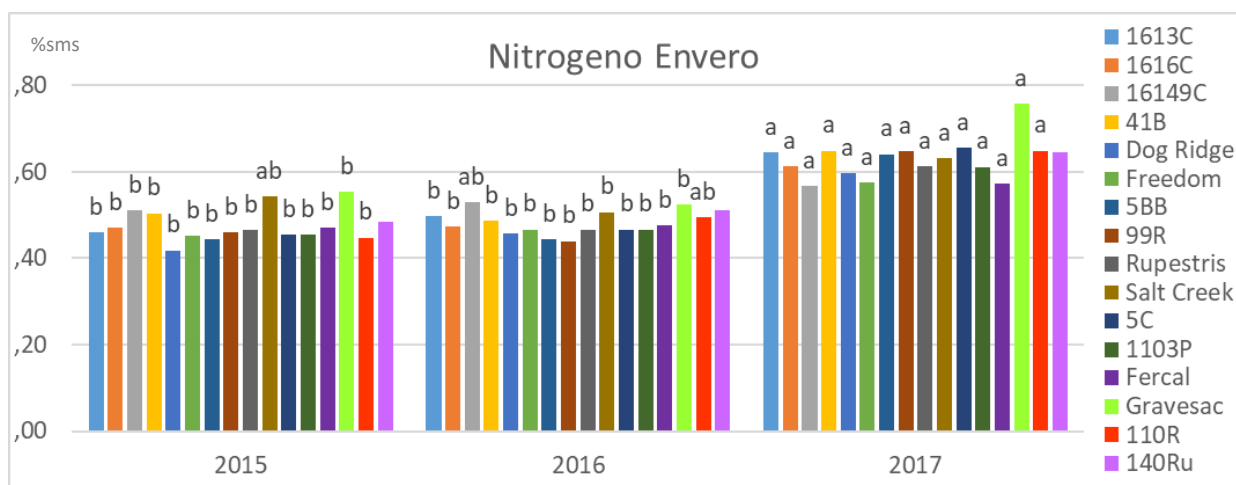


Figura 48. Gráfico de barras del nitrógeno total % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En cuanto al **fósforo** del Tempranillo es mayor en envero 2016 con Dog Ridge, Freedom, Rupestris, Salt Creek, 1103P, Gravesac, 110R y 140Ru que, en envero de 2017, mientras 2015 está en una situación intermedia (figura 49). No se observa en este parámetro una correlación con la fertilización, que se aplica en mayor cantidad en 2017. Se observa un descenso significativo de las cantidades de fósforo de floración a envero en 2015, 2016 y 2017 disminuyendo en el global de portainjertos de 0,20^a % a 0,14^b % en 2015, 0,27^a % a 0,16^b % en 2016 y 0,17^a % a 0,11^b % en 2017 acorde con otros estudios debido a la movilidad de este elemento hacia órganos que lo demandan (Romero, 2015). Sin embargo, en las valoraciones anuales entre floración y envero no se produce en todos los portainjertos, no produciéndose, por ejemplo, diferencias significativas ningún año en 110R y produciéndose más diferencias en 2015 y 2016 que, en 2017, acorde con el programa de fertilizaciones de 2017, no dejando que disminuya mucho el nivel de fósforo (apartado 4.2.1.1.).

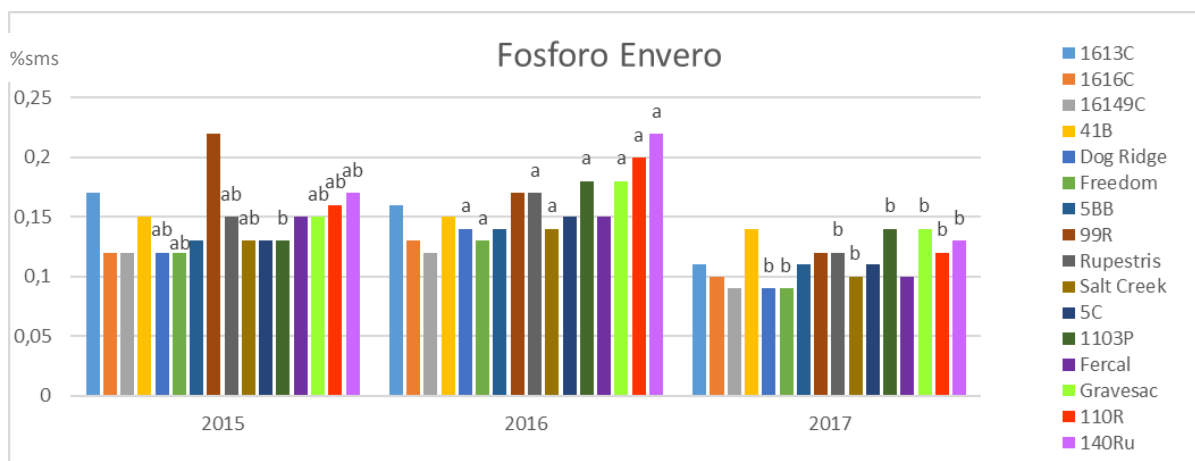


Figura 49. Gráfico de barras del fósforo % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

En cuanto al porcentaje de **potasio** del Tempranillo en envero, en la figura 50 se observa como los porcentajes de 2017 son siempre mayores que en 2015 y 2016, con todos los portainjertos, excepto en 110R y Gravesac en los que no se muestran significativas las diferencias. En este caso el efecto de la fertilización parece evidente en 2017 aumentando los niveles de este macroelemento. Respecto a la evolución a lo largo del ciclo vegetativo, el potasio disminuye en envero en el año 2015 y 2016 en todos los portainjertos, indicando una evolución paralela a la que mostraban el N y el P durante toda la experimentación, consistente con las observaciones de otros autores (Navarro et al, 2008). En 2017 no se observan diferencias significativas entre floración y envero acorde con el programa de fertilizaciones de potasio realizado ese año.

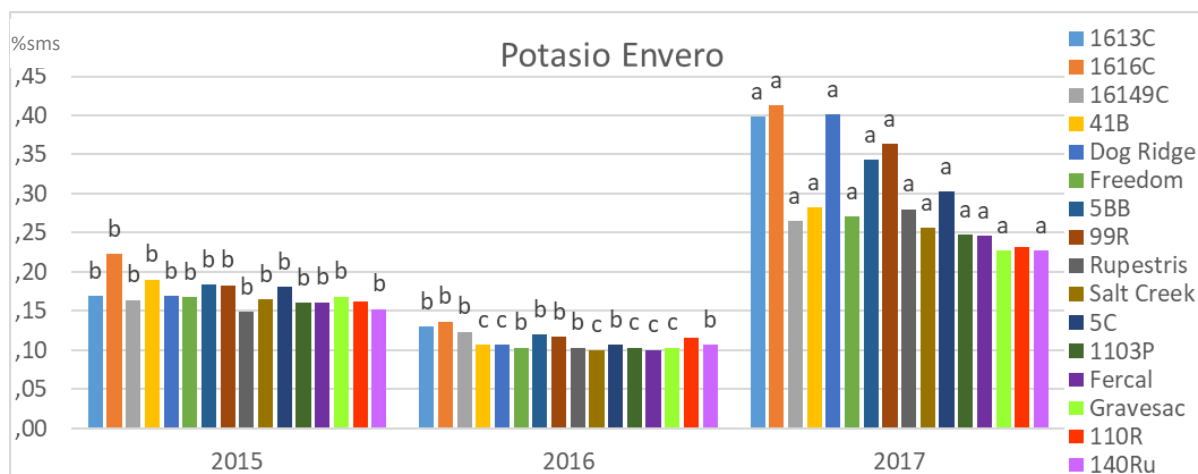


Figura 50. Gráfico de barras del potasio % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En cuanto al **calcio** del Tempranillo en envero interanual (figura 51), se observa que en 2017 es mayor que en 2015 con todos los portainjertos en los se encuentran diferencias. Además, el calcio del Tempranillo en 2016 también es menor que el de 2017 con 41B, Dog Ridge, Rupestris y 1103P. Respecto a la evolución del calcio en el ciclo vegetativo del Tempranillo, se observa un aumento en el envero significativo con todos los portainjertos en 2017, sin embargo,

no es significativa en 2015 ni en 2016 en todos los portainjerto, aunque si en el global de portainjertos que pasa en 2015 de 2,3^b % a 2,6^a % y en 2016 de 2,3^b % a 2,8^a %. Esta concentración ascendente de calcio en el peciolo de las hojas es conforme con las observaciones de numerosos autores y consistente con el hecho de ser un elemento inmóvil en el floema de la planta y que tiende a acumularse en los tejidos a medida que su edad fisiológica avanzada, dada su función estructural (Romero, 2015).

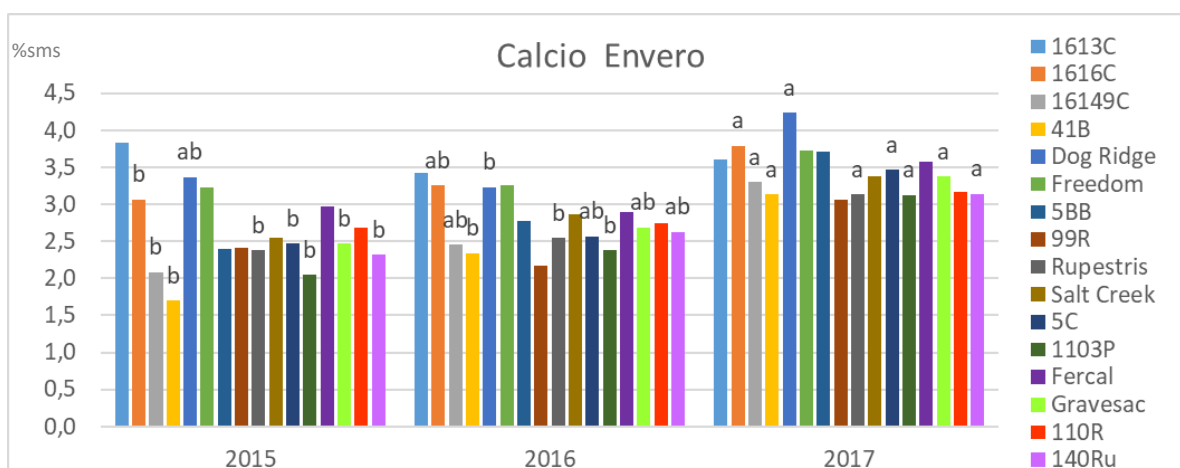


Figura 51. Gráfico de barras del calcio % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 (alfa 0,10 en Dog Ridge, 1616C y 140Ru) según el test de Tukey.

En cuanto al **magnesio** del Tempranillo en envero sólo se encuentran diferencias con 161-49C, 5BB y Salt Creek siendo en 2017 mayor que en 2015 en los dos últimos (figura 52). Se aprecia un aumento en el global de los portainjertos, pasando la media del magnesio de 1,6^b % en 2015 a 1,7^b % en 2016 y 1,8^a % en 2017. Se observa además una dinámica acumulativa todos los años aumentando la cantidad de floración a envero conforme con el comportamiento descrito por otros autores (Romero, 2015) en todos los portainjertos excepto 110R y 1103P. No se aprecia ningún efecto de antagonismo con el calcio ni con el potasio, que aumentan en 2017.

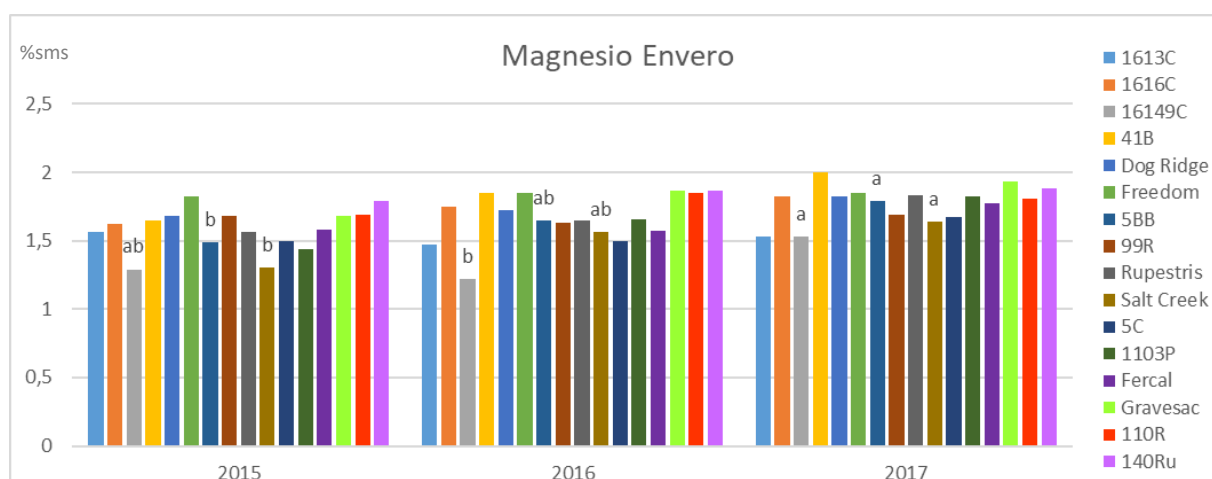


Figura 52. Gráfico de barras del magnesio % sms en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

En enero, se presentan diferencias significativas en **hierro** del Tempranillo (figura 53) con aproximadamente la mitad de los portainjertos. Se aprecia que la cantidad de hierro en enero de 2017 es siempre mayor que en 2015. Entre enero de 2016 y 2015 se encuentran diferencias en Gravesac y 5BB. Se observaba la misma tendencia que en floración de aumento de hierro durante el periodo interanual, aunque la metodología no sea la más adecuada para su evaluación habiendo sido preferible una analítica de limbo (Romero, 2015).

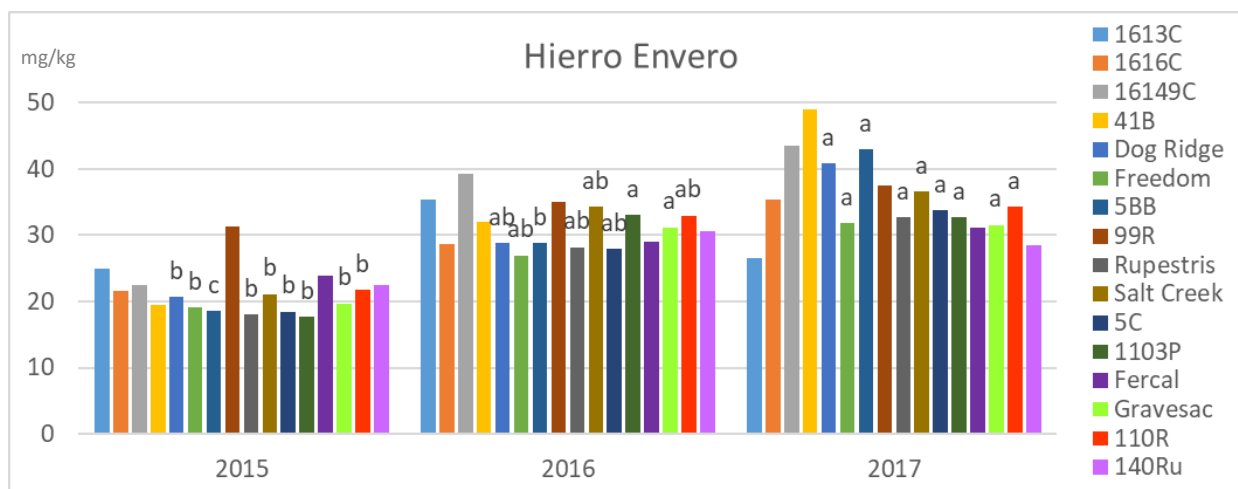


Figura 53. Gráfico de barras del hierro mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 (alfa 0,05 en Freedom, Rupestris, 110R) según el test de Tukey.

En cuanto a la tendencia estacional del hierro es acorde con la observada por otros autores (Bermejo, 2015) de aumento de floración hasta enero todos los años en el global de portainjertos, pero no en todos los portainjertos todos los años. En 2015 sin aplicaciones de quelatos de hierro se produjo una recuperación global de 13^b mg/kg a 21^a mg/kg de media, pero no significativa con 1613C, Dog Ridge, 99R, 5C ni 140Ru. En 2016 con 10mM de quelato aplicado se produjo una mejora significativa en todos los portainjertos y en el global de portainjertos que pasan de 19^b mg/kg a 31^a mg/kg y en 2017 aplicando 3,3 mM se produce un efecto global pasando los portainjertos de una media de 27^b mg/kg en floración a 35^a mg/kg en enero, pero solo con diferencias significativas entre floración y enero en Rupestris, 5BB, 110R, 140Ru, 1103P y Salt Creek. Estos resultados son acordes con el efecto de la fertilización con quelatos de hierro en 2016 y 2017, siendo más efectiva en 2016, cuando mayor dosis se aplica, consiguiendo una mejora en todos los portainjertos.

En cuanto al **manganeso** del Tempranillo se encuentran diferencias significativas aproximadamente con la mitad de los portainjertos siendo siempre mayor en estos casos en enero de 2017 que en enero 2016 (figura 54). El enero de 2015, se encuentra en una situación intermedia dependiendo de los portainjertos: el Tempranillo con 5C, 99R y 5BB presenta mayor Mn que en 2016 y con 161-49C, 41B es bajo como en 2016. La dinámica estacional del manganeso es acumulativa, como refieren muchos autores (Bermejo, 2015) y los contenidos de enero son en consonancia aumentando de 48^b mg/kg a 149^a mg/kg en 2015 y de 61^b mg/kg a 168^a mg/kg en 2017, con diferencias significativas en todos los portainjertos y en el global de

portainjertos. En 2016 no se encuentran diferencias estacionales con Freedom, 99R, Rupestris, Salt Creek, 5C y 110R, aunque si en el global de portainjertos pasando de 49^b mg/kg a 89^a mg/kg.

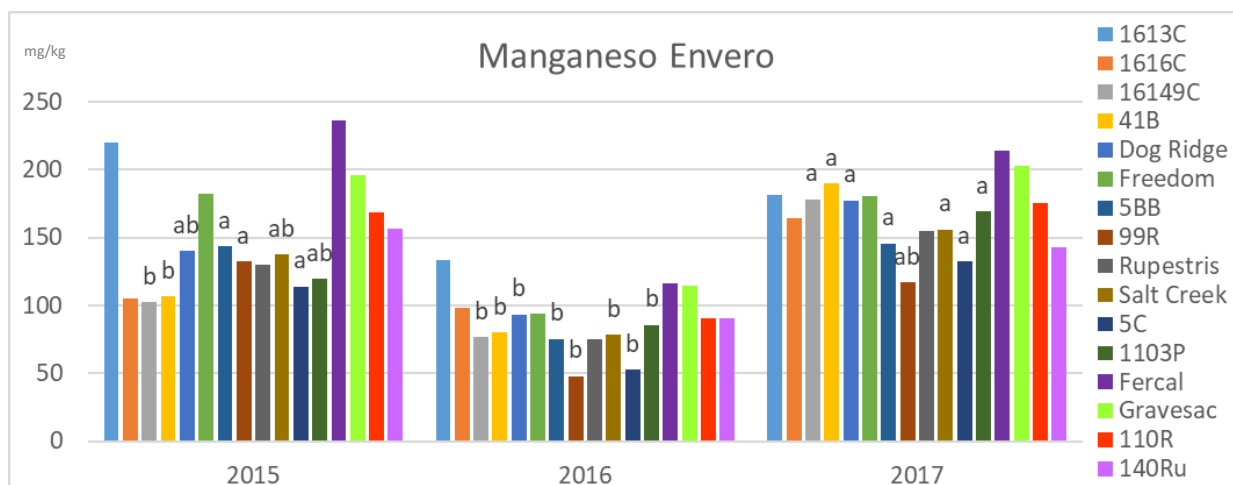


Figura 54. Gráfico de barras del manganeso mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En cuanto a la cantidad de **boro** del Tempranillo (figura 55) se aprecia como en envero de 2017 hay menor cantidad que en envero de 2015 y 2016 en todos los portainjertos, menos con Freedom, 5BB, 99R y Gravesac sin diferencias significativas, y en envero 2016, tampoco con 1613C y 5C y Gravesac. En cuanto a su concentración a lo largo del ciclo vegetativo durante los tres años se observar una disminución significativa entre floración y envero con el global de portainjertos, que se puede observar comparando las figuras 66 y 75, pasando de 57^a mg/kg en floración a 43^b mg/kg en envero de 2015, de 51^a mg/kg en floración a 39^b mg/kg en envero 2016 y de 36^a en floración mg/kg a 29^b mg/kg en envero 2017, de acuerdo con lo observado por Bermejo, 2015. Sin embargo, no se producen diferencias significativas todos los años en todos los portainjertos, por ejemplo, en 110R no se encuentran diferencias ningún año. En bibliografía no hay una tendencia unánime sobre la dinámica estacional del boro (Bermejo, 2015).

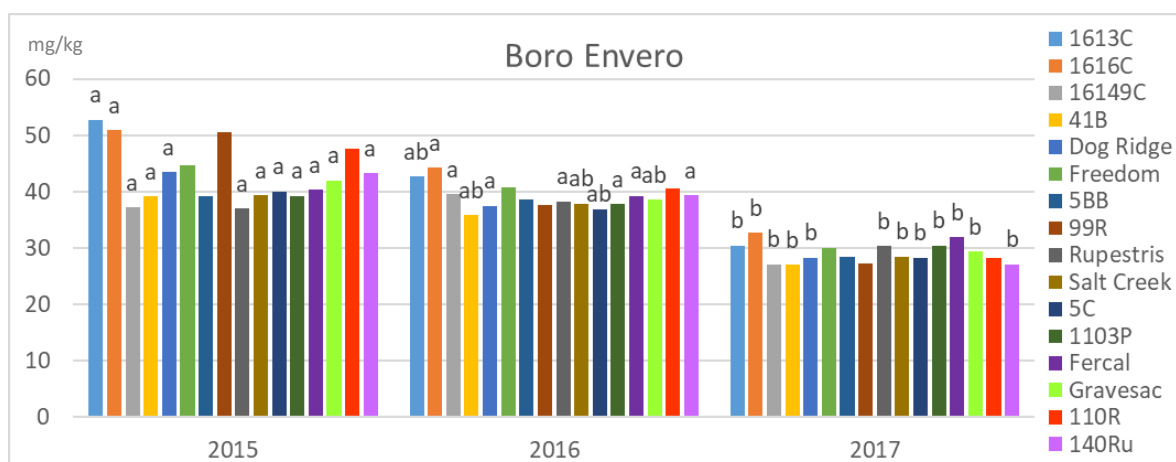


Figura 55. Gráfico de barras del boro mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

El **zinc** en enero solo muestra diferencias en el Tempranillo sobre los portainjertos 41B y Dog Ridge siendo mayor en 2015 que en 2017 (figura 56), y en el global de portainjertos entre 2015 con 50^a mg/kg y 2016 con 43^b mg/kg, estando 2017 en una situación intermedia. Se encuentra una dinámica acumulativa de floración a enero en el global de portainjertos en 2016 de 22^b mg/kg a 43^a mg/kg y en 2017 de 24^b mg/kg a 47^a mg/kg, conforme con las conclusiones otros autores (Bermejo, 2015), más acentuada en 2017, encontrándose diferencias entre floración y enero en todos los portainjertos excepto 110R y Gravesac. En 2015 se aprecian las mismas tendencias, pero no diferencias significativas en muchos portainjertos ni en el global de ellos.

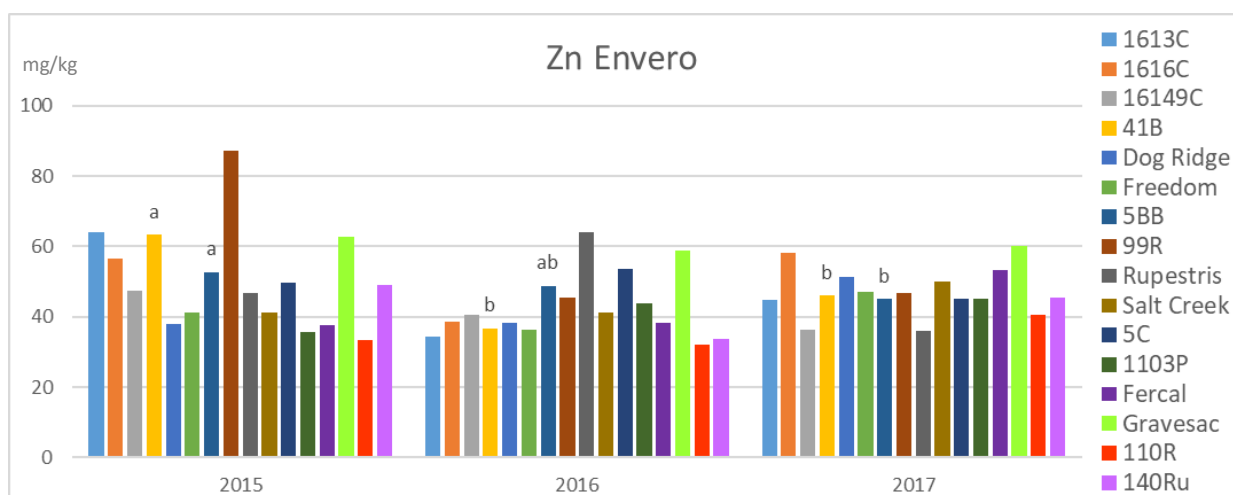


Figura 56. Gráfico de barras del zinc mg/kg en peciolo de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en los enveros de 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,10 según el test de Tukey.

En resumen, se aprecia, que la evolución de la situación nutricional interanual del Tempranillo injertado con los 16 portainjertos en esta situación experimental, depende tanto del elemento nutricional a considerar, como del estado fenológico y las fertilizaciones.

La situación nutricional del Tempranillo mejora en el periodo de 2015 al 2017 en cuanto al nitrógeno, al fósforo, al potasio y al hierro.

La comparativa interanual del nitrógeno de Tempranillo indica mejores valores respecto a 2015 con todos los portainjertos en floración de 2016 y en enero de 2017, siendo este último atribuible a la fertilización.

En cuanto al fósforo del Tempranillo mejoran los valores con ciertos portainjertos en la floración de 2016, no siendo atribuible este efecto a la fertilización, sin embargo, se podría considerar su efecto en el enero de 2017 produciéndose menos descensos significativos entre los niveles de fósforo de floración a enero entre los portainjertos, ayudando la fertilización a mantener los niveles de este nutriente en planta.

En cuanto al potasio del Tempranillo aumenta la concentración en enero en todos los portainjertos, siendo este efecto atribuible a la fertilización. En floración las mejoras se producen en 2016 y 2017, no siendo claro el efecto de la fertilización.

En cuanto al calcio del Tempranillo aumentan los niveles de este nutriente en envero de 2017 con todos los portainjertos y en floración con el global de portainjertos y con algunos de ellos, siendo consistente con la dinámica acumulativa observada por distintos autores.

En cuanto al magnesio del Tempranillo se observa una dinámica acumulativa interanual y estacional, pero no con portainjertos como 110R o 1103P.

En cuanto al hierro del Tempranillo se observa una mejora nutricional respecto a 2015, en el envero de 2016 con el global de portainjertos y con Gravesac y 5BB, y en envero 2017 con muchos de ellos, acorde con las dosis de fertilización. En floración se observan mejoras con el global de los portainjertos y con Freedom, 5BB, 99R, 1103P y Gravesac, con diferencias respecto a 2015. En la comparación interanual alcanza mayores valores el hierro en 2017, pudiendo deberse al mejor estado nutricional, especialmente de N y K, que favorece sinérgicamente la toma de este elemento.

En cuanto al manganeso del Tempranillo se observan mayores cantidades en floración 2017 con el global de portainjertos y con 1616C, 161-49C, 41B, Dog Ridge y 5BB respecto a 2016 y 2015 y en envero de 2017 y 2015 respecto a 2016 en muchos portainjertos y en el global.

En cuanto al boro del Tempranillo se encuentra una evolución interanual de disminución entre 2017 a 2016 y 2015. Su dinámica estacional es también de disminución de floración a envero global, pero no es significativa con todos los portainjertos todos los años. No pudiéndose atribuir su efecto a la fertilización directamente, si se observa una correlación significativa con otros elementos nutricionales según Pearson ($\alpha=0,01$) con el hierro $R=-0,444$, con el manganeso de $R=0,421$, con el nitrógeno en envero de $R=-0,621$ y con el fósforo en envero de $R=0,561$.

En cuanto al zinc del Tempranillo se encuentra una evolución interanual de disminución, en floración, siendo mayores las cantidades en 2015 con todos los portainjertos respecto a 2016 y 2017 y en envero con el global de portainjertos entre 2015 y 2016.

Se valora, por tanto, que la fertilización aplicada tiene una influencia en el Tempranillo en estado fenológico de envero aumentando los niveles de nitrógeno, fósforo y hierro, mientras en floración las mejoras sólo aparecen en el hierro. La dinámica del calcio y el magnesio es acumulativa aumentando sus concentraciones con los años en floración y envero y entre ambos estados fenológicos, acorde con la bibliografía. El manganeso interanual también aumenta con los años en floración, aunque en envero las tendencias no son claras. La evolución del boro muestra una disminución con los años y de floración a envero, al igual que el zinc en floración.

4.2.1.3. Diagnóstico nutricional

Con el fin de obtener un adecuado diagnóstico nutricional del Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos y valorar si las cantidades de los nutrientes evaluados son adecuadas, se realizan los cálculos para cada portainjerto del rango de suficiencia, la desviación del óptimo porcentual DOP de cada elemento y, por último, la relación DRIS entre macronutrientes. Se exponen los resultados nutricionales más relevantes de cada año según estas metodologías, cuyos valores y procesamiento estadístico se pueden consultar en el anexo 14 diagnóstico nutricional del CD adjunto. Hay que recordar que las referencias para estos cálculos de diagnóstico nutricional son las obtenidas en Rioja para Tempranillo sobre 110R (Romero, 2015).

En la **floración 2015** los rangos de suficiencia indican la situación general del Tempranillo respecto a los valores de referencia de los nutrientes. Las tablas de contingencia elaboradas muestran con las frecuencias de los rangos de suficiencia de los elementos, que se encuentran:

- Muy alto respecto al B, Mg y Zn el 100 % de los casos y respecto al Ca (98 %) y Mn (79 %).
- Muy bajo respecto al K (100 %), Fe (94 %), P (89 %), N (87 %).

Las desviaciones del óptimo porcentual DOP indican cuanto se ve desviado cada elemento respecto a las referencias (Romero, 2015). Esto no significa que todo signo negativo sea una deficiencia a corregir, puesto que los índices DOP de envero y floración oscilan, para el rango óptimo y normal (tabla 74 anexo). Las interpretaciones de rangos bajos y rangos altos en peciolo en floración y envero se realizan conforme a las indicadas por Romero, 2015 y son más amplias que dicha oscilación. Aunque su propósito no es cuantificar si se obtiene una imagen visual de los déficits generales que se presentan.

Los índices DOP indican en floración de 2015 (figura 57) que el Tempranillo presenta deficiencias leves en N y P, mayores en hierro y niveles muy bajos de potasio. El manganeso se encuentra en proporciones normales excepto en Fercal, Gravesac, Rupestris y Salt Creek que es alto. Se presentan excesos de calcio, magnesio, boro y especialmente altos en zinc.

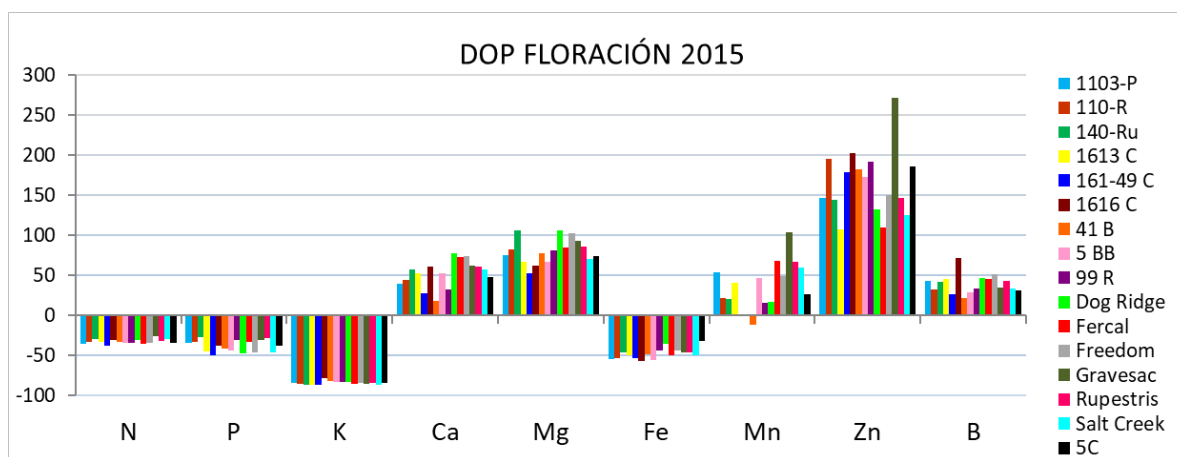


Figura 57. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en la **floración de 2015** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

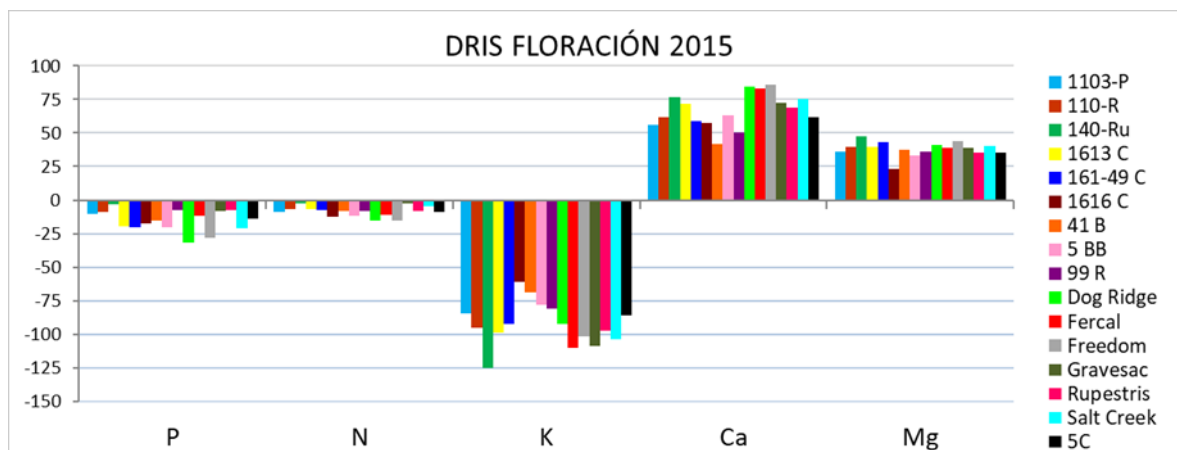


Figura 58. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la **floración de 2015** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

Los índices DRIS de floración 2015 entre los macroelementos también indican, como se puede observar en la figura 58, las deficiencias observadas anteriormente en el Tempranillo, sin embargo, teniendo en cuenta las relaciones nutricionales, se detecta que la deficiencia de potasio toma mayor importancia, mientras las de nitrógeno y fósforo disminuyen. El exceso de calcio aumenta mientras los de magnesio disminuyen. Los índices muestran cómo con los portainjertos 1616C y 41B sufren menos desviaciones, aun siendo importantes.

En el **enero 2015** los rangos de suficiencia indican con sus frecuencias sobre el estado nutricional de cada elemento rangos:

- Muy bajo respecto al K el 100% de los casos y respecto al Fe en un 50% y bajo en un 21 %.
- Muy alto respecto al magnesio en un 96%, Mn (47 % y alto 47%) y Zn (91%) y Ca (62%)
- Fósforo se encuentra en un rango óptimo (45%) y alto (45%)
- Nitrógeno: Bajo + muy bajo (51%), óptimo + alto (49%)
- Boro: óptimo 19% + alto 34 % + muy alto 36%

Los DOP de enero 2015 se resumen en la figura 59 e indican que los déficits más importantes son los de potasio. No se aprecian déficits de nitrógeno y mejoran bastante los déficits de hierro. Se valoran excesos de calcio, magnesio, manganeso y zinc.

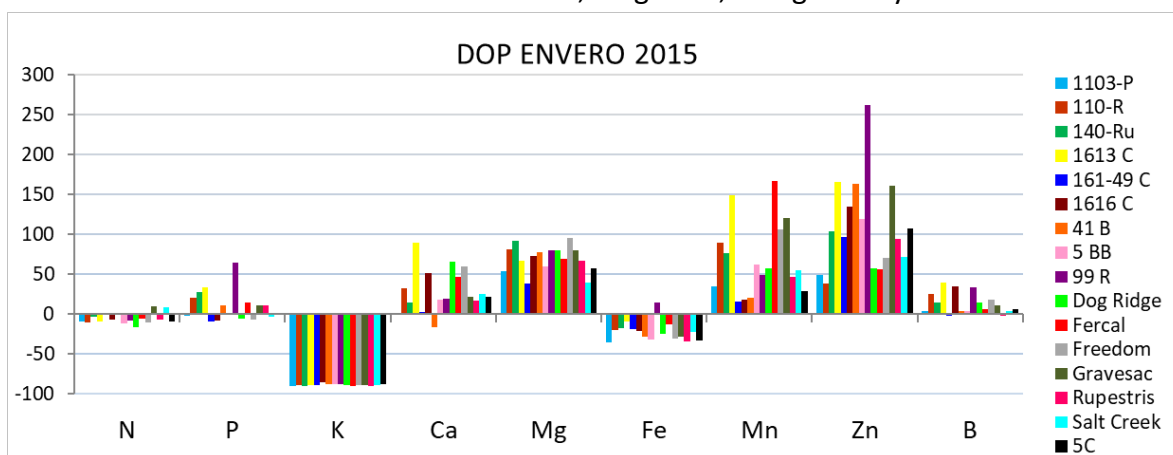


Figura 59. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en el **enero de 2015** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

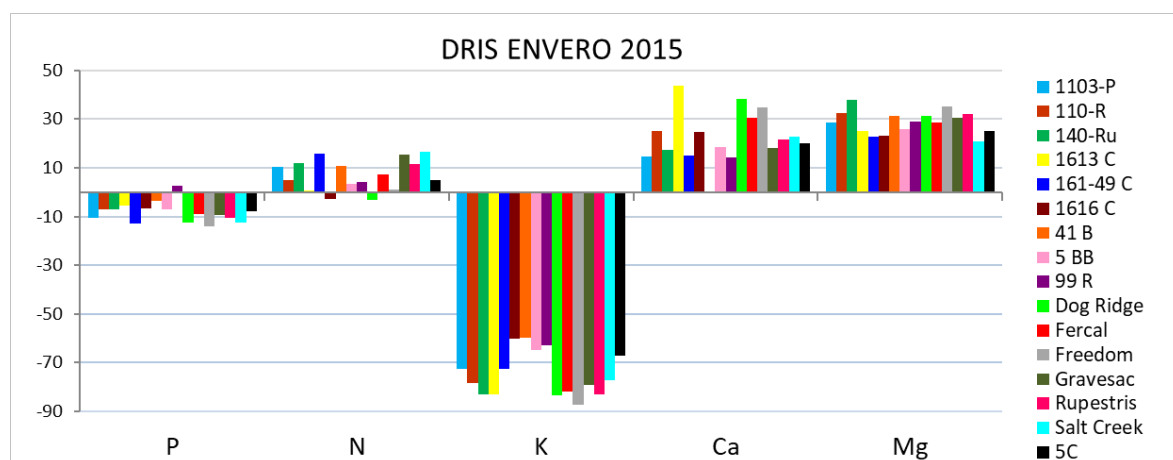


Figura 60. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el **enero de 2015** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

Teniendo en cuenta las relaciones entre los elementos en el Tempranillo los índices DRIS en enero 2015 (figura 60) muestran que el nitrógeno no resulta deficitario. El fósforo levemente y el potasio es la deficiencia importante que se mantiene con todos los portainjertos. El calcio y el magnesio siguen valorándose en exceso.

En la **floración de 2016** se ha realizado abonado de invierno según se indica en la tabla 30. Los rangos de suficiencia indican con sus frecuencias una situación que se resume en rangos:

- Muy alto: Ca y Mg (100%) B (83% y 15% alto), Mn (81% y 17% alto)
- Alto: Zn (51% y 43% muy alto)
- Muy bajo: K (100%)
- Bajo: Fe (43% y 40% muy bajo), P (30% bajo y 34% muy bajo con mayor probabilidad en 161-49C, 41B y Freedom según los arboles de regresión)
- El N encuentra una situación muy variada, con un 45% de las frecuencias en el rango óptimo, un 11% alto, pero un 44% bajo (con mayor frecuencia en 161-49C, Freedom y Fercal)

El cálculo de los índices DOP floración 2016 ofrece una imagen gráfica de la situación general (figura 61) del Tempranillo, en la cual se pueden ver:

- Muy bajo el K y muy alto el Ca, Mg y B en todos los casos coincidiendo con los RS.
- N dentro rangos normales con todos los portainjertos.
- P con deficiencias con 161-49C, 41B, Dog Ridge, Freedom y Salt Creek.
- Fe bajo con todos los portainjertos excepto en 41B, Freedom, Gravesac y Salt Creek que entra dentro de la normalidad.
- Mn normal con todos los portainjertos excepto Fercal, Gravesac, Rupestris y Salt Creek con valores altos.
- Zn normal excepto con Gravesac que es alto.

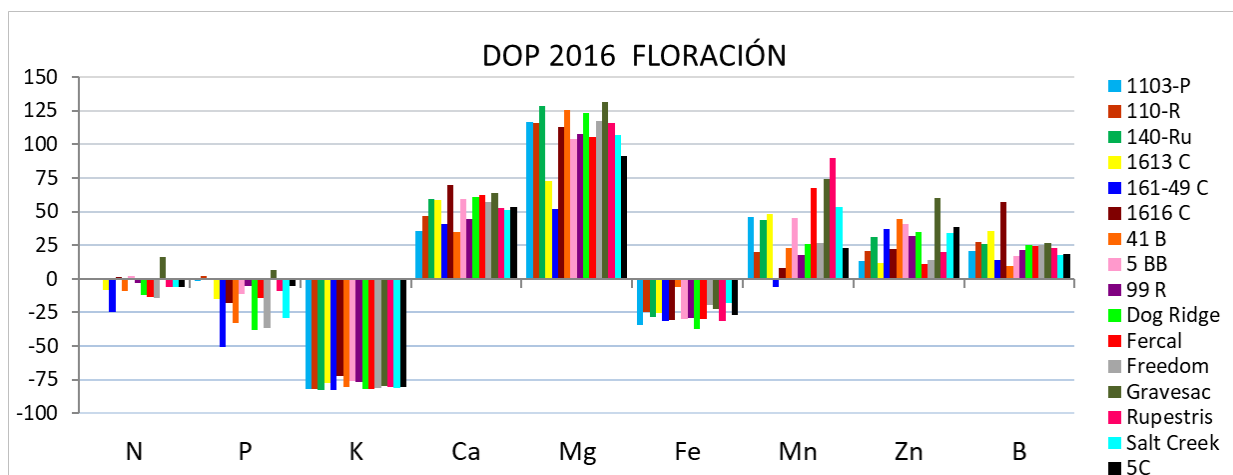


Figura 61. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en la **floración de 2016** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

En cuanto a las relaciones de nutrientes DRIS floración 2016 (figura 62) el nitrógeno obtiene índices positivos con casi todos los portainjertos. En cuanto al P se mantienen una leve deficiencia 161-49C, Dog Ridge, Freedom, 41B, Salt Creek y 1616C. En cuanto al potasio con

todos los casos se mantiene la gran deficiencia observada previamente mientras se muestran en exceso el magnesio y sobre todo el calcio.

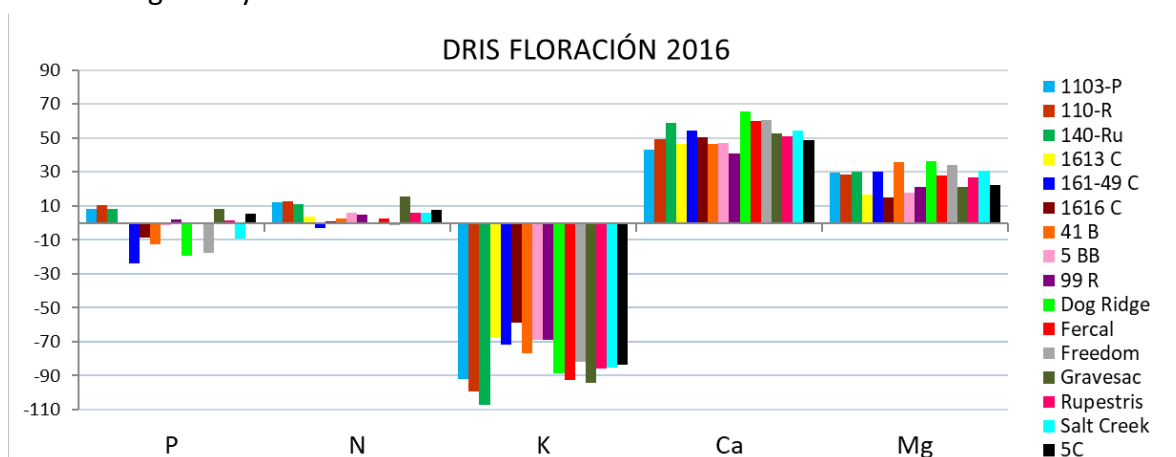


Figura 62. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la **floración de 2016** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

En el **envero de 2016** se han realizado aplicaciones tardías de Fe IDHA, de 10 mM de Fe en total, como se indica en tabla 30 y la situación que describen las frecuencias de los rangos de suficiencia son rangos:

- Muy bajo K (100%)
- Muy alto Mg (95%), Ca (85%), Zn (79%)
- Alto Fe (51% y 31% muy alto), P (55% y 19% muy alto), B (49% y 11% muy alto) y Mn (49% y 9 % muy alto).
- N bajos 40 % y muy bajo 6% presenta.

Los índices DOP en enero 2016 indican más deficiencias en el Tempranillo que los rangos de suficiencia, encontrando con todos los portainjertos además del alto déficit de K, también deficiencias respecto al N y al P. El boro se encuentra en niveles normales. Los valores del DOP (figura 63) indican Ca, Mg y Zn altos, como ya indicaban los rangos de suficiencia, pero también para Mn. El Fe muestra valores normales, esta es la principal diferencia significativa respecto al enero de 2015 y supone la efectividad de los tratamientos de IDHA Fe.

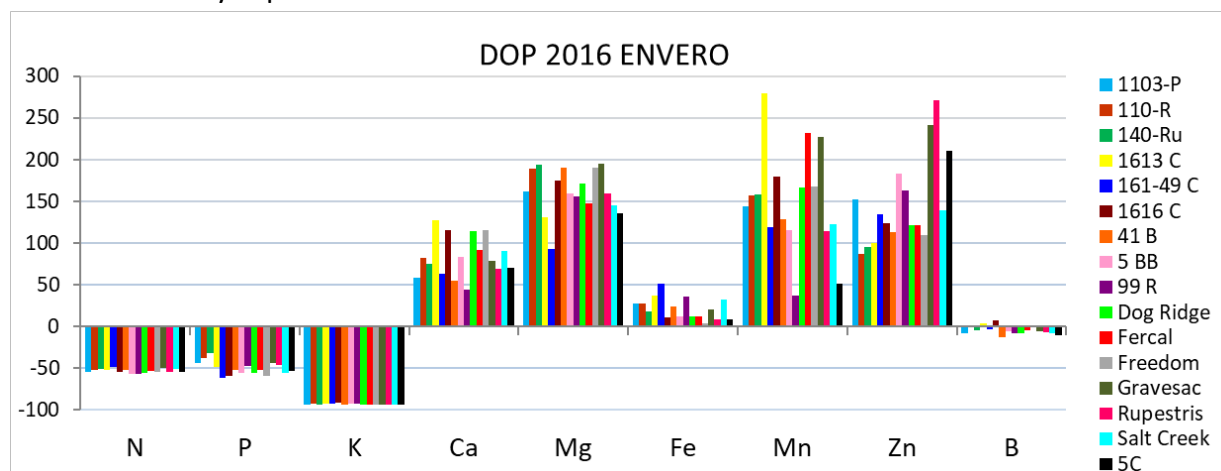


Figura 63. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en el **envero de 2016** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

Los índices DRIS del envero 2016 (figura 64) mantienen e incluso aumentan el valor de las deficiencias de potasio, sin embargo, disminuyen la importancia del exceso de calcio y magnesio, sobre todo de este último y también de los déficits de nitrógeno y fósforo.

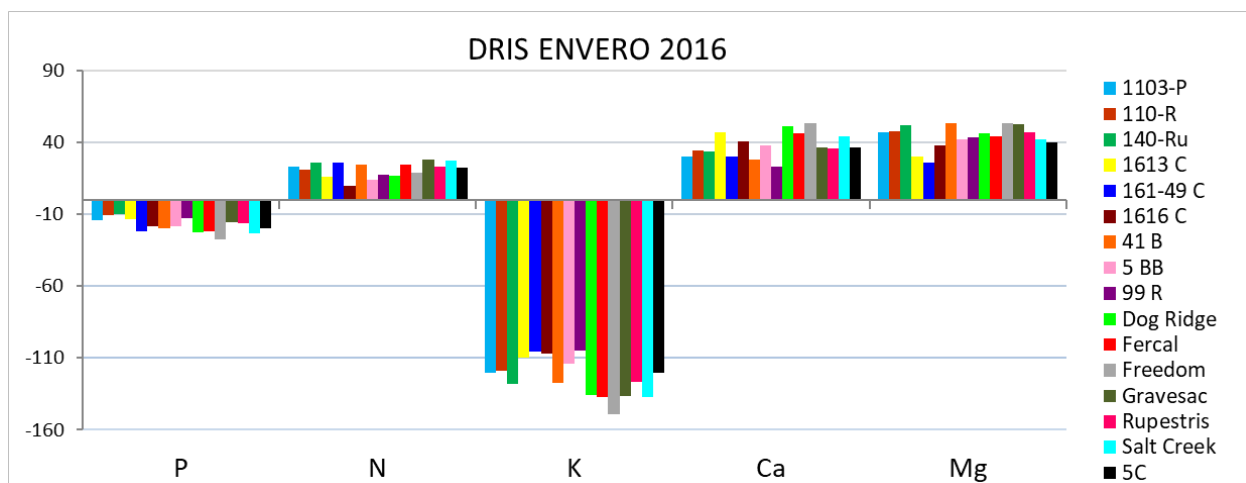


Figura 64. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el **envero de 2016** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

En 2017 se aplicó tratamiento de invierno y para floración ya estaban aplicadas 2 fertirrigaciones, 12 UFN – 6 UFP – 24 UFK/ha y dos aplicaciones foliares de IDHA Fe, 3,3 mM de Fe en total. Los Rangos de suficiencia calculados para la **floración de 2017** indican situaciones nutricionales con rangos:

- Muy alto: Ca, Mg, Mn (100%) y Zn (60% y 30% alto).
- Muy bajo: K (100%), P (95%), B (55% y 28 % bajo).
- Bajo: N (57% y 4 % muy bajo).
- El Fe tiene una situación variada, aproximadamente el 53 % son bajos y el otro 46% se reparten entre óptimo, alto y muy alto.

El cálculo de los índices DOP del Tempranillo en la floración 2017 ofrecen en la figura 65 las desviaciones de los nutrientes. Se aprecia que las deficiencias son principalmente de potasio y de fósforo con todos los portainjertos. En cuanto al nitrógeno con todos los portainjertos se obtienen valores dentro del intervalo normal. Los índices DOP en calcio, magnesio, manganeso y zinc muestran excesos con todos los portainjertos. El hierro muestra DOP muy diferentes dependiendo del portainjerto, mostrando deficiencias con 1103P y 140Ru y valores muy altos con 1613C, 1616C y Fercal. El boro muestra ligeras deficiencias con muchos portainjertos.

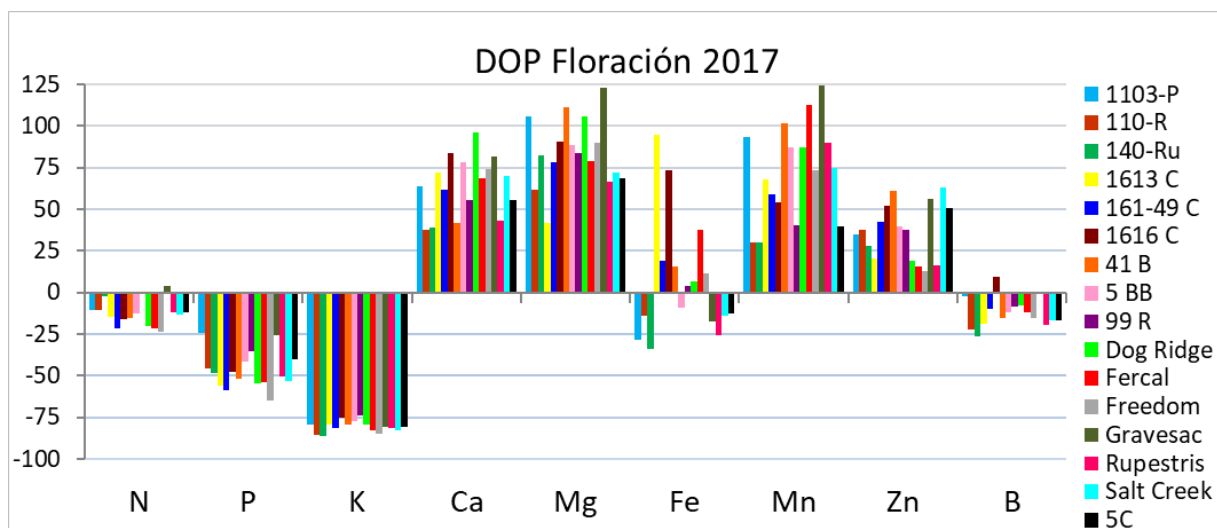


Figura 65. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en la **floración de 2017** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

El índice DRIS de floración 2017 (figura 66) muestra como el nitrógeno se encuentra en valores normales en todos los portainjertos. Se registra el déficit de fósforo y sobre todo el déficit de potasio que persiste a pesar de las fertirrigaciones.

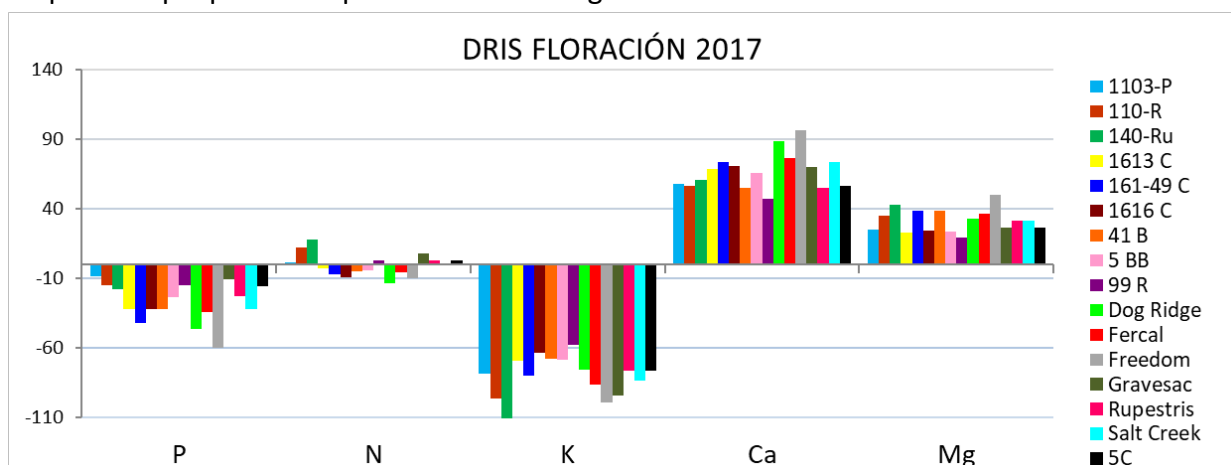


Figura 66. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en la **floración de 2017** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

En el **envero de 2017** ya se han aplicado otras 3 fertirrigaciones NPK, lo que conlleva 30-15-60 UF que según el rango de suficiencia se observa como los rangos de los estados nutricionales de los elementos son:

- Muy alto: Ca, Mg (100%), Zn (98%), N (91%), Mn (77%) y Fe (51% y 28% alto)
- Optimo: P (47% y 26% alto y 28% bajo)
- Muy bajo: K (100%) y B (83%)

Los índices DOP del envero 2017 (figura 67) indican gráficamente lo que los rangos de suficiencia, mostrando el déficit de K general en todos los portainjertos. Sin embargo, en cuanto al P se observa como los valores se encuentran en el rango normal. En cuanto al hierro, con todos los portainjertos se corrige la deficiencia, que en floración persistía con algunos portainjertos. El boro presenta deficiencias con todos los portainjertos.

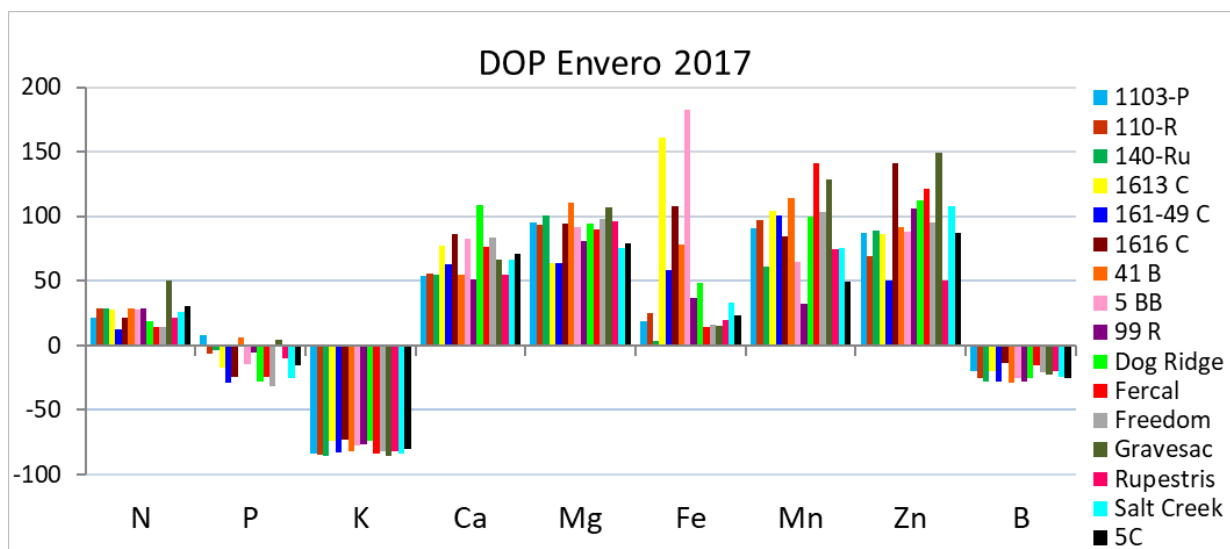


Figura 67. Representación gráfica del DOP del N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en el **envero de 2017** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

Los índices DRIS del Tempranillo en enero 2017 (figura 68) muestran pequeñas deficiencias en el P con todos los portainjertos y siguen manteniendo alto déficit de potasio que muestran con todos los portainjertos y no se ha logrado corregir con la fertilización.

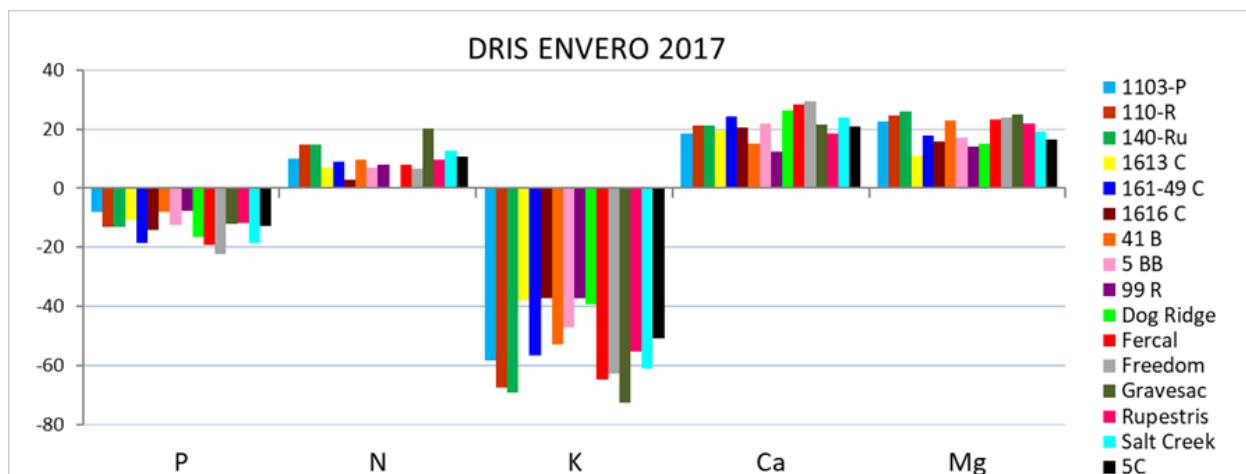


Figura 68. Representación gráfica del DRIS del N, P, K, Ca y Mg en el **envero de 2017** para Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes.

Así el diagnóstico nutricional mediante RS, DOP y DRIS permite concluir que:

La situación nutricional del Tempranillo respecto al potasio, que según las analíticas se valoraba con una mejoría en 2017, es según el diagnóstico nutricional deficitaria con todos los portainjertos, en floración y en enero, y la fertilización no ha conseguido cambiar esta pauta, que es la más consistente en todas las evaluaciones realizadas. DOP y DRIS coinciden en la valoración. Es posible que sea necesaria una revisión de los valores de referencia del potasio en la zona a estudio con respecto a los utilizados, que resultan bastante elevados y no son capaces de discriminar entre situaciones de fertilización diferentes, como las utilizadas en el presente trabajo.

La situación del hierro en el Tempranillo en floración se valora como deficitaria en 2015 y 2016, y adecuada en 2017 con los portainjertos 1613C, 161-49C, 1616C, 41B, Dog Ridge, Fercal, Freedom y 5BB. En enero, la situación deficitaria del hierro en Tempranillo en 2015 se observaba mejorada en 2016, lo que se aprecia con las analíticas peciolares e índices DOP con todos los portainjertos. En el enero de 2017, que se encontraban diferencias analíticas respecto a otros años solo en el Tempranillo con algunos portainjertos, los índices DOP indican un nivel adecuado con todos los portainjertos, incluso muy alto en el caso de 1616C, 1613C y 5BB.

La situación del nitrógeno del Tempranillo en floración indica deficiencias con todos los portainjertos en 2015 con las analíticas y con índices diagnósticos. En 2016 y 2017 las analíticas indicaban mejorías con una mayoría de los portainjertos, los índices DOP muestran mejores valores llegando a valores adecuados en algunos casos y los índices DRIS indican valores adecuados casi con todos los portainjertos.

En cuanto a las valoraciones del nitrógeno del Tempranillo en los enveros, 2015 y 2016 que mostraba los menores valores con casi todos los portainjertos según las comparaciones analíticas, DOP los valora en 2015 como normales, en 2016 como deficientes y en 2017 como normales. DRIS valora como buenos los niveles de 2015, 2016 y 2017. Por tanto, DRIS parece menos restrictivo y discriminante en la valoración del nitrógeno en enero que DOP.

En cuanto al fósforo del Tempranillo, DOP y DRIS de floración indica deficiencias con todos los portainjertos en 2015 y 2017 y en 2016 con 161-49C, 41B, Dog Ridge, Freedom y Salt Creek, lo cual se corresponde con las comparaciones analíticas. En las valoraciones de los enveros DOP valora niveles normales en 2015, bajos en 2016 y bajos en 2017 con 161-49C, 1616C, Dog Ridge, Fercal, Freedom y Salt Creek. DRIS valora leves deficiencias en 2015, 2016 y 2017. Las comparaciones analíticas del fósforo en enero no encontraban diferencias entre los portainjertos. Por tanto, DOP parece mostrar más diferencias que DRIS y que la comparativa analítica.

En cuanto al calcio, magnesio y zinc del Tempranillo tanto DOP como DRIS consideran que estos elementos están siempre en exceso en los estados nutricionales de los peciolares del Tempranillo en estos suelos, especialmente el calcio.

En cuanto al boro del Tempranillo tanto DOP como DRIS consideran que está en niveles altos en 2015, en niveles medios en 2016 y en déficit en 2017, siendo esta valoración bastante paralela a la realizada entre analíticas.

Por tanto, se puede concluir que, los índices DOP y DRIS son de utilidad en la interpretación de las analíticas peciolares y que, con los niveles de referencia utilizados, DOP valora, en general, como más deficiente la situación nutricional del Tempranillo injertado con los 16 portainjertos.

Los niveles de referencia parecen adecuados en la mayoría de los nutrientes, excepto en el caso del potasio que parecen no encontrar diferencias entre portainjertos y valorar siempre situaciones muy bajas, que en estos suelos son habituales, por lo que se estima conveniente revisar las referencias de este elemento para estas condiciones con el fin de poder hacer una valoración más concluyente.

4.2.2. ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

4.2.2.1. SPAD

Se exponen los resultados en gráficas anuales que agrupan los cuatro estados fenológicos en los que se realizaron medidas de SPAD en las hojas de Tempranillo injertado sobre los 16 portainjertos. Posteriormente, se exponen las desviaciones medias interanuales y las valoraciones interanuales de cada estado fenológico.

En el año **2015**, se observa en la figura 69 (tabla 58 anexo) como el portainjerto 1616C induce los valores menores de SPAD para Tempranillo en cualquier estado fenológico. El portainjerto 5BB muestra una tendencia a los valores de SPAD más elevados en todos los momentos fenológicos, aunque no siempre existan diferencias con otros portainjertos (figura 69). En floración, 1616C tiene menor SPAD que 5BB, 41B, 5C, Gravesac, Dog Ridge, Rupestris, 161-49C, Fercal, Salt Creek y 99R. 15 días después, con una mayor clorosis, 1616C muestra menor SPAD que el resto de portainjertos, excepto 1613C, mientras que Fercal muestra mayor SPAD que 99R, 1613C y 1616C. En estado fenológico tamaño guisante, el SPAD mejora considerablemente y 1616C solo tiene menor SPAD que 41B, 5C y 1103P. En inicio de enero, 5BB, 41B, 5C, Gravesac y Freedom presentan mejor SPAD que 1616C, y 5BB presenta mayores SPAD que 140Ru, Salt Creek, 99R, 1613C y 1616C. Hay que valorar que es un año sin fertilización de ningún tipo y que esa clorosis que se presenta en floración, mejora en casi todos los portainjertos al llegar a tamaño guisante.

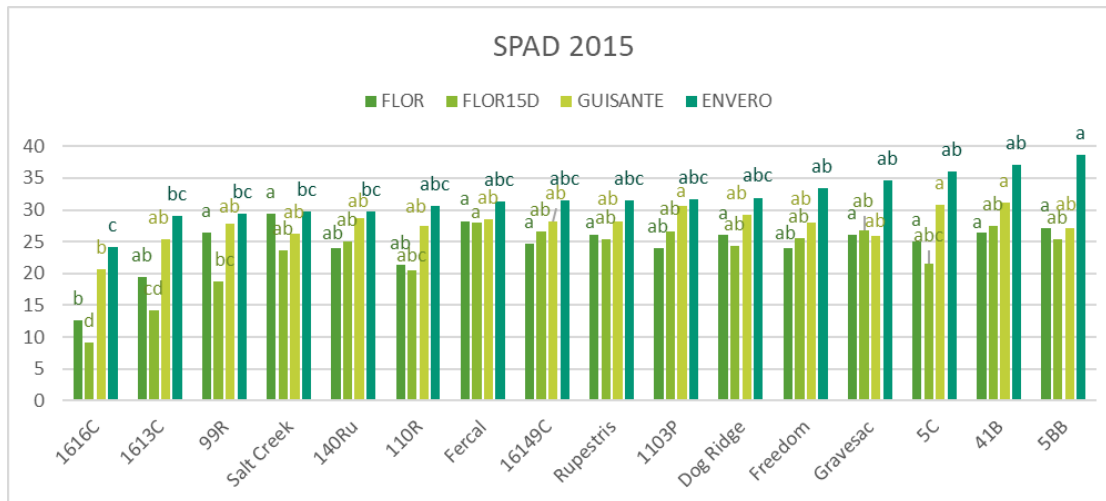


Figura 69. Diagrama de barras de las medias de SPAD de **2015** para diferentes estados fenológicos de Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo estado fenológico para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En **2016**, el portainjerto 1616C también induce menores SPAD que el resto de portainjertos en todos los momentos, como se aprecia en la figura 70 (tabla 59 anexo). En floración es cuando menores valores de SPAD presenta, y con los únicos portainjertos que no muestra diferencias es con 1613C, Gravesac, 99R y 5C. 15 días después de floración, sin ninguna aplicación de fertilizantes, la clorosis mejora y 1616C ya solo muestra diferencias con Fercal y 140Ru. En baya tamaño guisante, 1616C muestra menor SPAD que la mayoría de los

portainjertos excepto 110R. Por el contrario, 5BB presenta mayores valores que 110R y 1616C. En inicio de enero son 99R y Dog Ridge los que muestran mayores valores de SPAD que 1616C.

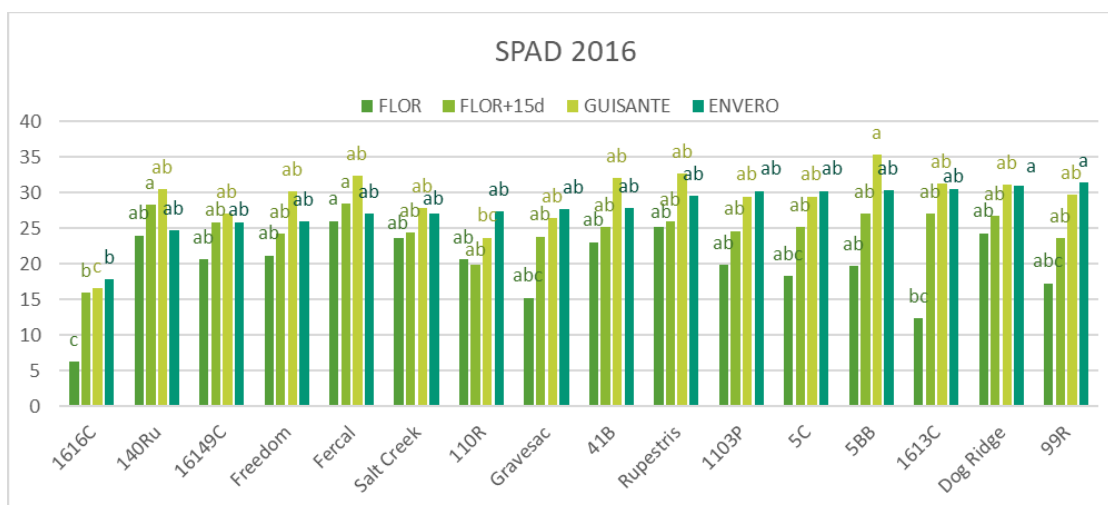


Figura 70. Diagrama de barras de las medias de SPAD de **2016** para diferentes estados fenológicos de Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo estado fenológico para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En **2017**, se aprecian en la figura 71 diferencias en el SPAD entre el Tempranillo injertado con diferentes portainjertos en todos los momentos (tabla 60 anexo). En floración, el 1616C ofrece valores de SPAD inferiores al resto de los portainjertos, excepto Gravesac. 15 días más tarde de floración y en estado fenológico baya tamaño guisante, 1616C presenta menor SPAD que la mayoría de portainjertos, pero no que 1613C, 161-49C ni 5C y en guisante, tampoco menor que 110R. En inicio de enero, aumenta bastante el valor de SPAD de 1616C y sólo presenta menor SPAD que 5BB, Fercal, Rupestris y 140Ru, mientras que el portainjerto 161-49C es el que muestra valores de SPAD más bajos. Los portainjertos Fercal y Rupestris son los que muestran los valores de SPAD más elevados a lo largo de todo el ciclo vegetativo junto con los portainjertos 140Ru y 5BB en floración e inicio de enero respectivamente.

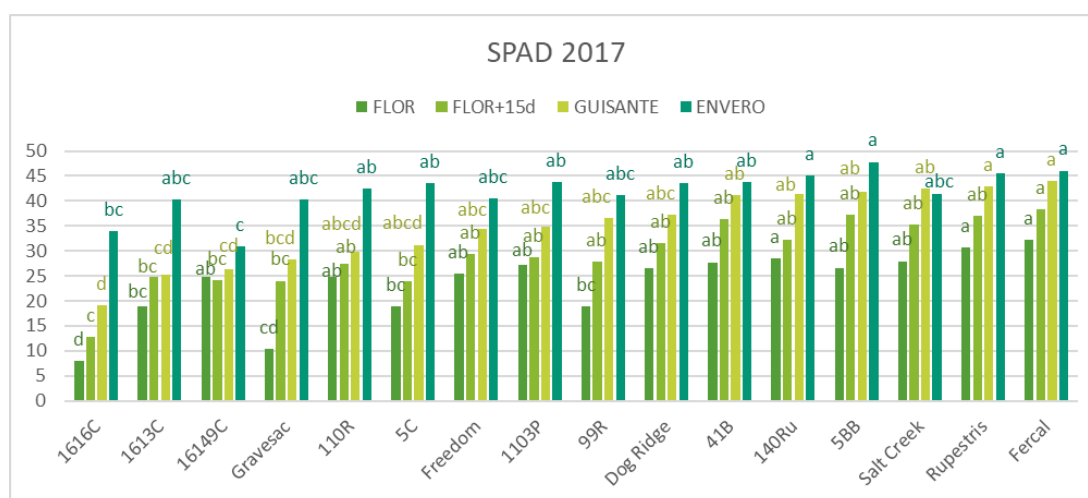


Figura 71. Diagrama de barras de las medias de SPAD de **2017** para diferentes estados fenológicos de Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo estado fenológico para alfa 0,05 según el test de Tukey.

El comportamiento **interanual** de los portainjertos se puede analizar mediante las desviaciones medias de cada año. Con este análisis se descarta en lo posible el efecto de la fertilización ya que se aplica de la misma forma sobre todos los portainjertos. La figura 72 ilustra como 1616C muestra los menores valores de SPAD respecto al resto de los portainjertos en los cuatro momentos fenológicos. Se observa como Fercal muestra los mayores valores de SPAD hasta el estado fenológico de envero, diferenciándose de 99R, 5C, Gravesac y 1613C en floración. 15 días más tarde, Fercal muestra mayor SPAD que 5C, 99R, 110R y 1613C. En tamaño guisante Fercal, 5BB y 41B muestran mayor SPAD que 1613C, 161-49C, 110R y Gravesac. En envero 5BB, 5C y 41B muestran mejores valores de SPAD que 161-49C y 1616C (tabla 61 anexo).

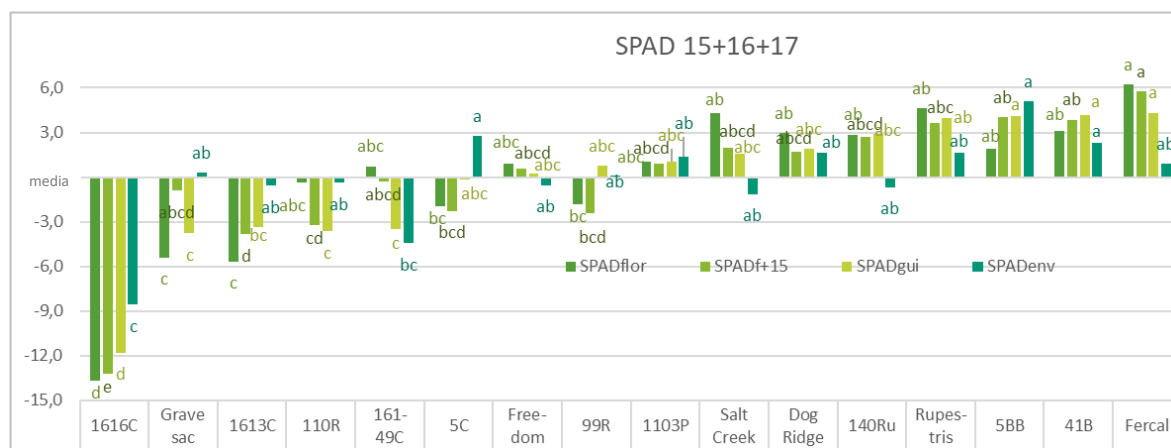


Figura 72. Desviaciones medias de SPAD en el promedio de los años **2015 + 2016 + 2017** para diferentes estados fenológicos de Tempranillo injertado sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo estado fenológico para alfa 0,05 según el test de Tukey.

Se evalúa el SPAD a lo largo de los años del experimento para cada estado fenológico y se presenta en las figuras 73 que agrupan las diferencias entre los 16 portainjertos (tabla 62 anexo). Se observa la evolución, pudiendo valorar el efecto de la fertilización en el SPAD y los factores climáticos.

En floración las diferencias del SPAD entre los años son escasas e incluso en algunos casos las mayores clorosis se presentan en 2016 y 2017 como 99R y Gravesac. En general se observa una tendencia a menores valores de SPAD en la floración de 2016 (con abono de invierno) que en 2015 (sin aplicación), que podrían explicarse por la mayor humedad del terreno en abril y mayo de 2016 (climatología 4.1.1.) lo que supone un factor decisivo en el poder clorosante del suelo, aumentando la disolución del carbonato y el pH del suelo y dificultando la toma de hierro del suelo (Taggliavini y Rombolà, 2001). Tan solo 1103P mejora en 2017 respecto a 2016, por lo que el efecto de las fertilizaciones no parece suficiente para marcar diferencias en el SPAD en floración.

En el momento de floración +15 días se muestran mayores diferencias que en floración. En 2015 y 2016, sin aplicaciones de hierro foliares, los niveles de SPAD son más bajos que en 2017, aplicado hierro y fertirrigación para los portainjertos 41B, Dog Ridge, Rupestris, Salt Creek, Fercal y 140Ru, con valores de SPAD aproximados a 35. En 2016, sólo con abono de invierno, únicamente se observa efecto sobre el portainjerto 1613C, que mejora respecto a 2015.



Figuras 73. Diagrama de barras de las medias de valores SPAD para Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015, 2016 y 2017 en estados fenológicos de a) Floración; b) Floración + 15 días; c) Guisante; d) Inicio enero. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En el estado fenológico de baya tamaño guisante, los valores de SPAD de 2017 son más elevados que en 2015 y 2016 para los portainjertos 41B, Dog Ridge, 5BB, 99R, Rupestris, Salt Creek, Fercal y 140Ru cuyos valores aumentan por encima de 40 en casi todos los casos.

En inicio de enero, el SPAD aumenta en 2017 respecto a 2015 y 2016 en todos los portainjertos excepto en 161-49C. Se ve por tanto un efecto de la fertilización de 2017 que va progresando con el ciclo vegetativo, aumentando los niveles de SPAD, alcanzando a todos los portainjertos excepto en el caso de 161-49C en el que no se encuentran diferencias significativas entre los años en ningún caso, que no alcanza niveles de clorosis importantes, pero tampoco parece responder a la fertilización. La fertilización 10 mM de quelatos de hierro aplicada previo a enero en 2016 no ha logrado mejorar los niveles de SPAD en este momento.

4.2.2.2. Clorofilas

Se analizan las diferencias entre las clorofilas de las hojas de Tempranillo injertado sobre los 16 portainjertos en floración, que es uno de los estados fenológicos establecidos para determinar el estado nutricional de la vid (García Escudero et al., 2013) y en el que más evidentes son las clorosis entre los portainjertos cada año. Se hace un estudio plurianual para ver si persiste la influencia del portainjerto. Para valorar la influencia de los años y los tratamientos fertilizantes aplicados se valora como factor dependiente el año para cada portainjerto.

Como se puede observar en la figura 74, en 2015 se encuentran diferencias en la clorofila a y no en la b, destacando mayores clorofilas a en 5BB con 11 mg/l y 5C con 10,8 mg/l respecto

a 1616C con 5,4 mg/L de media, en concordancia con la sintomatología de clorosis observada especialmente en 1616C. En cuanto a las clorofilas totales no se encuentran diferencias.

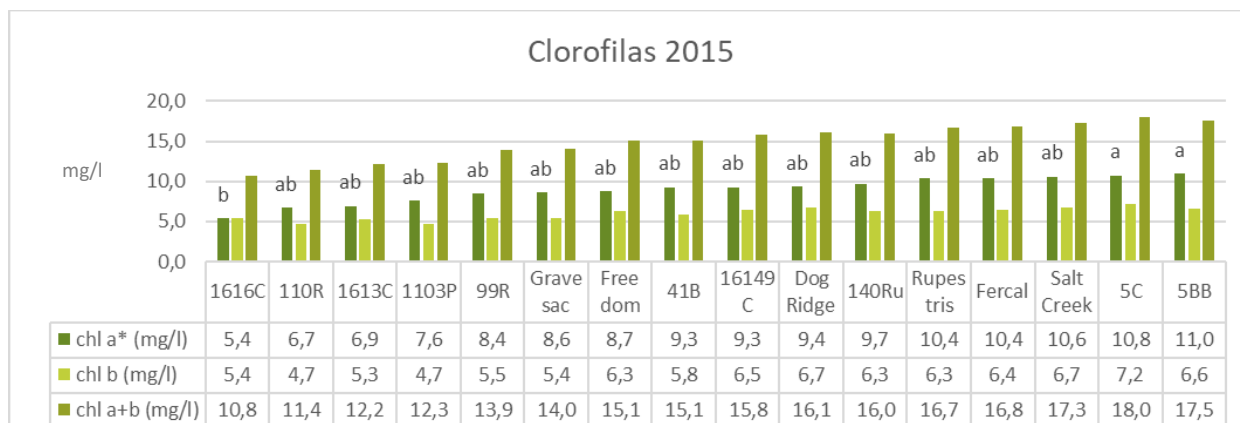


Figura 74. Gráfico de barras de las clorofilas (mg/l) de Tempranillo sobre 15 portainjertos en el año 2015. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA (n.s.= no significativo; *≤0,05)

En 2016 se encuentran diferencias entre los contenidos de clorofila a y no se encuentran diferencias en la clorofila b. En 2016, en estado fenológico de floración, todavía no se había realizado ninguna aplicación de hierro, solamente un abonado de invierno (figura 75). El portainjerto 140Ru, Rupestris, 5BB, Salt Creek, 41B, Dog Ridge y Fercal tienen mayor clorofila a que 1616C, que sigue siendo el portainjerto con menor contenido en clorofilas y mayores síntomas cloróticos en campo. Como se puede observar las diferencias en 2016 son más importantes que en 2015, lo cual se refleja también en diferencias en las clorofilas totales.

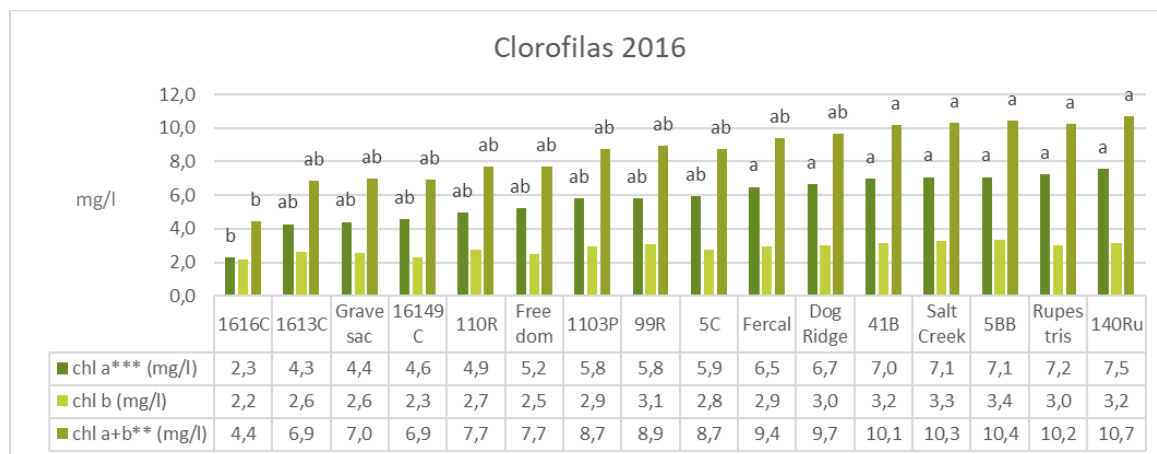


Figura 75. Gráfico de barras de las clorofilas (mg/l) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2016. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA (**≤0,01; ***≤0,001)

En 2017 se observan diferencias significativas entre todos los portainjertos (figura 76). Hay que considerar que en floración de 2017 ya se habían realizado, además del abonado de invierno, dos aplicaciones NPK en total 11,8-6-23,8 UF, y la aplicación foliar de hierro a 3,33 mM/ha en floración (tabla 30). Estos factores se suman al factor portainjerto a tener en cuenta en la concentración de clorofilas, con respecto a años anteriores.

Rupestris induce mayor concentración de clorofila a que 161-49C, 110R, 1613C y 1616C y Fercal más que 1613C y 1616C. El portainjerto 1616C tiene menos clorofila b que Rupestris y Fercal y en clorofilas totales 1613C y 1616C producen menor cantidad que Rupestris y Fercal.

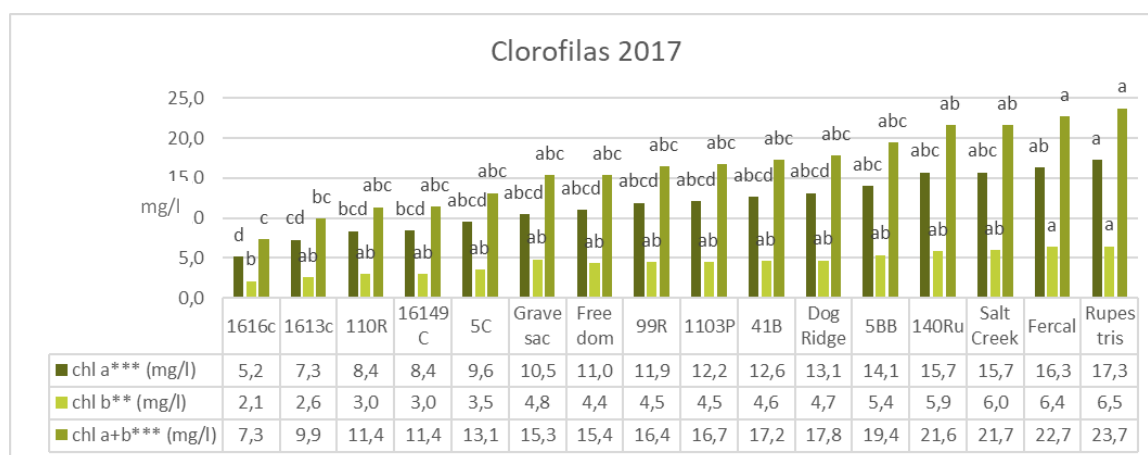


Figura 76. Gráfico de barras de las clorofilas (mg/l) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA (** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$)

El análisis **interanual 2015-2017** de los datos de las clorofilas según portainjertos se muestran diferencias en la clorofila a y el total de clorofilas con igual distribución (figura 77). Los portainjertos Rupestris, Salt Creek, Fercal, 140Ru y 5BB presentan mayor cantidad de clorofilas que 1616C, que es el portainjerto con menor cantidad de clorofilas, 4,3 mg/l de clorofila a y 7,52 mg/l de clorofila a +b, menos de la mitad que los portainjertos del grupo con alto contenido en clorofilas.

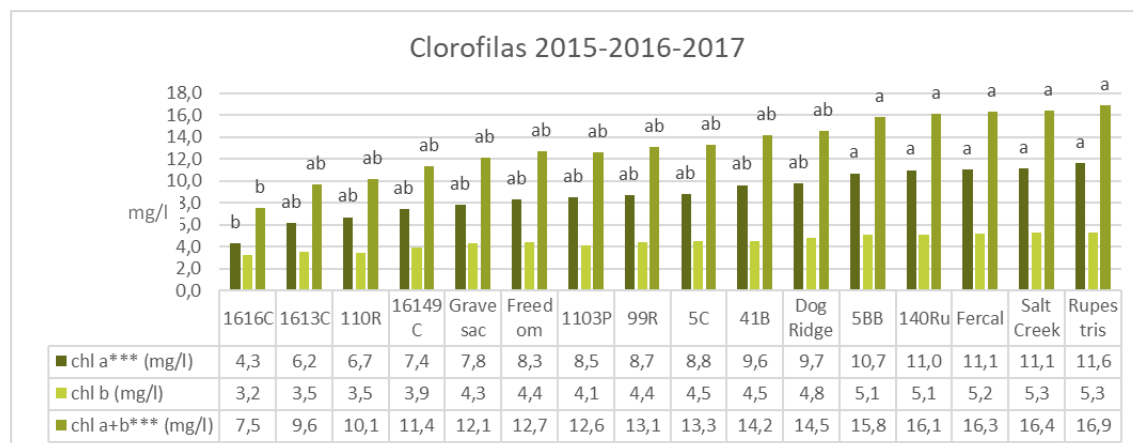
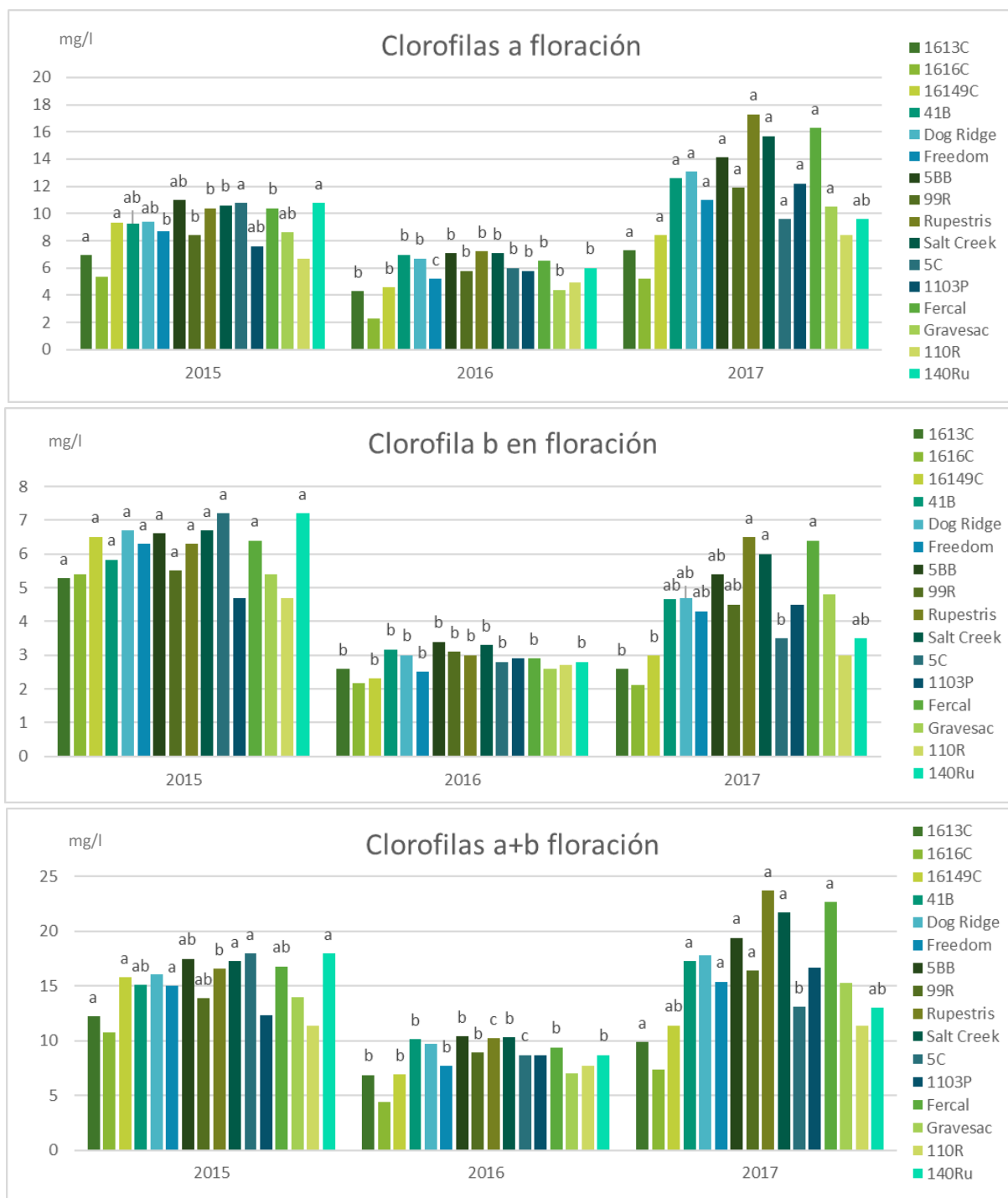


Figura 77. Gráfica de barras de las clorofilas medias (mg/l) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015+ 2016 + 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA (***) $\leq 0,001$)

Para valorar el nivel de clorofilas en cada portainjerto a lo largo de los años se realiza un análisis de la varianza con factor independiente el año. En la figura 78a se muestran las clorofilas a, mayores en 2017 en casi todos los portainjertos, siendo la media en 2017, 11,9^a mg/l superior a 2015, con 9^b mg/l y a 2016, con 5,8^c mg/l que presenta menor contenido. Los factores que han podido influir en esta menor cantidad de clorofila a serían la ausencia de fertilización de hierro,

en 2015 y 2016 en comparación con 2017 y el aumento de lluvias en abril y mayo de 2016 (114 litros vs 37 litros en 2015 y 43 litros en 2017) que aumenta la solubilización del carbonato del suelo, dificultando la toma de hierro (Tagliavini y Rombolà, 2001).



Figuras 78. Gráficos de barras de a) clorofila a; b) clorofila b; c) clorofilas a+b (mg/l) en Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo portainjerto para alfa 0,05 según el test de Tukey.

En la figura 78b se aprecia cómo la clorofila b es mayor en 2015 en todos los portainjertos en los que se encuentran diferencias. 2015 con 6^a mg/l es el año con mayor valor, superior que 2017, con 4,5^b mg/l y que 2016 con 2,8^c mg/l.

En cuanto a las clorofilas a+b, la figura 78c muestra como en 2017 son mayores que en 2016 en todos los portainjertos en los que se encuentran diferencias. En 2015 los valores de clorofila a+b en 1613C, 161-49C, Freedom, Salt Creek, 5C y 140Ru son también mayores que en 2016. Se aprecian diferencias globales entre 2016 con 8,6^b mg/l, en comparación con 2015 y 2017, con 15^a y 16,4^a mg/l respectivamente. La distribución de clorofilas en 78a y 78b muestra cómo el elevado nivel de clorofila a+b de 2017 se debe, en buena parte, a los altos contenidos de clorofilas a, mientras en 2015 se debe a altos niveles de clorofilas b, que no aportan energía foto asimilable, siendo esta una función exclusiva de la clorofila a que forma los centros de los fotosistemas de los cloroplastos en las plantas (Openstax, 2013). Por tanto, se supone mayor función fotosintética para 2017 que para 2015 a igual nivel de clorofilas a+b, debido a la diferencia de proporción de clorofila a. En resumen, se aprecia cómo el Tempranillo en estas condiciones responde a la fertilización en todos los portainjertos, en la mayoría con diferencias significativa, aumentando la clorofila a y total en la floración de 2017.

4.2.2.3. Vigor

En la figura 79 se muestran los resultados para el análisis de la **MADERA DE PODA** del Tempranillo sobre los portainjertos para cada año; 2015, 2016 y 2017 y para el período 2015-2017.

En el año **2015** se observa como los portainjertos 41B y Gravesac producen un peso mayor en madera de poda (1,37 y 1,35 kg/cepa respectivamente) que los portainjertos 1613C y Dog Ridge (0,66 y 0,69 kg/cepa, respectivamente). El resto de portainjertos presentan valores de poda intermedios. Un peso de poda adecuado para obtener uva de calidad se encuentra entre 0,8-0,3 kg/cepa, por lo cual se estima que se tienen valores altos en general de peso de poda, lo cual es habitual en los viñedos jóvenes (Martínez de Toda, 2008).

En **2016** el portainjerto Gravesac produce mayor peso de poda que Dog Ridge, 1613C y 161-49C con los menores pesos de poda media. Además, 41B y 140 Ru inducen más peso de poda que 161-49C. Se encuentran valores de poda más adecuados y más diferencias entre portainjertos que en 2015.

En **2017**, los portainjertos Gravesac, 140Ru y 41B presentan mayor peso de poda que 161-49C, Dog Ridge y 1613C. 161-49C induce un peso de poda menor que la mayoría de portainjertos.

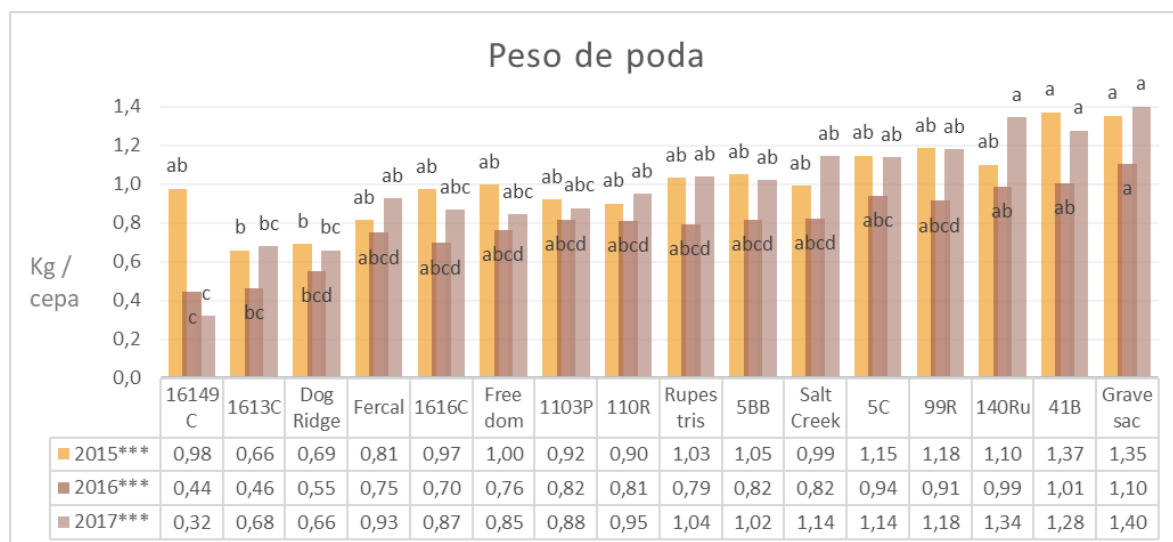


Figura 79. Diagrama barras de los pesos de poda (kg/cepa) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo año para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA *** $\leq 0,001$.

En el estudio plurianual del período 2015 a 2017 (figura 80), los portainjertos Gravesac y 41B producen pesos de poda mayores que 1,2 kg/cepa y presentan diferencias con los pesos de poda de 1616C, Fercal, Dog Ridge, 1613C y 161-49C, menores que 0,85 kg/cepa. Gravesac también produce mayor peso de poda respecto a 110R, 1103P y Freedom. Por tanto, se aprecia un peso de poda diferente del Tempranillo dependiendo del portainjerto en el que esté injertado, siendo muy alto con Gravesac y 41B y medio con 161-49C, cuya evolución de peso de poda es de disminución en el periodo interanual.

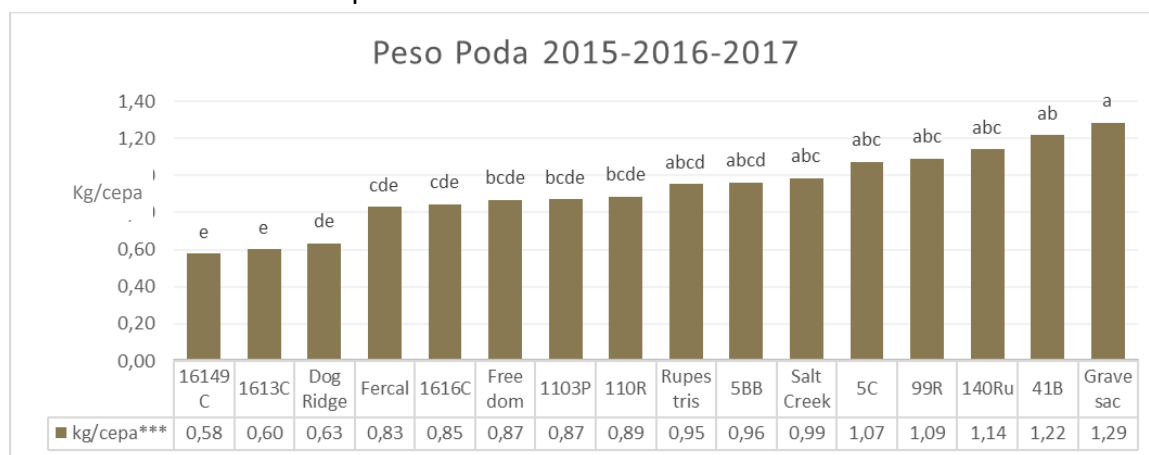


Figura 80. Diagrama de barras de los pesos de poda medios (kg/cepa) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA *** $< 0,001$.

El análisis de la SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA (SFE) se ha realizado para cada año por separado y luego un análisis plurianual.

En el año 2015 (figura 81), los portainjertos que inducen una mayor SFE en Tempranillo son 41B, Gravesac y 5C con una pared vegetal entorno a los 10000 m²/ha mayores que el 1613C, con una pared media de entorno los 7000 m²/ha. Se valora que la SFE para obtener vinos de calidad está en un máximo de 8000-10000 m²/ha (Martínez de Toda, 2008).

En el año **2016**, el portainjerto 41B con casi 10000 m²/ha induce una SFE mayor que 1616C, 1613C y 161-49C. El portainjerto 161-49C confiere al Tempranillo una SFE inferior que la mayoría de portainjertos Freedom, 110R, Rupestris, 5BB, 99R, Fercal, 1103P, Salt Creek, 140Ru, Gravesac y 41B. El portainjerto 1613C también produce menor SFE que Fercal.

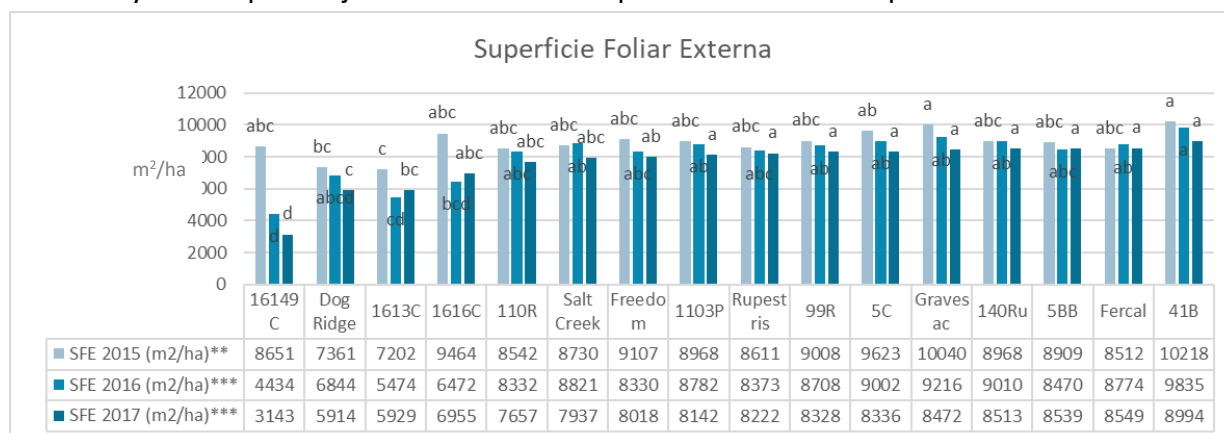


Figura 81. Diagrama de barras de las Superficie Foliar Expuesta (m²/ha) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015, 2016 y 2017**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo año, alfa 0,05 test de Tukey. Significación del ANOVA **≤0,01; ***≤0,001.

En **2017**, el portainjerto 161-49C sostiene un desarrollo de SFE del Tempranillo menor que resto de portainjertos. Entre los demás portainjertos se diferencia un grupo de vigor alto formado por 41B, Fercal, 5B, 140Ru, Gravesac, 5C, 99R, Rupestris y 1103P con SFE entre los 9000 y los 8000 m²/ha que son significativamente superiores que Dog Ridge y 1613C.

En el estudio **interanual**, (figura 82) el grupo con mayor SFE formado por 41B, Gravesac, 5C, 140Ru, 99R, 1103P, Fercal, Salt Creek, Freedom, Rupestris y 110R, con SFE mayores de 8000 m²/ha se diferencia de Dog Ridge, 1613C y 161-49C con SFE menores de 7000 m²/ha. 41B, cercano a los 10000 m²/ha tiene una SFE superior a 1616C, Dog Ridge, 1613C y 161-49C.

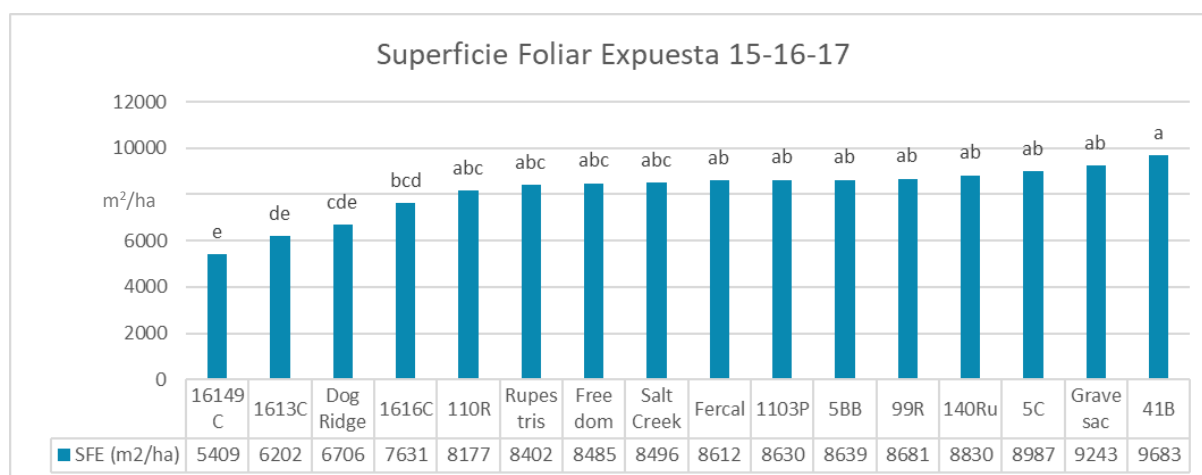


Figura 82. Diagrama de barras de las Superficie Foliar Expuesta media (m²/ha) de Tempranillo sobre 16 portainjertos entre los años **2015, 2016 y 2017**. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey. Significación del ANOVA ***≤0,001.

El análisis del **ÍNDICE DE RAVAZ** se realiza cada año por separado y luego análisis plurianual. Se observa la evolución en la figura 83, evaluando el equilibrio entre la fase productiva y el vigor. Los valores estimados como óptimos están alrededor entre 4 y 7 (García

Escudero et al., 1991) valores más altos se refieren en general a plantas con muy alta producción para su vigor y valores muy bajos muestran un vigor excesivo para su producción.

En **2015 y 2016** no se encuentran diferencias significativas entre portainjertos. En el año **2017** se observa que el tratamiento 161-49C muestra valores del índice de Ravaz significativamente mayores al 90% del índice de Ravaz que los portainjertos 99R y 1616C, pero no significativos al 95%.

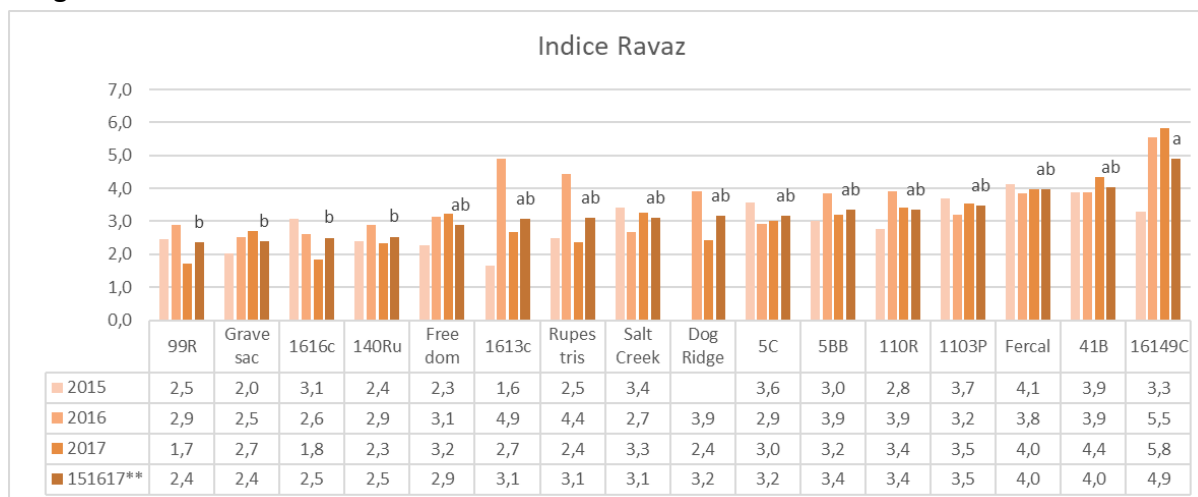


Figura 83. Gráfico de barras del índice de Ravaz de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015, 2016 y 2017 y plurianual**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo año para alfa 0,05 según el test de Tukey. Nivel de significación del ANOVA ****≤0,01**.

En un estudio del período **plurianual** de 2015- 2016 - 2017 se observa que el portainjerto 161-49C con un valor del índice de Ravaz 4,89 es significativamente mayor que los portainjertos 99R, Gravesac, 1616C y 140Ru. En general, los valores del índice de Ravaz son bajos al ser una plantación joven. El grupo de índices Ravaz más bajos en los que se encuentran desequilibrios es debido en algunos casos a su alto valor de madera de poda, como en el caso de 140 Ru, Gravesac y 99R o a su baja producción, como 1616C.

4.2.2.4. Radiometría e Índices Vegetales

A partir de los datos radiométricos de las medidas de 2014, 2015, 2016 y 2017 se obtuvieron las firmas espectrales para Tempranillo injertado en los 16 portainjertos. Se puede observar una comparación de estas firmas espectrales en la figura 84. En la región del visible (entre 400 y 700 nm), la respuesta espectral de la vegetación está caracterizada por el papel fundamental que desempeñan los pigmentos de la hoja en la absorción de la energía. La absorción está gobernada principalmente por la estructura interna, esto es, composición, concentración y distribución de los pigmentos (las clorofilas, carotenos, xantofilas...). De ellos, el más importante es la clorofila, que es responsable de dos bandas de absorción, una en el azul (400-500 nm) y otra en el rojo (en torno a 600-700 nm). Esto se traduce en un máximo de reflectancia en torno a los 550 nm y coloraciones verdes o amarillentas según la reflectancia en esta zona y en la región del espectro que implica la absorción de energía. En la reflectancia de la región del infrarrojo cercano (entre 800 y 1100 nm) el factor decisivo es la estructura interna de la hoja, concretamente el mesófilo esponjoso, es el responsable de la elevada reflectancia que

se observa en todas las gráficas en esta zona (Alonso et al., 1999) y el salto desde el rojo es menor cuando se encuentra en mejor estado, como se observa en la evolución del 2014 al 2017, con mejor estado vegetativo general (figura 84). Las figuras 139 y 140 del anexo representan las firmas espectrales del Tempranillo sobre 16 portainjertos a lo largo de la experimentación, donde se puede ver cómo se comportan las firmas espectrales del Tempranillo conforme mejora el estado vegetativo agrupados por meses (figura 139) y por portainjertos (figura 140).

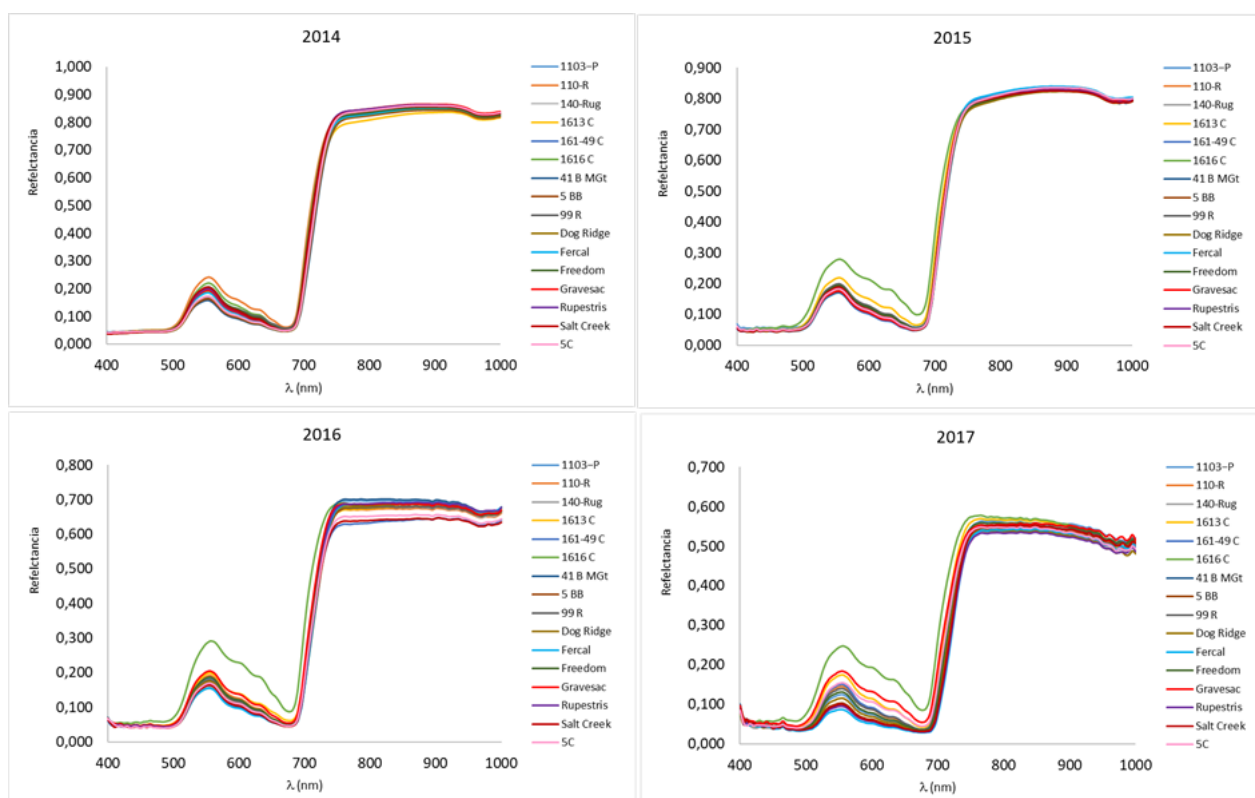


Figura 84. Firmas espectrales de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes en 2014, 2015, 2016 y 2017.

A partir de base de datos depurada con las medidas radiométricas, se determinaron los índices de vegetación (Henrich, 2012 and 2009), cuyas fórmulas matemáticas se adjuntan en la tabla 63 del anexo. Los valores de R y R² de los IVs con respecto el SPAD se ordenaron en función de su grado de correlación con el índice SPAD. Inicialmente se determinaron 208 índices de vegetación. Se discriminaron 103 índices de vegetación con una correlación frente al SPAD alta ($R > |0,5|$) y de entre ellos se seleccionan los veinte mejores, como se puede ver en la tabla 31.

Tabla 31. Índices de vegetación con su correlación R Pearson frente al SPAD en periodo 2014-2017.

	R Pearson	R Pearson	R Pearson	R Pearson			
MND750_705	0,879	SR800_550	0,822	SB555	-0,749	NDVI	0,589
reNDVI	0,878	SR801_550	0,821	SB550	-0,747	SB660	-0,587
NDVI705	0,876	Vog3	0,820	MCARI_OSAVI	-0,736	ND782_666	0,581
Ctr4	-0,873	PBI	0,819	PSNDb2	0,732	ND900_680	0,580
Maccioni	0,872	MTCI	0,819	Ctr3	-0,728	ND800_680	0,579
NDRE	0,871	GNDVIhyper2	0,819	TCI	-0,724	ND570_539	-0,575
LCI	0,867	D1	0,816	SR520_760	-0,723	ND895_675	0,566
Datt1	0,867	SR860_550	0,813	IR550	0,722	ND827_668	0,566
SR706_750	-0,865	SR800_600	0,803	Datt6	0,715	PSNDA1	0,564
NDchl	0,861	SR550_760	-0,802	MCARI_OSAVI 2	-0,706	ND774_677	0,562
D2	-0,860	SR556_750	-0,800	PSSRb1	0,702	ND750_680	0,562
Vog1hyper	0,854	mSR2	0,796	FR2	-0,688	ND790_670	0,560
OSAVI2	0,852	SR550_800	-0,795	FR	-0,681	PPR	-0,559
MSR705	0,850	SR542_750	-0,794	SB640	-0,679	MSR670	0,558
Datt2	0,836	SR695_800	-0,792	MCARI	-0,675	BGI	0,557
DD	0,835	Ctr2	-0,791	BB2	-0,667	mNDVI	0,553
Vog2	-0,834	SR750_705	0,789	Ctr5	-0,665	PRI531_570	0,551
MD734/747/715/720	0,831	TCARI_OSAVI	-0,784	PSNDb1	0,657	PRI570_531	-0,551
SR860_708	0,830	SB700	-0,780	SR833_658	0,655	SR685_735	-0,550
Chl	0,828	SR700	-0,780	NDVI750_650	0,650	YI	-0,544
SR750_555	0,828	SR800_635	0,777	ND833_658	0,633	TCARI2	-0,528
SR750_550	0,828	SR694_840	-0,776	Datt4	0,627	SB670	-0,522
Clrededge710	0,824	SB703	-0,775	TCARI_OSAVI705	-0,621	SB675	-0,521
SR750_710	0,824	Datt3	0,773	ND750_660	0,611	BB1	-0,517
NDVIg	0,824	SB705	-0,766	SB655	-0,609	SR678_750	-0,504
GNDVIhyper	0,823	TCARI	-0,751	SB720	-0,609	PSNDC1	0,491

De entre todos los IVs, evaluados de forma global para todos los tipos de portainjertos, los tres mejor correlacionados con el SPAD fueron el MND 750_705, reNDVI y NDVI705, coincidiendo con la consideración que tienen de ser sensibles al contenido en clorofila (Hunt y Daughtry, 2011 y The IDB Project, 2018). Estos índices son de aplicación en vegetación en general y pueden ser utilizados en 21 sensores, como Sentinel 2, ARIES-1, CASI spectral, Hyperion o WorldView2. Sus expresiones matemáticas son:

$$\text{MND 750/705 Modified Normalized Difference: } \frac{750\text{nm} - 705\text{nm}}{750\text{nm} + 705\text{nm} - 2 * 445\text{nm}} \quad (\text{Main et al,2011})$$

$$\text{NDVI 705, Normalized Difference 750/705 Chl NDI: } \frac{750\text{nm} - 705\text{nm}}{750\text{nm} + 705\text{nm}} \quad (\text{Main et al, 2011})$$

$$\text{reNDVI, Normalized Difference 750/710 Red Edge: } \frac{750\text{nm} - 710\text{nm}}{750\text{nm} + 710\text{nm}} \quad (\text{Ahamed et al, 2011})$$

En la figura 85 se muestran la correlación (R²) entre el valor del cada IV y el del SPAD. Inicialmente se realizó la correlación lineal, aunque en algunos casos es posible aplicar otro tipo. Estos resultados muestran la capacidad de los IVs para estimar el índice SPAD, que a su vez está relacionado con el contenido en clorofilas (Uddling et al.,2007).

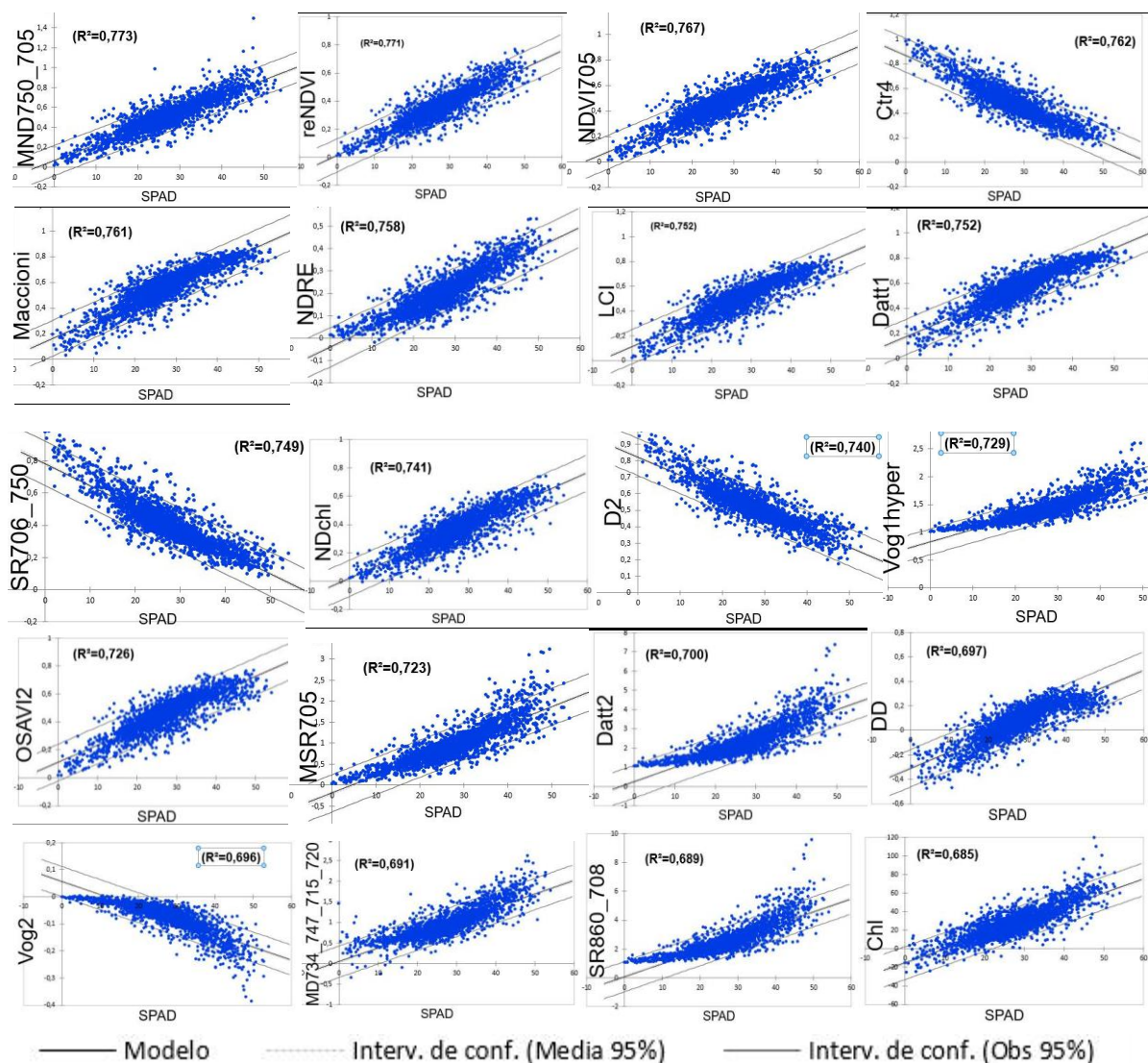


Figura 85. Gráficas de la regresión de los 20 IV mejor relacionados con el SPAD con coeficientes R^2

Tomando como referencia las firmas espectrales de vegetación, los valores de longitud de onda que aparecen en los 20 IVs mejor correlacionados con el SPAD (Tabla 32) mayoritariamente se centran en las zonas del espectro electromagnético propias del Red Edge (690 nm-730 nm) y en los primeros valores del infrarrojo cercano (700-1300 nm) una vez estabilizada la curva de reflectancia.

Tabla 32. Valores de longitud de onda de los 20 IVs mejor relacionados con el SPAD. Los números entre paréntesis indican el número de IVs que incluyen esa longitud de onda en sus expresiones matemáticas.

ZONA DEL ESPECTRO	LONGITUDES DE ONDA Y NÚMERO DE ÍNDICES EN LOS QUE APARECEN
RGB (Red-Green- Blue)	445 (1), 550 (2), 555 (1), 600 (1), 680 (2)
Red-Edge	705 (3), 706 (1), 708 (1), 710 (7), 715 (2), 720 (2), 722 (1), 726 (1)
NIR (Near Infra Red)	734(2), 747(2), 750 (7), 760(1), 780(2), 790(1), 800(1), 850(3), 860(1),925 (1)

Este resultado es lógico puesto que la zona del Red Edge es sensible a las diferencias en la estructura de la hoja y al contenido en clorofila; siendo útil para la evaluación de la concentración de clorofila de la planta y el Índice de Área Foliar y, por lo tanto, el estado nutricional (Filella y Penuelas, 1994). Por su parte la zona del infrarrojo cercano (NIR) está relacionada con la estructura de la hoja; siendo útil en el análisis del estrés hídrico o contenido de biomasa (Chuvieco, 2010). Una aplicación de este resultado es que en futuros ensayos las mediciones con los radiómetros se pueden centrar en dichos valores, simplificando los trabajos.

Para analizar la influencia de los diferentes años en la relación entre los IVs y los valores experimentales de SPAD, se muestran en la tabla 33 los datos totales de su correlación usando sus coeficientes de determinación (R^2) totales para todo el periodo (2014 – 2017) y para cada año, señalándose en cada caso las tres mejores.

Tabla 33. Coeficientes de determinación de los índices de vegetación seleccionados para el periodo global y años 2014-2017. Coloreados los tres mejores IV para cada periodo.

ÍNDICES	R ² 2014-2017	R ² 2014	R ² 2015	R ² 2016	R ² 2017
MND750/705	0,773	0,807	0,764	0,797	0,717
reNDVI	0,771	0,798	0,757	0,798	0,725
NDVI705	0,767	0,802	0,763	0,800	0,722
CTR4	0,762	0,799	0,760	0,785	0,732
MACCIONI	0,761	0,800	0,755	0,775	0,737
NDRE	0,758	0,791	0,734	0,723	0,724
LCI	0,752	0,752	0,755	0,759	0,727
Datt1	0,752	0,801	0,749	0,762	0,730
SR706_750	0,749	0,794	0,758	0,785	0,721
NDchl	0,741	0,805	0,749	0,756	0,709
D2	0,740	0,796	0,760	0,783	0,704
Vog1hyper	0,729	0,729	0,721	0,767	0,674
OSAVI2	0,726	0,796	0,762	0,804	0,700
MSR705	0,723	0,790	0,747	0,790	0,654
Datt2	0,700	0,764	0,702	0,719	0,652
DD	0,697	0,791	0,731	0,774	0,689
Vog2	0,696	0,747	0,684	0,706	0,655
MD734_747_715_720	0,691	0,747	0,599	0,642	0,661
SR860_708	0,689	0,764	0,703	0,723	0,638
CHL	0,685	0,797	0,739	0,544	0,676

En base a estos resultados se observa homogeneidad en los valores, entre los años. Además, hay regularidad en los índices que resultan mejores, siendo MND750_705, reNDVI, NDVI705 y OSAVI 2 repetidos en varias ocasiones.

Para valorar la influencia de los portainjertos en estas correlaciones se calculan los IVs por separado para cada portainjerto para todo el periodo estudiado (tabla 34). Del estudio de la tabla 34 se observa como el índice MND750_705 es el mejor en una mayoría de portainjertos, excepto en 1103P, 41B, 5BB y 99R cuyo índice óptimo parece ser NDRE. El portainjerto 161-49C presenta un índice óptimo singular que no comparte con ningún otro portainjerto, el índice D2. Esto se corresponde con el comportamiento diferenciado de este portainjerto en el aspecto vegetativo. Este índice D2 es el ratio entre la banda 705 nm/722 nm, dos medidas del red Edge cuyo punto de inflexión se encuentra desplazado en este portainjerto y que ponen de manifiesto la importancia de la componente estructural en este portainjerto, coincidiendo con su tendencia

a la tilosis y enfermedades vasculares en los primeros años de implantación (© UMT Génovigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015).

Tabla 34. Correlaciones R^2 entre 20 IV y el SPAD para diferentes portainjertos. Las tres mejores R^2 en color.

INDICES	1103P	110R	140RU	1613C	16149C	1616C	41B	5BB	99R	Dog Ridge	Fercal	Freedom	Gravesac	Rupestris	Salt Creek	5C
MND750_705	0,706	0,737	0,762	0,748	0,397	0,719	0,747	0,721	0,733	0,742	0,793	0,642	0,788	0,820	0,859	0,745
reNDVI	0,701	0,721	0,741	0,741	0,465	0,715	0,744	0,795	0,755	0,732	0,764	0,629	0,764	0,782	0,842	0,734
NDVI705	0,689	0,719	0,731	0,738	0,472	0,714	0,724	0,787	0,741	0,726	0,761	0,631	0,757	0,776	0,833	0,736
CTR4	0,699	0,715	0,716	0,734	0,457	0,709	0,744	0,786	0,732	0,722	0,763	0,621	0,761	0,774	0,836	0,730
MACCIONI	0,708	0,704	0,698	0,742	0,438	0,697	0,780	0,787	0,736	0,724	0,761	0,616	0,768	0,782	0,839	0,723
NDRE	0,709	0,682	0,735	0,731	0,438	0,673	0,783	0,796	0,765	0,729	0,760	0,611	0,764	0,783	0,841	0,714
LCI	0,693	0,691	0,706	0,726	0,443	0,686	0,735	0,779	0,730	0,707	0,749	0,599	0,763	0,745	0,821	0,724
Datt1	0,704	0,680	0,687	0,738	0,424	0,671	0,786	0,779	0,735	0,714	0,748	0,602	0,767	0,765	0,832	0,710
SR706_750	0,683	0,711	0,708	0,724	0,464	0,705	0,726	0,774	0,732	0,715	0,759	0,620	0,741	0,765	0,830	0,723
NDchl	0,699	0,582	0,683	0,716	0,429	0,646	0,774	0,784	0,748	0,680	0,731	0,584	0,772	0,716	0,823	0,692
D2	0,654	0,702	0,706	0,712	0,473	0,705	0,667	0,756	0,702	0,697	0,733	0,613	0,726	0,741	0,806	0,718
Voglhyper	0,679	0,715	0,750	0,713	0,460	0,687	0,736	0,744	0,753	0,716	0,731	0,607	0,706	0,768	0,817	0,687
OSAVI 2	0,646	0,660	0,654	0,708	0,444	0,709	0,648	0,730	0,704	0,655	0,687	0,586	0,729	0,703	0,801	0,709
MRS705	0,652	0,717	0,737	0,719	0,462	0,705	0,689	0,704	0,738	0,701	0,702	0,605	0,713	0,747	0,788	0,683
Datt2	0,668	0,653	0,743	0,698	0,440	0,664	0,761	0,700	0,756	0,696	0,709	0,586	0,704	0,741	0,811	0,652
DD	0,668	0,661	0,601	0,691	0,453	0,598	0,657	0,670	0,678	0,645	0,621	0,580	0,706	0,671	0,806	0,685
Vog 2	0,665	0,679	0,737	0,678	0,428	0,649	0,758	0,729	0,743	0,693	0,722	0,589	0,668	0,765	0,807	0,650
MD734/747/715/720	0,627	0,662	0,715	0,667	0,371	0,442	0,775	0,776	0,721	0,667	0,724	0,560	0,676	0,767	0,815	0,633
SR860_708	0,667	0,649	0,740	0,692	0,448	0,662	0,756	0,677	0,750	0,688	0,681	0,590	0,696	0,737	0,806	0,644
Chl	0,624	0,629	0,601	0,624	0,257	0,631	0,729	0,675	0,690	0,679	0,700	0,505	0,640	0,759	0,760	0,636

Para valorar el comportamiento de los IVs con respecto a cada portainjerto se seleccionan aquellos IVs que mejor correlacionan con el SPAD, y se realiza un análisis de la varianza (ANOVA de un factor) con los valores de los índices MND 750_705, reNDVI, NDVI 705, NDRE y D2 incluyendo el portainjerto como variable independiente.

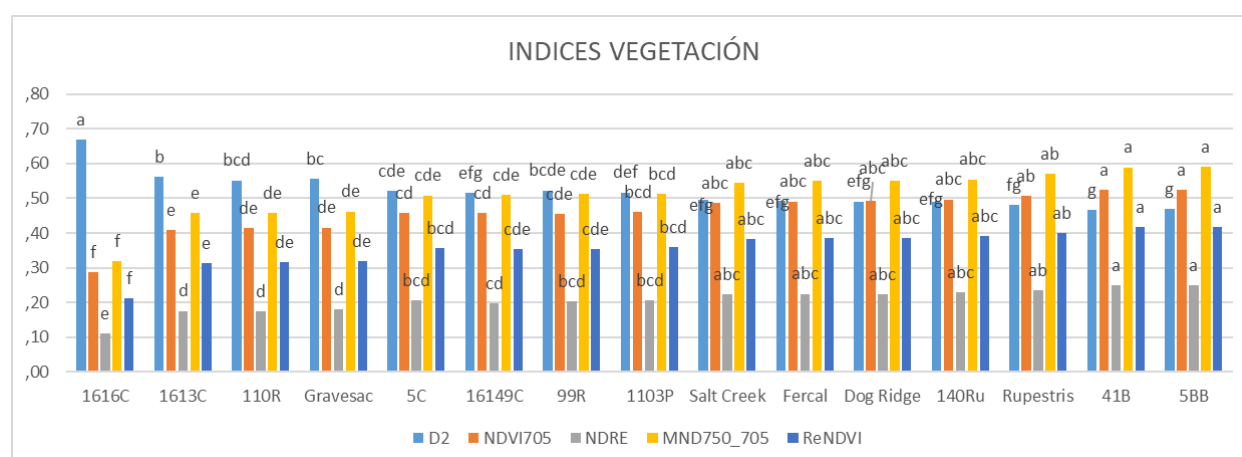


Figura 86. Diagrama de barras del comportamiento de distintos índices de vegetación según el portainjerto. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey $\alpha < 0,05$ comparables dentro de un mismo índice.

En la figura 86 se aprecia como 1616C muestra los peores valores en todos los índices, ya que como muestran las rectas de regresión de la figura 85, el índice de vegetación D2 tiene un coeficiente de determinación negativo, por tanto, mayores valores de D2 tienen menores valores de SPAD asociados. Le sigue con diferencias significativas en todos los índices 1613C que se separa de los portainjertos mejor valorados por los índices de vegetación, que son 5BB, 41B y Rupestris que se separan dependiendo del índice, de los portainjertos con valores bajos. Se aprecia por tanto una aplicación de los índices de vegetación en la gestión de viñedos con distintos portainjertos, principalmente cuando estos presentan un nivel de adaptación al entorno muy diferente.

Para valorar la relación entre los IVs radiométricos y los parámetros de calidad y producción, se calculan los índices de correlación de Pearson (tabla 35). Se calculan con los 20 mejores IVs de radiometría de floración y envero (respecto a su correlación con el SPAD tabla 29) y de algunos de los más utilizados en la bibliografía como TCARI/OSAVI (Martin et al, 2005).

Tabla 35. Cuadro de correlaciones de Pearson de parámetros vitícolas con índices radiométricos en los estados fenológicos de floración e inicio de envero. Todas las correlaciones son significativas al 99% excepto las indicadas con * que lo son al 95% (2 colas).

		<table border="1"> <tr> <td style="background-color: red; color: white;"> R > 0,7</td> </tr> <tr> <td style="background-color: orange; color: white;"> R > 0,5</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow; color: black;"> R > 0,3</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightblue; color: black;"> R > 0,1</td> </tr> </table>																R > 0,7	R > 0,5	R > 0,3	R > 0,1					
R > 0,7																										
R > 0,5																										
R > 0,3																										
R > 0,1																										
		PESO 100	GRADO	PH	ACIDEZ T	MALICO	I.M.	POTASIO	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep	AP	AFE	Vol 100	peso_racim	nº rac/cep	nº bay/rac	Peso cepa	Producción				
FLORACIÓN RADIOMETRIA	Ctr4		,44	,62			,26	,31	,25	,31	,30				,26	,31	-,49	-,40		-,25	-,17*	-,19*				
	D2		,42	,63			,27	,29	,25	,29	,28				,25	,29	-,50	-,39		-,24	-,17*	-,18*				
	Datt1		-,44	-,62			-,26	-,30	-,26	-,31	-,33			,190*	-,28	-,34	,46	,39		,25		,17*				
	Datt2		-,46	-,60			-,21*	-,33	-,28	-,35	-,32				-,28	-,33	,44	,41		,29	,17*	,19*				
	DD		-,41	-,62	,17*		-,33	-,25	-,22	-,24	-,30			,20*	-,30	-,31	,46	,34		,24		,18*				
	MD734		-,42	-,58			-,24	-,31	-,24	-,29	-,33			,21*	-,26	-,33	,42	,38		,25	,18*	,20*				
	MND750705		-,41	-,57			-,29	-,25	-,23	-,28	-,32			,20*	-,27	-,33	,45	,38		,24	,18*	,19*				
	NDchl		-,48	-,64			-,20*	-,36	-,30	-,37	-,35			,17*	-,30	-,36	,46	,42		,28		,17*				
	NDRE		-,46	-,61			-,24	-,32	-,27	-,34	-,33			,17*	-,28	-,34	,45	,41		,28	,17*	,19*				
	NDVI705		-,43	-,62			-,27	-,30	-,25	-,30	-,29				-,26	-,30	,49	,40		,25	,17*	,19*				
	reNDVI		-,44	-,62			-,27	-,30	-,25	-,30	-,29				-,26	-,30	,48	,40		,26	,18*	,19*				
	SR706/750		,42	,63			,28	,29	,24	,29	,29				,25	,30	-,49	-,39		-,24	-,17*	-,18*				
	SR750/555		-,43	-,63			-,19*	-,32	-,24	-,32	-,24				-,24	-,25	,45	,39			,27					
	Vog1hyper		-,43	-,58			-,27	-,28	-,24	-,30	-,30				-,26	-,30	,45	,40		,27	,18*	,20*				
	Vog2		,45	,60			,22	,32	,24	,31	,31			-,17*	,26	,32	-,41	-,40		-,30	-,17*	-,19*				
	Maccioni		-,43	-,61			-,28	-,29	-,25	-,29	-,31			,18*	-,26	-,32	,48	,39		,25	,17*	,19*				
	LCI		-,47	-,65			-,23	-,34	-,28	-,34	-,32				-,28	-,33	,48	,40		,26		,17*				
MSR705		-,43	-,61			-,26	-,29	-,25	-,31	-,28				-,25	-,29	,48	,40		,27	,18*	,19*					
Chl		-,38	-,40			-,23	-,25	-,32	-,47	,178*	,25	,37	-,36	-,47	,18*	,29	,24		,24							
OSAVI2		-,41	-,65			-,28	-,30	-,23	-,28	-,22				-,21*	-,23	,53	,40		,24	,17*	,18*					
TCARI/OSAVI		,39	,48			,19*	,27	,27	,32	,46		-,23	-,36	,38	,46	-,29	-,31		-,23							
ENVERO RADIOMETRIA	Ctr4				-,41	-,23	,43	-,21*			,178*	-,30	-,26		,171*				-,17*			-,22				
	D2				-,42	-,25	,44	-,24				-,34	-,27						-,17*			-,22*				
	Datt1				,41	,23	-,43	,19*			-,17*	,23	,22		-,167*				,19*		,17*	,24				
	Datt2		,17*		,44	,33	-,42	,33				,25	,17*						,23		,17*	,21*				
	DD				,30	-,39					-,32	,25	,31	-,28	-,32	,17*					,17*	,26				
	MD734		,19*		,43	,32	-,40	,34				,22	,17*						,24		,18*	,21*				
	MND750705				,42	,28	-,42	,30				,35	,26						,19*			,17*				
	NDchl				,39	,24	-,41	,19*				,17*	,18*						,18*			,22				
	NDRE				,41	,27	-,41	,26				,25	,21*						,21*		,17*	,22				
	NDVI705				,42	,26	-,44	,25					,26						,19*			,22				
	reNDVI				,43	,27	-,43	,27				,30	,24						,19*			,22				
	SR706/750				-,41	-,22	,44	-,20*				-,31	-,27									-,23				
	SR750/555		,17*		,44	,33	-,41	,33				,24								,23		,17*	,21*			
	Vog1hyper				,44	,31	-,42	,33				,28	,20*							,22		,17*	,21*			
	Vog2		-,18*		-,44	-,32	,41	-,34				-,26	-,18*							-,23		-,18*	-,21*			
	Maccioni				,41	,23	-,43	,20*				,26	,25							,18*			,24			
	LCI				,41	,24	-,43	,21*				,27	,24							,18*			,23			
MSR705		,29	,19*	,51	,43	-,45	,44	,25	,31		,27								,24			,20*				
Chl		,27	,22*	,42	,33	-,35	,38			,18*		,24							,20*							
OSAVI2				,39	,19*	-,44					-,23	,30	,29	-,18*	-,22							,17*	,25			
TCARI/OSAVI		-,19*		-,33	-,22*	,29	-,27				-,23	-,19*														

Se observa como las mejores correlaciones se obtienen entre los IVs de floración con el pH del mosto en los 20 índices obtenidos y se puede establecer como factor pronóstico en floración respecto a éste dato de vendimia, confirmando que un mejor estado vegetativo en floración favorece el mantenimiento de la acidez de la uva vendimiada. Además, se tienen correlaciones medias con grado y volumen de bayas, así como en antocianos y potasio, siendo NDchl el índice que mayores correlaciones obtiene con estos parámetros. En cuanto a los parámetros productivos la mejor correlación es con peso de racimo, indicando que buenos IVs en floración conducen a mejores pesos de racimo en vendimia. También se aprecia correlaciones

con número de bayas por racimo, indicando una tendencia a un mejor cuajado con un mejor IV en floración. Sin embargo, la correlación con producción y peso cepa es menos significativa, solo al 95%, indicando que otros factores son decisivos.

Los índices de vegetación radiométricos de envero resultan menos correlacionados con los parámetros de calidad, aunque se mantiene ese vínculo de los IVs con la acidez total y el índice de maduración, muy determinado por la acidez, y en algunos casos con el potasio e incluso IPT, especialmente con el MSR705. Con los parámetros de color y productivos las correlaciones son en su mayoría bajas al 95%. En todos los casos los índices correlacionan mejor que los más utilizados en bibliografía como OSAVI/TCARI.

Tabla 36. Cuadro de correlaciones de Pearson de índices radiométricos en los estados fenológicos de floración e inicio de envero con los parámetros nutricionales y vegetativos. Todas las correlaciones son significativas al 99% excepto las indicadas con * que lo son al 95% (2 colas).

		chl a	chl b	chl a+b	SPADflor	SPADfl+15	SPADguis	SPADenv	peso poda	SFE	SFE/Prod	I Ravaz	FLORACIÓN PECIOLAR										ENVERO PECIOLAR									
													N	B	Fe	Zn	Mn	P	K	Na	Ca	Mg	N	B	Fe	Zn	Mn	P	K	Na	Ca	Mg
FLORACIÓN RADIOMETRIA	Ctr4	-.34	-.42	-.40	-.89	-.45	-.36						.33	.28		.45	.35	.28		.34	.33			.33	-.36	.35						
	D2	-.34	-.44	-.41	-.89	-.45	-.35						.35	.28		.46	.35	.29		.34	.33			.32	-.37	.36						
	Datt1	.36	.40	.41	.89	.49	.39						-.29	-.26		-.45	-.34	-.26		-.31	-.32			-.32	.33	-.32						
	Datt2	.28	.37	.35	.84	.38	.29						-.27	-.26		-.40	-.37	-.24		-.36	-.32		.20*	-.36	.38	-.36						
	DD	.39	.45	.45	.87	.50	.36						-.29	-.21*		-.43	-.25	-.21*		-.21*	-.25			-.22	.27	-.29						
	MD734	.36	.38	.40	.85	.45	.40						-.24	-.25		-.46	-.35	-.25		-.28	-.31			-.32	.29	-.30						
	MND750705	.42	.40	.45	.92	.53	.45						.24	-.26	-.21*	-.40	-.28	-.26		-.24	-.28			-.25	.27	-.28						
	NDchl	.28	.36	.34	.84	.41	.32						-.27	-.29		-.45	-.40	-.27		-.37	-.34		.20*	-.40	.39	-.37						
	NDRE	.32	.38	.38	.87	.43	.34						-.28	-.26		-.42	-.36	-.25		-.33	-.33			-.34	.36	-.34						
	NDVI705	.35	.43	.41	.89	.44	.34						-.27	-.26		-.45	-.35	-.28		-.33	-.33			-.32	.37	-.36						
	reNDVI	.34	.43	.41	.88	.44	.34						-.28	-.27		-.43	-.35	-.27		-.34	-.33			-.32	.37	-.35						
	SR706/750	-.36	-.44	-.42	-.89	-.47	-.37						-.26	-.27		.46	.34	.28		.32	.33			.31	-.35	.35						
	SR750/555	.24	.43	.34	.81	.27	.19*						.31	-.37	.19*	-.33	.24		-.46	-.43	-.25	-.42	.18*	-.36	-.40	.45	-.40					
	Vog1hyper	.36	.41	.42	.88	.44	.35						-.29	-.24		-.39	-.32	-.23		-.30	-.30			-.29	.33	-.32						
	Vog2	-.30	-.38	-.37	-.83	-.39	-.29						-.26	.28	.25	.41	.35	.25		.33	.31			-.18*	.34	-.38	.34					
Maccioni	.37	.42	.43	.90	.49	.39						.25	-.30	-.26	-.44	-.33	-.27		-.30	-.32			-.32	.37	-.32							
LCI	.29	.40	.36	.86	.42	.32						.27	-.32	-.30	-.47	-.39	-.28		-.38	-.35			.19*	-.38	.40	-.37						
MSR705	.33	.43	.40	.88	.42	.32						.29	-.33	-.27	.17*			-.42	-.36	-.26	-.34	-.33		.17*	-.32	.37						
Chl	.40		.34	.77	.59	.56	.23					-.17*	.18*		-.43	-.30				-.33			-.26									
OSAVI2	.29	.48	.39	.85	.36	.26						.32	-.42	-.31	.27			-.46	-.39	-.28	-.41	-.36		.19*	-.35	.42						
TCARI/OSAVI	-.40	-.36	-.36	-.79	-.61	-.56	-.27						.41	.25		.37	.181*			.31	.24			.18*								
ENVERO RADIOMETRIA	Ctr4	-.58	-.44	-.35	-.75	-.77	-.75						-.27	.82	-.29	.47	-.44	.25		-.39	.74	-.24		-.17*	.34	-.47						
	D2	-.58	-.44	-.36	-.73	-.72	-.73						.28	-.24	.81	-.33	.43	-.42	.28		-.42			-.60	.72	-.23						
	Datt1	.60	.46	.37	.75	.81	.77						-.30	.24	-.79	.20*	-.45	.44	-.24		.31			.56	-.73	.21*						
	Datt2	.64	.50	.32	.71	.76	.79						-.24	.23	-.78	.26	-.43	.45	-.30		.37			.63	-.69	.22						
	DD	.44	.46	.37	.74	.74	.60						-.33	.17*	.28	-.70	.24	-.45	.39		.28			.42	-.65	.19*						
	MD734	.63	.48	.28	.68	.77	.80						-.24	.28	-.80	.25	-.46	.46	-.27		.37	.17*		.66	-.71	.24						
	MND750705	.56	.41	.31	.72	.73	.75						-.25	.29	-.83	.35	-.47	.43	-.29	.49				.64	-.73	.28						
	NDchl	.61	.48	.36	.74	.82	.77						-.28	.22	-.75	-.43	.44	-.23		.26				.53	-.70	.19*						
	NDRE	.61	.46	.32	.73	.79	.78						-.27	.28	-.81	.25	-.48	.45	-.25	.36				.62	-.73	.23						
	NDVI705	.59	.45	.35	.73	.75	.76						-.28	.26	-.83	.31	-.46	.44	-.28	.42				.62	-.74	.24						
	reNDVI	.60	.46	.34	.73	.76	.77						-.27	.27	-.83	.30	-.46	.44	-.27	.41				.62	-.73	.24						
	SR706/750	-.58	-.44	-.37	-.75	-.76	-.74						.30	-.26	.82	-.30	.45	-.44	.25	-.39				-.59	.74	-.23						
	SR750/555	.65	.51	.32	.70	.76	.79						-.23	.23	-.77	.25	-.42	.44	-.30	.36				.62	-.68	.21*						
	Vog1hyper	.62	.48	.32	.70	.75	.77						-.24	.26	-.80	.30	-.44	.44	-.29	.40				.64	-.70	.23						
	Vog2	-.64	-.50	-.30	-.69	-.76	-.79						.24	-.27	.79	-.28	.44	-.45	.28	-.39				-.65	.69	-.22						
Maccioni	.58	.44	.36	.76	.79	.76						-.30	.26	-.80	.24	-.46	.45	-.23	.35				.58	-.74	.22							
LCI	.60	.46	.36	.75	.78	.77						-.29	.25	-.82	.25	-.45	.44	-.26	.36				.59	-.74	.23							
MSR705	.65	.53	.29	.62	.66	.81	.19*					-.18*	-.74	.31	-.32	.38	-.38		.44				.64	-.64	.22*							
Chl	.63	.48	.24	.64	.72	.82						-.22*	.28	-.81	.26	-.48	.41	-.30	.38	.17*			.67	-.72	.24							
OSAVI2	.54	.41	.38	.76	.76	.69						-.30	.26	-.77	.29	-.44	.42	-.20	.36				.52	-.69	.21*							
TCARI/OSAVI	-.54	-.39	-.22*	-.64	-.73	-.77						.18*	.26	-.32	.81	-.24	.55	-.39	.25	-.36			-.61	.74	-.25							

Con respecto a los parámetros vegetativos (tabla 36), las mejores correlaciones están entre SPAD de floración y los IVs radiométricos de floración, y entre el SPAD de floración +15 días, guisante y envero y los IVs radiométricos de envero. La relación con la clorofila, sobre todo la clorofila a en envero es muy alta, aunque también se observan correlaciones con la concentración de clorofila total en ambos estados y la clorofila b en floración. Con respecto a la

superficie foliar externa (SFE) se aprecian correlaciones en floración y con SFE / Producción en envero, sin embargo, mucho menores que con las determinaciones vinculadas a las clorofilas.

En cuanto a los parámetros nutricionales, las correlaciones con los IVs son significativas (tabla 36), particularmente entre los datos de radiometría de envero y los resultados de los análisis peciolares de la misma fecha, encontrándose alta correlación entre el B, especialmente, y el N y el K en muchos de los índices de vegetación. Con el Fe las correlaciones son menores siendo más elevadas en floración y persistentes en todos los casos. Cabe destacar la correlación entre el B de floración y los índices radiométricos de envero, que persiste en los peciolares de envero y que indica que es un componente importante en el estado vegetativo de las vides en estos suelos calcáreos, cuyo papel merece ser investigado a la luz de estos resultados.

4.2.2.5. Teledetección con dron

Los índices de vegetación seleccionados de la base de datos (Henrich et al. 2012) a partir de los criterios de restricción del uso de la cámara Sequoia son los indicados en la tabla 37 y los que utiliza este estudio de teledetección con imágenes obtenidas con dron en cámara multiespectral.

Tabla 37. Índices de Vegetación seleccionados para utilizar en imagen de dron de cámara Sequoia.

NOMBRE DEL IV	EXPRESIÓN	BANDAS DE TRABAJO	Referencia
Enhanced Vegetation Index 2	$EVI2 = 2.4 \times \frac{(R_{790} - R_{660})}{(R_{790} + R_{660} + 1)}$	Desde 640 hasta 760 nanómetros y desde 780 hasta 1400 nanómetros (Zhangyan, 2008)	(Jiang, 2007)
Difference NIR/Green Green Difference Vegetation Index	$GDVI = R_{790} - R_{550}$	Desde 490 hasta 570 y desde 780 hasta los 1400 nanómetros (Tucker, 2008)	(Tucker, 1979)
Differenced Vegetation Index MSS	$DVIMSS = 2.4 \times (R_{790}) - (R_{660})$	Desde 600 hasta 700 y desde 800 hasta 1100 nanómetros (Bannari, 2010)	(Bannari, 1995)
Corrected Transformed Vegetation Index	$CTVI = \left(\frac{(R_{NDVI} + 0,5)}{ R_{NDVI} + 0,5 } \right) * \sqrt{ R_{NDVI} + 0,5 }$	Desde 490 hasta 570 y desde 640 hasta 760 nanómetros (Perry, 2010)	(Perry, 1994)
RDVI	$RDVI = (R_{790} - R_{660}) / (R_{790} + R_{660})^{0,5}$	670,800 nanómetros (Reujean and Breon 1995)	(Broge, 1995)
Green-Red NDVI	$GRNDVI = ((R_{790}) - (R_{550} + R_{660})) / ((R_{790}) + (R_{550} + R_{660}))$	Desde 490 hasta 570, desde 640 hasta 760 y desde 780 hasta 1400 nanómetros (Main, 2011)	(Main, 1997)

La relación de los índices de vegetación y la superficie estimada LAI (Leaf Area Index) para cada portainjerto se muestra en la figura 87. Los índices GDVI, CTVI, EVI2, DRVI y DVIMSS estiman la misma área mientras que el GRNDVI estima un área inferior para todos los portainjertos.

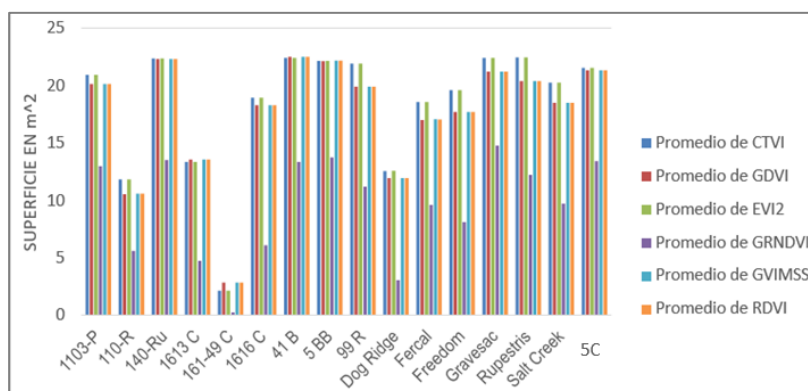
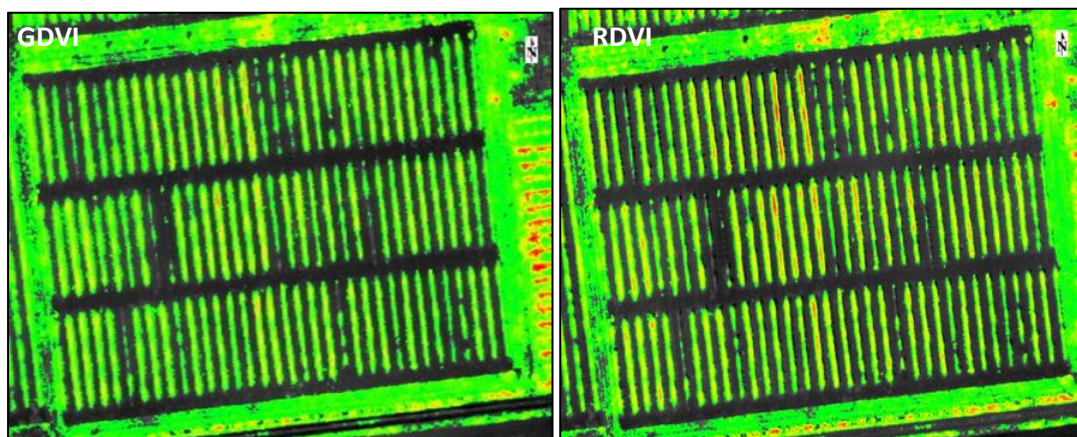


Figura 87. Relación de LAI e índices de vegetación calculadas con ENVI para cada portainjerto

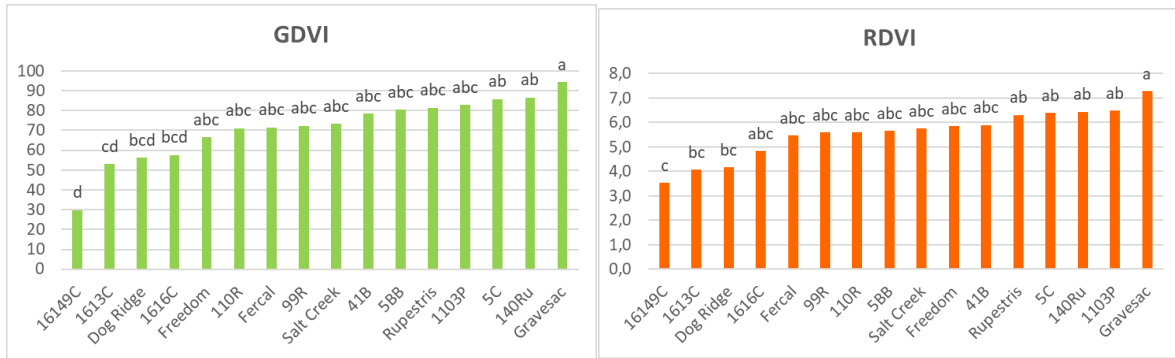
Estimación de los Índices de Vegetación sobre los portainjertos

El análisis de las imágenes obtenidas con la cámara multispectral Sequoia, con el software ENVI, permite obtener imágenes de los índices de vegetación seleccionados a través de la herramienta Math band, en la que se aplica la expresión matemática del índice elegido. En la figura 88 se muestra el resultado de la imagen resultante de la aplicación de los índices GDVI y RDVI.



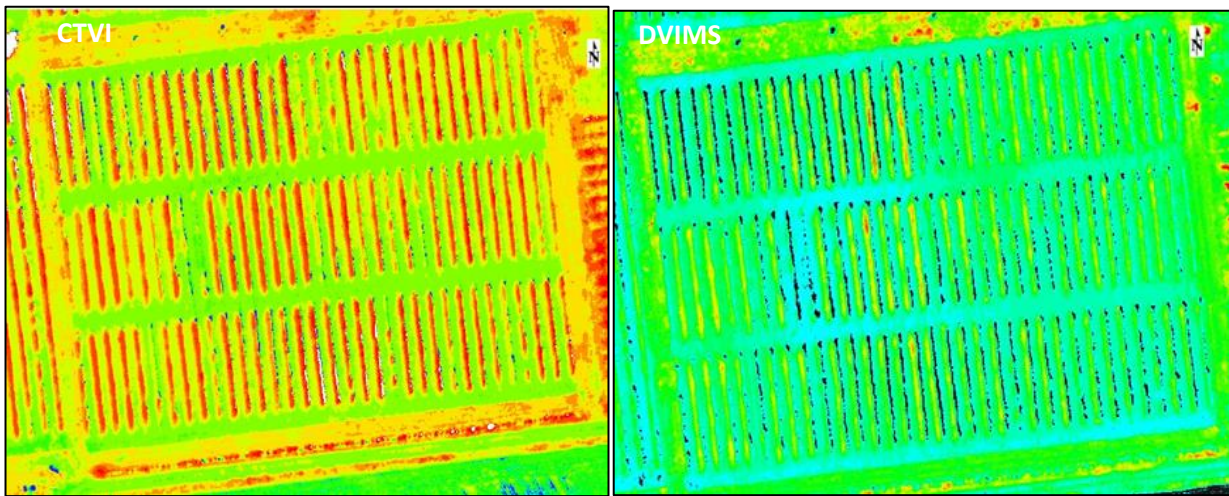
Figuras 88. Imágenes de índices de vegetación obtenidos mediante dron Sequoia y ENVI a) GDVI b) RDVI

El índice RDVI del Tempranillo sobre el portainjerto 161-49-C es menor que los injertados sobre los portainjertos Rupestris, 5C, 140Ru, 1103P y Gravesac, y en el caso GDVI también menor que el que se obtiene con 5BB y 41B. Gravesac presenta los mayores índices GDVI y RDVI, siendo mayores que los índices que se obtienen con 161-49C, 1613C, Dog Ridge y en el caso del índice RDVI también mayor que el obtenido con 1613C, como se puede ver en la figura 89.



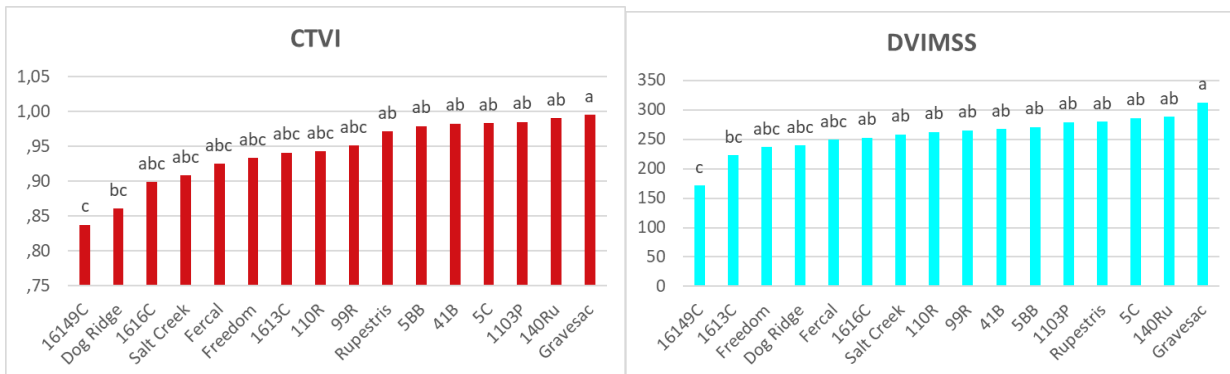
Figuras 89. Diagrama de barras de los índices a) GDVI y b) RDVI en Tempranillo sobre 16 portainjertos. Letras diferentes indican diferencias significativas post hoc de Tukey $\alpha=0,1$

En la figura 90 se muestra el resultado de la imagen resultante de la aplicación de los índices de vegetación CTVI y DVIMSS al aplicarla en la banda de Math Band del software ENVI.



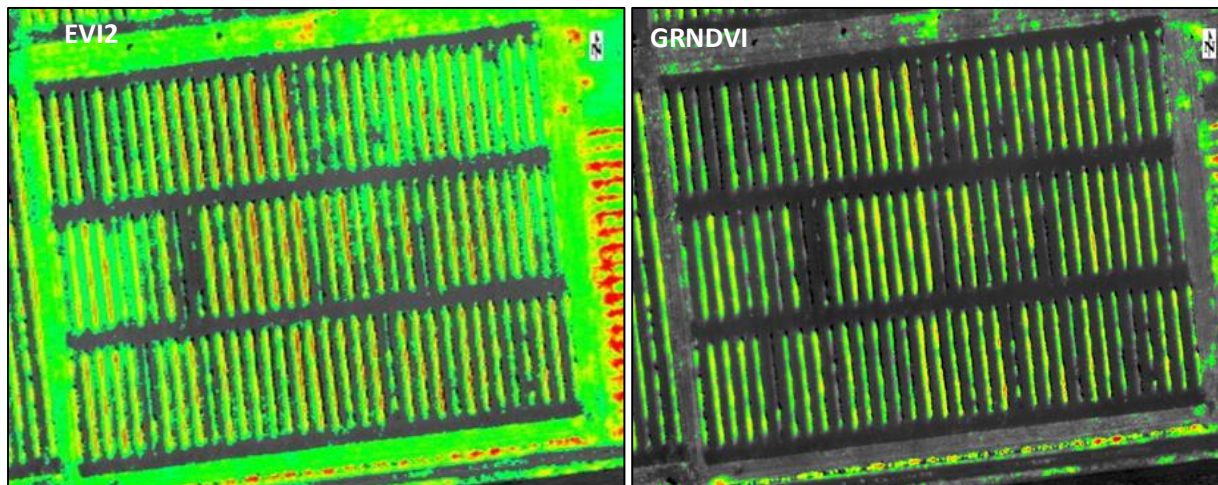
Figuras 90. Imágenes de los IVs obtenidos mediante dron Sequoia y ENVI a) CTVI y b) DVIMSS

En la figura 91 se puede ver cómo los índices de vegetación CTVI Y DVIMSS son diferentes para el Tempranillo según el portainjerto. Gravesac ofrece mayores índices CTVI y DVIMSS que 161-49C y también respecto a Dog Ridge en el caso de CTVI, y que 1613C en el caso de DVIMSS. El portainjerto 161-49C presenta menores índices CTVI y DVIMSS que Rupestris, 5BB, 41B, 5C, 1103P, 140Ru y Gravesac, y respecto a DVIMSS mayores también que 1616C, Salt Creek, 110R y 99R.



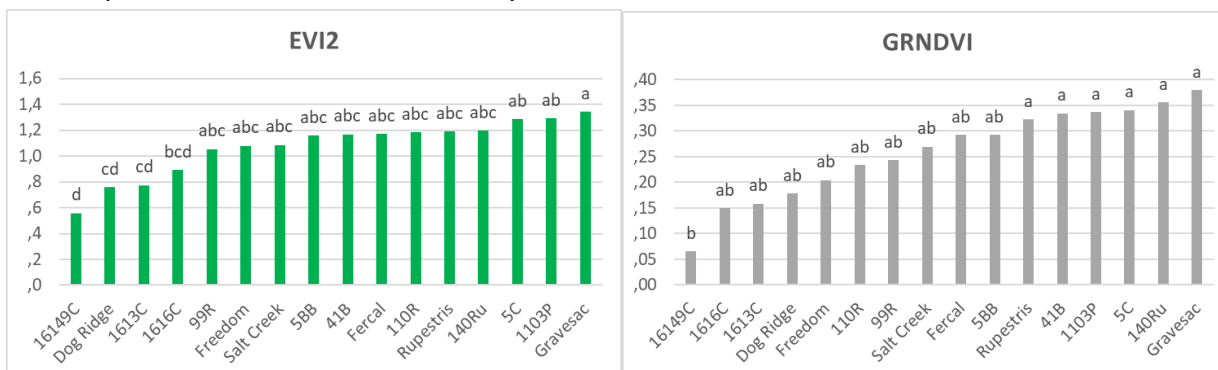
Figuras 91. Diagrama de barras de los índices a) CTVI y b) DVIMSS en Tempranillo sobre 16 portainjertos. Letras diferentes indican diferencias significativas post hoc de Tukey $\alpha=0,1$

En la figura 92 se muestra el resultado de la imagen resultante de la aplicación de los índices de vegetación EVI2 y GRNDVI al aplicarla en la banda de Math Band del software ENVI.



Figuras 92. Imágenes de los índices de vegetación obtenidos mediante dron Sequoia y ENVI a) EVI2 b) GRNDVI

En la figura 93 se pueden ver a la media ponderada para el índice de vegetación EVI2 y GRNDVI para el Tempranillo según los diferentes portainjertos. Igual que en el resto de índices Gravesac es el que mayor valor presenta en EVI2 respecto a 1616C, 1613C, Dog Ridge y 161-49C. Igualmente 161-49C muestra menor EVI2 que Gravesac, 1103P, 5C, 140Ru, Rupestris, 110R, Fercal, 41B, Salt Creek, Freedom, y 99R. El índice GRNDVI obtenido con 161-49C es menor que el de Rupestris, 41B, 1103P, 5C, 140Ru y Gravesac.



Figuras 93. Diagrama de barras de los índices a) EVI2 y b) GRNDVI en Tempranillo sobre 16 portainjertos. Letras diferentes indican diferencias significativas post hoc de Tukey $\alpha=0,1$

Correlaciones de los IVs dron frente a los parámetros experimentales

En la tabla 38, se puede ver los datos de correlación de Pearson entre los índices de vegetación obtenidos por la imagen de dron en enero de 2017 y los parámetros experimentales agronómicos, vegetativos, nutricionales y de calidad de la uva de la campaña de 2017. Se correlacionan además con la media ponderada de LAI (Leaf Area Index) de todos los IVs. Se realizan las correlaciones con todos los parámetros controlados (anexo 17 CD), pero solo se muestran en la tabla los que encuentran alguna correlación significativa con los índices de vegetación.

Tabla 38. Cuadro de correlaciones entre los IVs obtenidos por teledetección y parámetros vitícolas y nutricionales durante 2017. Correlaciones significativas** al 99%; * al 95%.

	PARAMETROS VEGETATIVOS						PARAMETROS AGRONOMICOS									
	SPAD guis	SPAD env	chl_a	chl_b	chl total	SFE/ha	SFE/Prod	Mad poda	Ravaz	Peso rac	Rac/Cepa	baya/rac	Peso/cepa	Prod	V100	Peso 100
EVI2		,405**				,769**	-,361*	,664**		,532**	,449**	,426**	,553**	,553**	,401**	-,293*
GDVI	,322*	,481**	,327*	,363*	,341*	,766**	-,312*	,753**		,532**	,403**	,466**	,520**	,521**	,346*	
CTVI		,440**				,588**	-,258*	,593**		,317*	,447**	,256*	,454**	,454**		
RDVI		,330**		,311*		,689**	-,352*	,700**		,499**	,400**	,445**	,491**	,491**	,298*	-,329*
GRNDVI	,390**	,476**	,386**	,407**	,396**	,692**	-,490**	,726**		,582**	,509**	,486**	,624**	,624**	,389**	-,302*
DVIMSS		,349*				,665**		,662**	-,402**	,359*		,320*	,320*	,320*		-,457**
NDVI	,304*	,411**				,703**		,690**		,352**	,473**	,288*	,485**	,485**	,314*	-,351**
LAI		,370*				,856**		,738**	-,370**	,427**	,377**	,326*	,460**	,460**	,354**	-,448**

	MADURACION TECNOLOGICA					COLOR				Peciolar floración		Peciolar Envero						
	Grado	PH	ACIDEZ	Malico	IM	K	IPT	dpep	AP	N	P	N	B	Zn	P	K	Ca	Mg
EVI2			,520**	,402**	-,499**					,393**	,486**	,520**	,288*	,288*	,506**	-,329*		,521**
GDVI			,590**	,528**	-,541**					,479**	,559**	,606**			,589**	-,294*		,459**
CTVI			,521**	,435**	-,454**					,389**	,414**	,572**			,595**		-,303*	,412**
RDVI			,488**	,414**	-,463**					,444**	,518**	,555**			,533**	-,337*		,482**
GRNDVI		-,322*	,571**	,483**	-,568**					,468**	,519**	,569**			,571**	-,292*		,376**
DVIMSS	,321*		,511**	,505**	-,424**					,454**	,563**	,608**			,521**			,533**
NDVI	,217*		,548**	,543**	-,475**					,388**	,382**	,525**			,425**			,358**
LAI	,321*		,675**	,672**	-,582**	,345*				,382**		,431**		,295*	,351**			,471**

Se puede observar que el parámetro con mayor correlación con los IVs dron es el de SFE/ha, ya que dicho parámetro experimental corresponde con el área foliar o, directamente con la superficie foliar, parámetro fundamental en el que se basa la teledetección, de hecho, LAI correlaciona con el índice más alto, pues estiman parámetros equivalentes. También muestra una gran robustez la medida de madera de poda, que indica también el vigor vegetativo. La correlación con el SPAD en envero es alta, pues se mide el mismo día que se toma la imagen y, además, el SPAD se considera como uno de los primeros índices de vegetación, ya que no determina, sino que estima el contenido en clorofilas.

Los parámetros productivos encuentran buenas correlaciones, especialmente con GRNDVI que encuentra las mejores correlaciones en todos los parámetros, seguido de EVI2 y GDVI.

En cuanto a los parámetros de maduración se observa buena correlación de todos los IVs con las medidas de acidez, málico e índice de maduración y una correlación menor con el grado encuentran los índices DVIMSS Y NDVI, así como LAI. En cuanto a los parámetros de color las mejores correlaciones se encuentran GDVI, CTVI y GRNDVI con el IPT y con respecto al índice maduración pepitas CTVI y NDVI, mientras con el K en mosto solo encuentra correlación con LAI.

Los análisis nutricionales de peciolares encuentran buenas correlaciones, especialmente los de envero, destacando N y P con todos los índices y con respecto al Mg en el caso de EVI2 y DVIMSS.

A la vista de los resultados, se puede decir que existe un carácter de predicción de todos índices de vegetación seleccionados evaluados mediante teledetección frente a los datos experimentales de SFE y madera de poda, y en menor medida de nitrógeno y fósforo. También respecto a los parámetros productivos de peso cepa y peso racimo en los índices EVI2, GDVI y GRNDVI y nº racimos/cepa en este último caso.

En general, los índices de vegetación EVI2, GDVI, RDVI y GRNDVI presentan unas correlaciones más altas con los datos productivos que con el índice que se usa más habitualmente, el NDVI, siendo menor la diferencia con el resto de parámetros e incluso muy buena con respecto a la SFE.

Respecto a la **correlación IVs con parámetros experimentales según el portainjerto** el número muestral se reduce a 3 observaciones en 2017 por cada uno, con lo que las correlaciones son muy altas, en algunos casos significativas, pero no comparables con las calculadas previamente (CD anexo 17). En la tabla 39 se indica para cada portainjerto que índices presentan correlaciones significativas y con qué parámetros. El portainjerto 110R no puede calcular correlaciones al encontrarse solo con dos repeticiones.

Tabla 39. Correlaciones de Pearson significativas entre los índices EVI2, CTVI, GDVI, RDVI, GRNDVI, DVMSS y NDVI obtenidos por imagen dron y los parámetros vitícolas y nutricionales según el portainjerto

Portainjerto	EVI2	CTVI	GDVI	RDVI	GRNDVI	DVMSS	NDVI
1613 C	Fe, Mn malico, AFE nº rac poda	Zn, Fe, Mn málico, AFE poda		N, Mg, Zn, Fe, Mn AFE poda	peso cepa	IM Chla	K, AP peso cepa
1616 C	peso cepa						AFE, Vol100
161-49 C	AFE	AP	SPADgui	P, Mg	Mg Acidez		SPADgui
41 B	P AP, AFE		nº rac/cepa	Mg, K	Fe, Mn pH Chla, b, SPAD	Mg	nº rac/cepa
Dog Ridge	Mn AP	Mn AP	AFE peso cepa	Mn		Mn, B AP	SFE
Freedom	málico, AFE SPAD	Fe AP	pH, K, IP SPAD				pH SPAD
5 BB	K, Mg pH, acidez	IC, malico	grado, Vol100 chla	P, B	grado, vol100, chla	N, Fe málico, IC	
99 R	IM	N, K	Zn, B AFE peso cepa, nº rac	AFE	Acidez	SPAD	N, K
Rupestris Salt Creek	acidez k, IM	SPAD	pH, málico		SPAD		SPAD
5C		B peso100	K, Vol100		Mg, Zn peso racimo		
1103-P	grado, AP	N, Mn, Zn, Fe, AFE SPADguis	Vol100 SPAD F+15	SPAD env	N, Mn, Zn, Fe	pH, IM, IPT	
Fercal	N AP SPAD	N AP SPAD	AFE nº rac/cepa	B malico, K peso cepa	AFE nº rac/cepa		K, IC peso racimo
Gravesac	IPT SPAD	IPT SPAD		IPT SPAD		IPT SPAD	
140-Ru	P	P AP SFE, SFE/PRO	P SFE, SFE/PRO	P SFE, SFE/PRO	IC, AP nº rac/cepa	P	

N-nitrógeno; P-fósforo; k-potasio; Zn- zinc; Mg-magnesio; Fe- hierro; Mn-manganeso; B-boro; AP-antocianos potenciales; AFE-antocianos fácilmente extraíbles; Chl- clorofila; IC- intensidad colorante; IPT- índice polifenoles totales; SFE- superficie Foliar Externa; IM- índice madurez

Se observan diferencias en el número de correlaciones significativas según el portainjerto, se encuentran 25 en 1613C y 18 en 1103P, 2 con Rupestris y 3 con 1616C, por lo que se estima la necesidad de más observaciones en estos casos con el fin de valorar mejor la relación entre las variables, lo que condiciona el uso de estos índices al portainjerto instalado en una parcela de estas características. También parece principalmente dependiente del portainjerto los parámetros que tienen correlaciones con los IVs. En cuanto a los parámetros nutricionales; los contenidos de N, Mn, Zn y Fe en 1103P y 1613C, el contenido de P en 140Ru, el contenido de Mn en Dog Ridge. En cuanto a los parámetros vegetativos el SPAD en Gravesac, 1103P y Freedom; el peso de poda con 1613C; SFE y SFE/Producción en 140Ru. Los parámetros productivos obtienen buenas correlaciones en Fercal, 5C, 41B y 1613C. Todas estas correlaciones se logran con varios índices vegetativos.

Estos resultados preliminares muestran ciertas relaciones entre los índices de vegetación obtenidos por imagen de dron y los parámetros experimentales indicando la utilidad de la metodología. Sin embargo, es necesaria más investigación para encontrar mejores correlaciones entre ellos y lograr un uso de la teledetección como herramienta para el manejo del viñedo.

Al disponer de datos vitícolas y nutricionales de 2016 y 2015, se calculan estos **índices de vegetación a partir de los datos radiométricos de todo el periodo 2015-2017** para los estados fenológicos de floración, floración +15 días, guisante e inicio de envero y se hallan las correlaciones de Pearson (tabla 40 y 41), para poder estudiar con más robustez cuáles son las relaciones entre estos IVs y los parámetros vitícolas y nutricionales.

Los mismos IVs calculados con la radiometría logran mejores correlaciones en índices de SPAD y de clorofilas, sin embargo, se correlaciona peor con parámetros del vigor como SFE, peso poda y con los parámetros de producción. Esto es debido a la estimación mediante ROI que se aplica a los IVs aplicados a teledetección, que forma parte del fundamento de la técnica, y que mejora la estimación de estos parámetros en toda el área de interés.

Tabla 40. Cuadro de correlaciones de Pearson entre IV obtenidos por radiometría para 4 estados fenológicos y parámetros vitícolas y nutricionales durante el periodo de 2015-2017. Todas las correlaciones son al 99% excepto * al 95%

		FLORACIÓN PECIOLAR										ENVERO PECIOLAR																
		N	B	Fe	Zn	Mn	P	K	Na	Ca	Mg	N	B	Fe	Zn	Mn	P	K	Na	Ca	Mg							
FLORACIÓN	EVIZ	.50		.35		-.22	-.28	.38	.19*		-.66	.65	-.40	.66	-.23	-.37	-.46	-.23	-.60	.58	-.38		.24	-.38	.56	-.49	-.28	
	GdVI	.53	.19*	.37		-.22	-.28	.38	.18*		-.69	.66	-.42	.67	-.24	-.40	-.48	-.23	-.60	.57	-.40		.23	-.38	.57	-.49	-.30	
	DVIMSS	.51	.24	-.24	-.30	-.30		.37	.21*		-.69	.71	-.39	.71	-.25	-.34	-.44	-.21*	-.59	.62	-.37	.18*	.22	-.34	.54	-.47	-.29	
	CTVI	.20*	.40	.29	.74	.30	.25		.28		-.38	-.32	.25			-.50	-.40	-.32	-.42	.18*	-.33		.23	-.40	.42	-.41	-.22	
	RDVI	.51	.18*	.40		-.18*	-.26		.38	.18*		-.67	.62	-.41	.65	-.22	-.40	-.47	-.25	-.60	.56	-.39		.24	-.38	.56	-.49	-.29
GRNDVI	.25	.44	.34	.82	.33	.26		.30		-.40	-.35	.23			-.50	-.44	-.30	-.44	.17*	-.37		.22	-.42	.45	-.42	-.22		
FLOR+15d	EVIZ	.18*	.65	.36	.35		.26	.38		-.63	.42	-.30	.63		-.31	-.31	-.20*	-.19*	-.34	.29	-.40				.30	-.47	-.28	
	GdVI	.28	.70	.46	.43	.18*		.28	.39		-.66	.36	-.34	.61		-.18*	-.37	-.33	-.18*	-.22	-.29	.25	-.38		.22	.26	-.43	-.26
	DVIMSS	.63	.28	.23		-.20*		.24	.38		-.68	.55	-.31	.70		-.29	-.33	-.18*	-.22	-.40	.44	-.36		.17*		.35	-.44	-.29
	CTVI	.46	.38	.48	.56	.75	.44	.34		-.25	-.29			.21*		-.21*					-.38	-.27	-.24				-.24	
	RDVI	.21*	.66	.39	.39			.26	.37		-.62	.38	-.30	.61		-.32	-.30	-.21*	-.20*	-.32	.25	-.41				.29	-.47	-.27
GRNDVI	.64	.39	.61	.67	.93	.68	.57	.17*		-.48			.34	-.24	-.24				.23	-.50	-.20*	-.22		-.19*			-.18*	
GUISANTE	EVIZ	-.20*	.21*		.213*		-.53		.34	-.20*	.61	-.40	.32	-.28	.37	-.28	-.63	-.30	-.67	.57	-.36		-.25	.45	-.67	.63	-.53	-.28
	GdVI		.24		.27		-.48		.38		-.19*	.58	-.40	.29	-.22	.38	-.25	-.62	-.67	.51	-.38		-.26	.43	-.66	.61	-.56	-.27
	DVIMSS	-.34		-.20*		-.30	-.32	-.67		.32	-.18*	.71	-.37	.35	-.32	.43	-.021*	-.61	-.70	.64	-.36		-.27	.47	-.68	.66	-.53	-.27
	CTVI	.51	.37	.49	.59	.56	.71	.42			-.30	-.22				-.33	-.20*	-.18*			-.19*	-.18*						
	RDVI	.23		.25				-.50		.35	-.20*	.58	-.41	.31	-.26	.36	-.29	-.63	-.30	-.65	.54	-.36		-.24	.45	-.66	.62	-.53
GRNDVI	.63	.43	.60	.62	.69	.89	.50	.19*	.19*	-.35				.25	-.20*				.27									
ENVERO	EVIZ	-.47	-.35	-.44	-.24*		-.49		.33	.25	.63			.57	.37	-.28	-.28	.42	-.56	.62			-.54	.46	-.47	.45	-.61	
	GdVI	-.33		-.30			-.30		.36		.55			.51	.32	-.32	-.23*	.42	-.51	.50			-.52	.41	-.45	.34	-.59	-.21*
	DVIMSS	-.51	-.38	-.48	-.28	-.24*	-.23*	-.53		.30	.26*	.68			-.23*	.59	.35	-.32	-.26*	.46			-.57	.47	-.52	.47	-.62	
	CTVI	.54	.46	.53	.41	.48	.44	.59		.27	-.23*	-.64	.29		.30	-.42	.42	-.40	-.49	.52			.50	-.36	.58	-.44	.30	
	RDVI	-.43	-.30	-.39			-.43		.35		.23*	.58			.54	.38	-.25*	-.30	.39	-.53	.58			-.50	.43	-.43	.41	-.59
GRNDVI	.74	.70	.74	.46	.64	.71	.88	.36		-.28	-.70			.45	-.42		-.24*	-.33	.53	-.67			.43	-.36	.52	-.59	.29	

Las medidas de nutrición mantienen buenas correlaciones mejorando mucho las correlaciones en algunos parámetros como el B. En los aspectos cualitativos de la uva, las correlaciones van variando según se acerca la maduración. Se aprecian buenas correlaciones respecto a la acidez en todos los estados fenológicos y en enero en el que aumentan las correlaciones con el grado, K, índices de color y antocianos. Esto indica como la radiometría de las hojas detecta la evolución de la vegetación en la fase madurativa, aspectos que pierden precisión en la teledetección con dron, aunque si se mantienen las correlaciones con la acidez, muy vinculadas a la masa vegetativa de la planta. Respecto a los parámetros productivos las relaciones más significativas se obtienen con peso de racimo en guisante y enero, y particularmente con GDVI que además obtiene correlaciones con la producción kg/ha y peso cepa en enero, y GRNDVI, con nº racimos y peso cepa y producción en enero también.

Tabla 41. Cuadro de correlaciones de Pearson entre IV obtenidos por radiometría y parámetros vitícolas y productivos durante el periodo de 2015-2017. Todas las correlaciones son al 99% excepto * al 95%

			R > 0,7													R > 0,5					R > 0,3			R > 0,1	
			PESO 100	GRADO	PH	ACIDEZ	MALICO	I.M.	POTASIO	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep	AP	AFE	Vol 100	peso_racim	nº rac/cep	nº bay/rac	Peso cepa	Producción		
FLORACIÓN	EVIZ																								
	GDVI																								
	DVIMSS																								
	CTVI																								
	RDVI																								
GRNDVI																									
FLOR+15d	EVIZ																								
	GDVI																								
	DVIMSS																								
	CTVI																								
	RDVI																								
GRNDVI																									
GUISANTE	EVIZ																								
	GDVI																								
	DVIMSS																								
	CTVI																								
	RDVI																								
GRNDVI																									
ENERO	EVIZ																								
	GDVI																								
	DVIMSS																								
	CTVI																								
	RDVI																								
GRNDVI																									

Realizadas las **correlaciones entre los IVs radiométricos** en los distintos estados fenológicos (tabla 86 y 87 anexo) las mayores correlaciones son entre los IVs de su mismo estado fenológico, obteniéndose algunas correlaciones medias entre la radiometría de floración con TCARI/OSAVI y Chl de enero y menores aún entre DD y OSAVI 2 de enero. Con los IVs EVIZ, GDVI, DVIMSS, CTVI, RDVI y GRNDVI calculados por radiometría se encuentran también correlaciones medias y destacan por su buena correlación con los 20 mejores índices seleccionados para nuestras condiciones experimentales GRNDVI y CTVI.

Se realiza un análisis del grado de correlación entre los índices de vegetación obtenidos a partir de las medidas radiométricas tomadas en enero con los índices de vegetación obtenidos a partir de la imagen tomada desde el dron mediante la cámara multispectral Sequoia. Se observa que el índice de vegetación GRNDVI muestra una correlación significativa entre ambas medidas ($R=0,411^{**}$) (CD anexo 17).

4.2.3. ESTUDIO PRODUCTIVO

El análisis de la producción del Tempranillo sobre los 16 portainjertos se ha realizado primero para cada año por separado y luego un análisis plurianual. Los parámetros con los que se valora la producción son peso/cepa (g/cepa), producción (kg/ha), peso 100 granos, peso racimo, número bayas racimo y número de racimos por cepa.

En los resultados productivos de **2015**, el análisis descriptivo de las medias de los parámetros productivos muestra que el Tempranillo injertado con Dog Ridge no ha llegado a entrar en producción. En 2015 Dog Ridge tiene una producción media de 2152 kg/ha, entre un 85% y un 40% menos que con el resto de portainjertos, así que no se incluye en el análisis hasta que entre en producción, ya que algunas plantas fueron repuestas y se retrasa un año su entrada en producción.

La tabla 42 de parámetros de producción del Tempranillo en 2015 muestra diferencias significativas entre portainjertos. Hay diferencias en la producción derivadas de un peso de cepa significativamente diferente: 41B con 14300 kg/ha es el portainjerto más productivo, mientras 1613C con menos de 3600 Kg /ha, es el menos productivo.

Los portainjertos 41B, 5C y 99R producen en Tempranillo el mayor peso de baya, mientras 1616C y 1613C destacan como los de menor peso. El portainjerto 41B produce un mayor peso de racimo y los portainjertos 1616C y Fercal inducen en Tempranillo el menor peso de racimo.

*Tabla 42. Resumen de los parámetros productivos Tempranillo sobre 15 portainjertos en el año 2015. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test de Tukey. Niveles de significación del ANOVA * $\leq 0,05$; *** $\leq 0,001$; n.s.= no significativo.*

	kg/ha		g/cepa		Peso 100 bayas (g)		Peso racimo (g)		Nº bayas /racimo		Nº racimos / cepa	
1613C	3571	b	1300	b	147	c	239	ab	163		5,4	ab
Freedom	6193	ab	2254	ab	184	abc	221	ab	118		9,8	ab
110R	6851	ab	2494	ab	176	abc	246	ab	139		9,9	ab
140Ru	7028	ab	2558	ab	183	abc	239	ab	130		10,7	ab
Rupestri	7097	ab	2583	ab	200	ab	241	ab	120		10,7	ab
Fercal	7292	ab	2654	ab	174	abc	217	b	126		11,8	ab
Gravesac	7338	ab	2671	ab	198	ab	249	ab	126		11,1	ab
99R	8059	ab	2933	ab	201	a	280	ab	139		10,3	ab
5BB	8654	ab	3150	ab	192	ab	277	ab	145		11,6	ab
1616C	8665	ab	3154	ab	158	bc	187	b	117		16	ab
161-49C	8723	ab	3175	ab	190	ab	289	ab	153		11,3	ab
Salt Creek	8952	ab	3258	ab	176	abc	279	ab	159		11,7	a
1103P	9444	ab	3438	ab	195	ab	271	ab	139		12,4	b
5C	10806	ab	3933	ab	203	a	303	ab	149		13	ab
41B	14366	a	5229	a	212	a	348	a	165		15,1	ab
Sig.		*		*		***		*		n.s.		n.s.

El número de bayas por racimo y el número de racimos por cepa no muestran diferencias, pero, sirven para explicar el comportamiento de algunos portainjertos. Así se observa la diferente estrategia de los dos híbridos de *V. longii*, el 1613C y 1616C, ambos con bayas

significativamente pequeñas. El portainjerto 1616C tiene el menor número de bayas y el mayor número de racimos, lo que hace que la producción se mantenga en niveles medios, mientras 1613C produce uno de los mayores números de bayas, pero el menor número de racimos, lo que hace que su producción sea menor que con el resto de portainjertos. Salt Creek también es un portainjerto que produce bayas con tamaño pequeño y mantiene una producción elevada gracias a un mayor número de uvas y de racimos. Freedom es el caso contrario, con un tamaño de baya medio, induce una muy baja producción debido al escaso número de racimos y bayas/racimo. 99R tampoco mantiene alta producción, aunque produce un peso de baya significativamente mayor, debido al menor número de racimos.

El análisis de componentes principales de los parámetros productivos de Tempranillo sobre los 16 portainjertos en 2015 (figura 94) logra representar casi un 90% de la variabilidad productiva, la relación entre las variables es buena. Se puede observar un componente principal F1 que representa más del 60% de la variabilidad en el que se representa el peso de 100 granos, peso cepa y peso racimo y otro eje F2 representa más de un 20% que está ligado al nº bayas /racimo y en menor grado al nº racimos/cepa. Se correlacionan positivamente todos los parámetros excepto, nº racimos/cepa y nº bayas/racimo que no encuentran relación alguna. El vector producción está muy relacionado con el peso de 100 granos y también con el número de racimos y peso de racimo y menos con el número de bayas. Sitúa en el eje F1 positivo a los más productivos ligados a sus ejes determinantes como 41B, 5C, 1103P a peso 100 bayas, peso cepa, peso racimo y 161-49C, 5BB, Salt Creek y 99R más asociados a peso racimo y mayor número de bayas. Los menos productivos en el negativo asociados a número de racimos bajo, 1613C, o bien a un peso de racimo y bayas/racimo bajo y alto número de racimos, 1616C, situados en el eje F1 según el orden de producción.

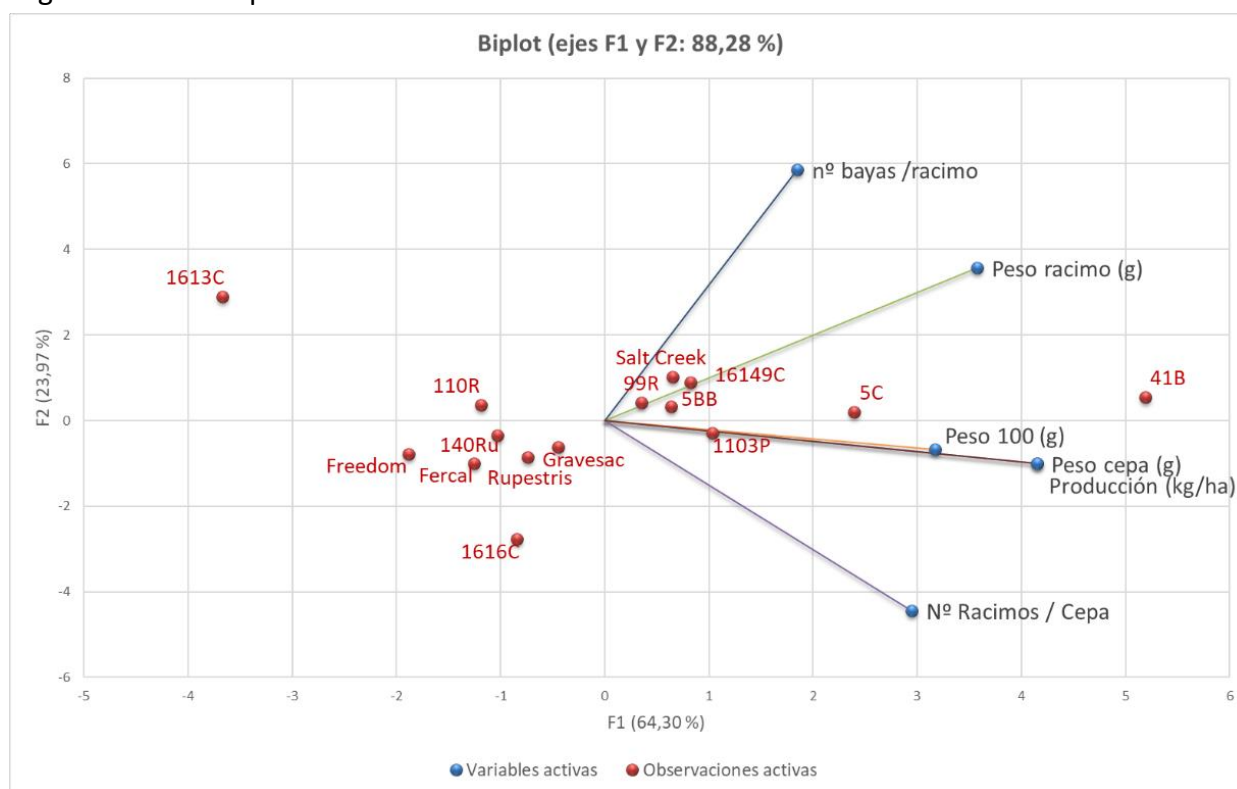


Figura 94. Diagrama de dispersión biespacial de Tempranillo sobre 15 portainjertos en la producción 2015.

Los resultados de la producción del Tempranillo sobre 16 portainjertos del año **2016** se muestran en la tabla 43. No se encuentran diferencias significativas en peso/cepa ni en producción entre portainjertos. Esto es debido al secado de racimos, parámetro que se controla en 2016 a causa del elevado porcentaje de racimos secos. Esto es debido a que se produce un fenómeno fisiológico, a finales de agosto, fruto de las altas temperaturas, superiores a 35 grados que causaron un golpe de calor en las cepas o asolado. Esto produjo un secado de racimos en todos los portainjertos que es valorado contando los racimos afectados de cada portainjerto y calculando el porcentaje sobre los racimos totales en la vendimia. Hay que tener en cuenta que en el número de racimos/cepa no se incluyen los secos, solo los que se vendimian.

No se encuentran diferencias significativas entre portainjertos en el % secado de racimos, aunque se observa la tendencia de que los mayores porcentajes corresponden a los que en 2015 habían resultado más productivos. El 41B con el mayor secado de racimos, 46,7%, sigue teniendo la media más productiva en 2016 con 10595 kg/ha (un 26% menos que en 2015), aun así, no significativamente diferente que la producción con el portainjerto 1616C, que, condicionado también por un 39% de secado de racimos, se queda con una producción de 4863 kg/ha, un 44% menor que en 2015. Las pérdidas en producción en 2016 con respecto a 2015 se producen con los portainjertos que mayor % de secado de racimos tienen (más del 38% de secado de racimos).

En cuanto al peso de las bayas se observa que con el portainjerto 1103P presenta un peso de 214g significativamente mayor que con los portainjertos 1613C y 1616C y 161-49C, en torno a los 150 g. El peso de racimo es significativamente mayor con el portainjerto 140Ru con 337 g, que con los portainjertos 1613C, 161-49C y 1616C, con menos de 222 g.

Tabla 43. Resumen de los parámetros productivos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2016**. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey. Nivel de significación del ANOVA ** $\leq 0,01$; n.s.= no significativo.

	kg/ha	g / cepa	Peso 100 bayas (g)	Peso racimo (g)	Nº bayas /racimo	Nº racimo/ cepa	Racimo seco (%)
1616C	4863	1770	150 cd	191 d	126	9,8	39
Dog Ridge	5879	2140	167 abcd	253 abcd	151	8,4	27,7
Salt Creek	6062	2207	173 abcd	260 abcd	150	8,4	41,7
Freedom	6264	2280	199 ab	251 abcd	127	9,1	26,5
161-49C	6392	2327	146 d	205 cd	140	11,7	34,8
1613C	6767	2463	163 bcd	222 bcd	136	10,3	28,3
99R	6960	2533	182 abcd	242 abcd	133	10,5	38,4
5C	7161	2607	198 ab	291 abcd	147	8,9	46,5
1103P	7191	2617	214 a	311 abc	146	8,4	39,5
Fercal	7528	2740	184 abcd	310 abc	169	8,9	34,2
Gravesac	7555	2750	196 abc	263 abcd	135	10,5	43,1
140Ru	7747	2820	193 abcd	338 a	176	8,4	34,8
110R	7926	2885	194 abc	314 ab	163	9,2	35,4
5BB	8132	2960	195 abc	281 abcd	145	10,7	28,2
Rupestris	9181	3342	199 ab	303 abc	152	11,1	22,1
41B	10595	3857	198 ab	318 ab	161	12	46,7
Sig.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.

No se observan diferencias en el nº de bayas/racimo y nº racimos/cepa, pero los resultados sirven para explicar las producciones. Rupestris, el menos afectado por el secado de racimos mantiene su producción como la segunda media mayor de todos los portainjertos, aunque sin diferencias significativas con el resto, situación que no se produce el resto de los años, siendo Rupestris un portainjerto de producciones medias.

En las figuras 95 y 96 se muestran las gráficas Biplot para el análisis de los tres componentes principales (F1, F2 y F3). Se representa un 75% de variabilidad con el biplot F1 F2 y un 68% con F1 y F3, lo cual está muy repartido entre los tres ejes, cosa que no sucede otros años.

En la figura 95, todas las variables tienen una correlación positiva, muy relacionadas peso racimo, peso 100 granos y número de bayas, no es así con nº racimos que no encuentra relación con estos parámetros, sólo con la producción. Los portainjertos Rupestris, Fercal, 140 Ru mejoran su posición en F1 con respecto a 2015, mientras 161-49C con baja producción, pero alto nº de racimos pasa al eje negativo.

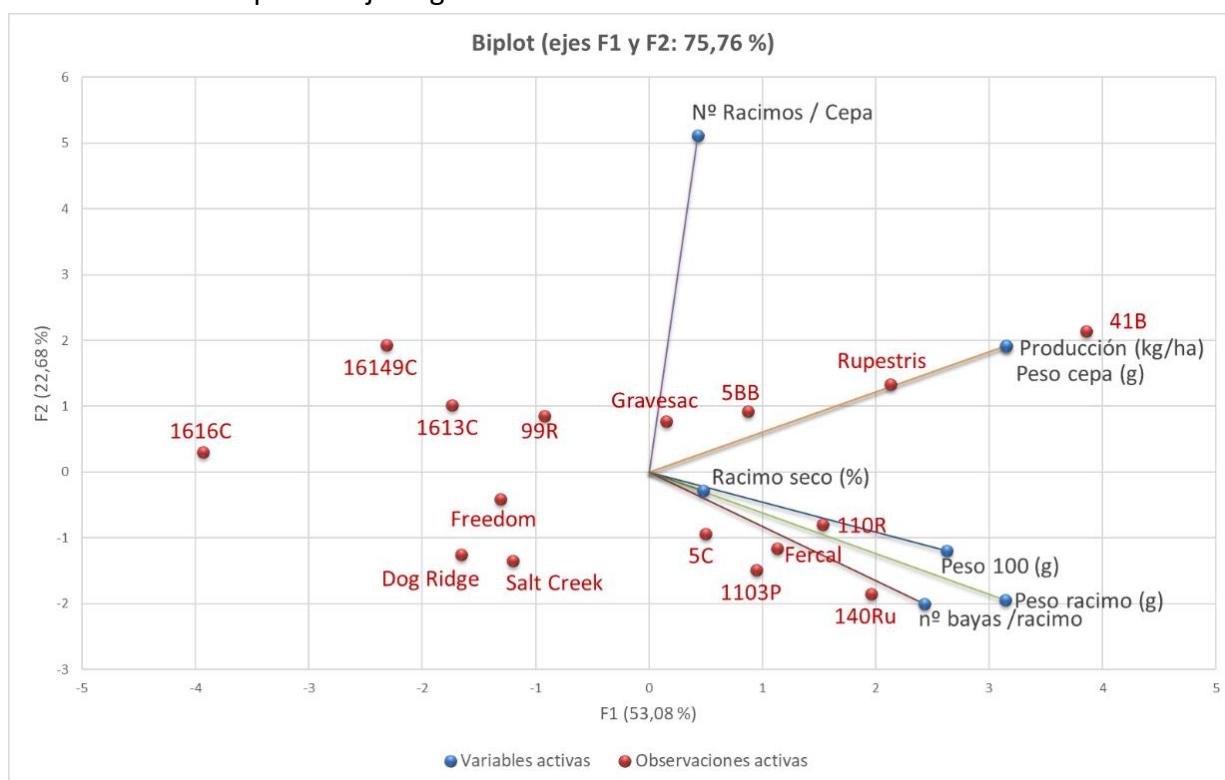


Figura 95. Dispersión biespacial de Tempranillos sobre 16 portainjertos en la producción 2016. F1 y F2

En la figura 96 se representa el peso del secado de racimos en el eje F3, siendo complementario del resto de parámetros y con mucha significación. Se sitúan en su eje positivo los más afectados 41B, 1103P, 5C y Gravesac, que aun así mantienen buena producción y Salt Creek, 1616C, 99R que se sitúan entre los menos productivos. Los portainjertos con menor incidencia de secado de racimos de Tempranillo son el Rupestris, y el 5BB, de entre los más utilizados, además del Freedom y Dog Ridge. Esto puede tener su importancia en un contexto de cambio climático, aunque más investigaciones son necesarias para llegar a conclusiones en este aspecto.

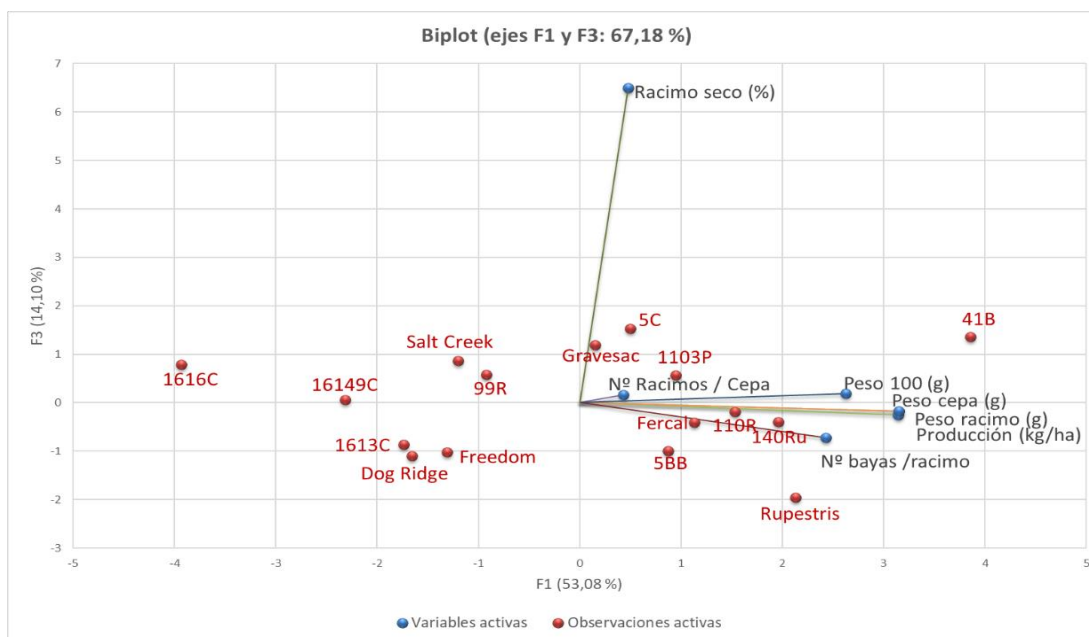


Figura 96. Dispersión biespacial de Tempranillo sobre 16 portainjertos en la producción 2016. F1 y F3

Los parámetros productivos de 2017 se muestran en la tabla 44. La producción mayor se produce con 41B, que con 15000 kg/ha de media, mantiene la tendencia de portainjerto más productivo, con una diferencia muy importante con el siguiente grupo, con el que comparte significación estadística, que engloba producciones de 10275 a 8500 Kg/ha, con portainjertos muy utilizados como el 110R, 1103P, 140 Ru y también 5BB, 5C, Fercal, Gravesac y Salt Creek

Tabla 44. Parámetros productivos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 test Tukey. Significación ANOVA *≤0,05; **≤0,01; ***≤0,001.

	kg/ha	g/cepa	Peso 100 bayas (g)	Peso racimo (g)	Nº bayas / racimo	Nº racimos / cepa
1616C	4295 b	1563 b	146 bc	189 ab	126 ab	9,1 ab
161-49C	4441 b	1617 b	142 c	155,7 b	110,8 ab	10,1 ab
Dog Ridge	4469 b	1627 b	166 abc	184,2 ab	110,8 ab	8,7 b
99R	5568 b	2027 b	162 abc	145,9 b	91,5 b	13,9 ab
1613C	5696 b	2073 b	146 bc	175,8 ab	118,8 ab	10,4 ab
Rupestris	6676 b	2430 b	196 a	252,9 ab	129,4 ab	9,7 ab
Freedom	7106 b	2587 b	164 abc	206,1 ab	124,6 ab	12,1 ab
140Ru	8544 ab	3110 ab	176 abc	252,1 ab	143,4 ab	12,6 ab
1103P	8626 ab	3140 ab	193 ab	234,3 ab	121,1 ab	13,3 ab
110R	8750 ab	3185 ab	182 abc	232,9 ab	130,6 ab	13,7 ab
5BB	8965 ab	3263 ab	179 abc	237,9 ab	134,4 ab	13,7 ab
5C	9341 ab	3400 ab	165 abc	226,8 ab	137,4 ab	15 ab
Fercal	9744 ab	3547 ab	184 abc	290 ab	158,3 ab	12,3 ab
Gravesac	10256 ab	3733 ab	153 abc	270,4 ab	177 a	14,1 ab
Salt Creek	10275 ab	3740 ab	180 abc	312,1 a	173,7 ab	12,1 ab
41B	15018 a	5467 a	190 abc	309,3 a	162,9 ab	17,7 a
Sig.	***	***	**	**	**	*

El portainjerto 41B produce una mayor producción que los portainjertos Freedom, Rupestris, 1613C, 99R, Dog Ridge, 1616C y 161-49C y 1616 C con unas producciones entre 7100 y 4300 kg/ha (41B produce mayor peso de racimos que 161-49C y 99R, y mayor número de racimos por cepa que con Dog Ridge). Son significativamente menores los pesos de 100 bayas con 161-49C, 1616C y 1613C con menos de 150 g, con respecto a los 200 g de Rupestris. En cuanto al peso de racimo 99 R y 161-49C producen menor peso de racimo, con cerca de 150 g, que 41B y Salt Creek con más de 300 g.

El análisis de componentes principales de los parámetros productivos de 2017 (figura 97) representa una variabilidad del 87,45 %. El componente F1 representa la mayor parte de la variabilidad, un 75%. Los vectores peso racimo, peso 100 bayas, nº bayas/racimo están muy relacionados. La producción tiene una correlación positiva con el resto de vectores. En el eje positivo están los que mejores producciones mantienen, mientras en el negativo los que menores, tomando la última posición 161-49C.

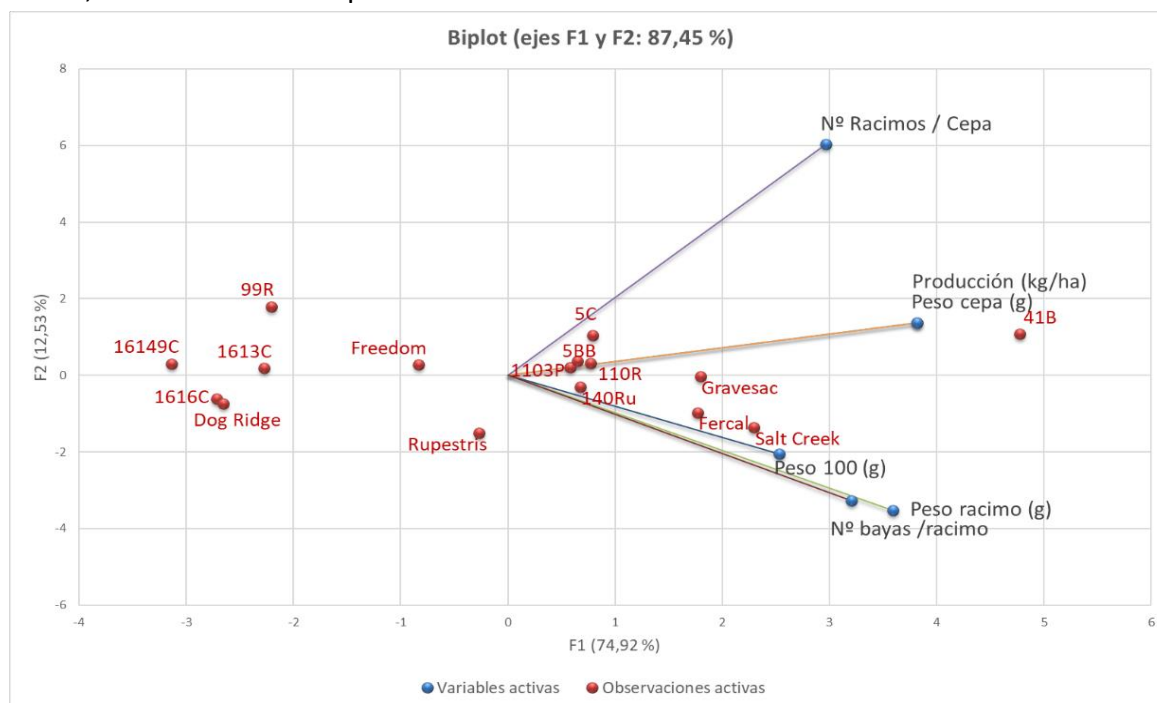


Figura 97. Diagrama de dispersión biespacial de Tempranillo sobre 16 portainjertos en la producción 2017.

Se estima conveniente complementar el estudio de producción con 2018, debido al secado de racimos del 2016, que no es una circunstancia que represente la generalidad de los años y modifica la producción en porcentajes importantes incluso con respecto al primer año de producción 2015, en algunos casos en un 35% como en 5C y Salt Creek y en un 30% en el caso de 41B y 1103P, lo que llevaría a conclusiones erróneas.

En 2018 se valoran 10 portainjertos: R110, 140Ru, 41B, 1103P, Rupestris, 161-49C, 5BB, 5C, Fercal y Gravesac y sus valores para los parámetros estudiados se muestran en la tabla 45. El portainjerto 161-49C se diferencia del resto de portainjertos (excepto 110R) mostrándose como el menos productivo, con una diferencia de hasta 15943 kg/ha con el 41B, el más productivo. 161-49C produce el menor peso de baya, peso de racimo y nº de racimos/cepa en Tempranillo que con el resto de portainjertos. Los portainjertos 110R y Rupestris también

producen menor rendimiento en Tempranillo que 41B. Con Rupestris el Tempranillo produce pesos de 100 granos altos, pero con un nº de racimos menor que 161-49C, lo que explica su menor producción respecto a 41B. 110R produce también menor nº de racimos que con 41B, lo que le sitúa entre los portainjertos menos productivos.

Tabla 45. Parámetros productivos de Tempranillo sobre 10 portainjertos en el año 2018. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey. Nivel de significación del ANOVA *≤0,05; **≤0,01; ***≤0,001.

	kg/ha	g/cepa	Peso 100 bayas (g)	Peso racimo (g)	Nº bayas /racimo	Nº racimos / cepa
161-49C	3517 c	1280 c	170 b	215 b	129 b	5,7 c
110R	10289 bc	3745 bc	211 a	336 a	159 ab	11,1 b
Rupestris	11355 b	4133 b	228 a	373 a	163 ab	11,1 b
140Ru	12427 ab	4523 ab	212 a	364 a	172 ab	12,5 ab
5C	12821 ab	4667 ab	212 a	387 a	182 a	11,9 b
5BB	13361 ab	4863 ab	212 a	345 a	163 ab	14,1 ab
Fercal	14130 ab	5143 ab	222 a	409 a	184 a	12,5 ab
Gravesac	15238 ab	5547 ab	214 a	378 a	176 ab	14,7 ab
1103P	15870 ab	5777 ab	212 a	406 a	192 a	14,3 ab
41B	19460 a	7083 a	219 a	413 a	189 a	17,1 a
Sig.	***	***	**	***	*	***

El análisis de componentes principales en 2018 (figura 98) representa casi la totalidad de la variabilidad de los parámetros, un 96,63 %. La producción se encuentra especialmente vinculada al número de racimos, viéndose poco relacionada con el peso de racimo o el peso de 100 granos. La distribución de los portainjertos en el biplot está repartida, siendo los que se encuentran en el eje positivo de F1 los que mayores producciones tienen, especialmente los vinculados al cuadrante negativo de F2, destacando 41B. Fercal con buena producción está vinculada a peso de racimo y de baya, al igual que 5C y Rupestris. El portainjerto con más bajas producciones 161-49C tiene, sin embargo, bajo número de racimos, de muy bajo peso de racimo y bayas.

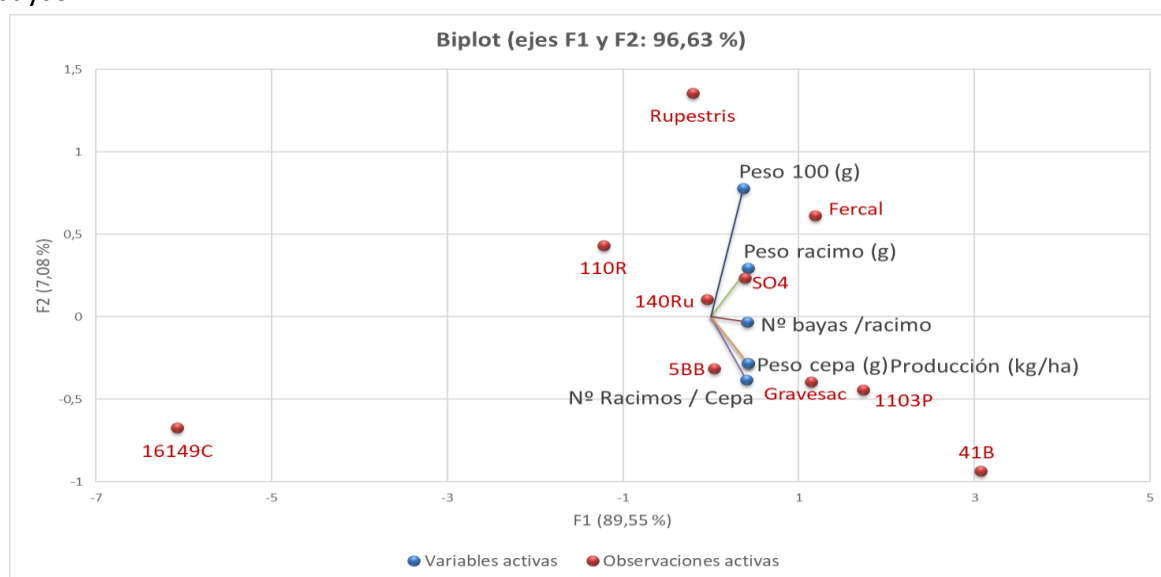


Figura 98. Diagrama de dispersión biespacial de Tempranillo sobre 10 portainjertos en la producción 2018.

Los resultados del estudio plurianual productivo interanual 2015-2016-2017 se pueden ver en la tabla 46. No se encuentran diferencias entre portainjertos en parámetros tales como número de racimos y número de bayas racimo, que otros años si encontraban, y disminuye el número de diferencias encontradas en post hoc de Tukey separándose menos grupos. 41B es más productivo que el resto de portainjertos. 41B también presenta un mayor peso de racimo respecto a Freedom, 99R, 161-49C, 1616C y 1613C. En cuanto a peso de 100 granos, 41B junto con 1103P y Rupestris se presentan mayor peso que Dog Ridge, 161-49C, 1616C y 1613C. Esto se debe al aumento de la varianza que produce el año 2016, cuyo comportamiento productivo debido al secado de racimos difiere de la normalidad. Por tanto, se decide repetir análisis productivo interanual considerando los años 2015, 2017 y 2018.

Tabla 46. Resumen de los parámetros productivos de Tempranillo sobre 16 portainjertos de los años **2015, 2016 y 2017**. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey. Nivel de significación del ANOVA *** $\leq 0,001$; n.s. \leq no significativo.

	kg/ha		g/cepa		Peso 100 (g)		Peso racimo(g)		Nº bayas/racimo	Nº racimos /cepa
Dog Ridge	5174	b	1883	b	166	bc	218	bc	131	8,5
1616C	5345	b	1946	b	152	c	212	bc	139	8,7
1613C	5941	b	2163	b	151	c	189	c	123	11,7
161-49C	6519	b	2373	b	160	bc	216	bc	134	11
Freedom	6521	b	2374	b	183	ab	226	bc	123	10,3
99R	6862	b	2498	b	181	abc	223	bc	121	11,6
Rupestris	7651	b	2785	b	198	a	266	abc	134	10,5
140Ru	7773	b	2829	b	184	ab	276	ab	150	10,6
110R	7842	b	2855	b	184	ab	264	abc	144	10,9
Fercal	8188	b	2980	b	181	abc	272	abc	151	11
Gravesac	8383	b	3051	b	183	ab	261	abc	146	11,9
1103P	8420	b	3065	b	200	a	272	abc	135	11,4
Salt Creek	8430	b	3068	b	176	abc	284	ab	161	10,7
5BB	8584	b	3124	b	189	ab	266	abc	141	12
5C	9103	b	3313	b	189	ab	274	abc	145	12,3
41B	13327	a	4851	a	200	a	325	a	163	15
Sig.	***		***		***		***		n.s.	n.s.

En cuanto al análisis de componentes principales (figura 99) refleja un 90% variabilidad. Hay una correlación positiva entre todos los parámetros. El vector peso de 100 granos está muy relacionado con nº racimos/cepa, quedando la producción más vinculada al peso de los racimos y bayas, y al nº de racimos, viendo cómo ha variado considerablemente la distribución éstos ejes en los distintos años, estando en 2015 el peso de racimo muy cerca del peso de 100 bayas y del número de bayas racimo como parece lógico y en 2016 debido al secado de racimos la producción estaba vinculada sobre todo al nº de racimos. El peso de racimo se encuentra situado entre el nº bayas y el peso de 100 bayas, que son las componentes que lo determinan, mientras la producción parece situarse entre nº de racimos por cepa y peso de racimos. 41B es con mucho

el más destacado en producción, mientras 1616C, 1613C, Dog Ridge, Freedom, 161-49C y 99R son los menos productivos.

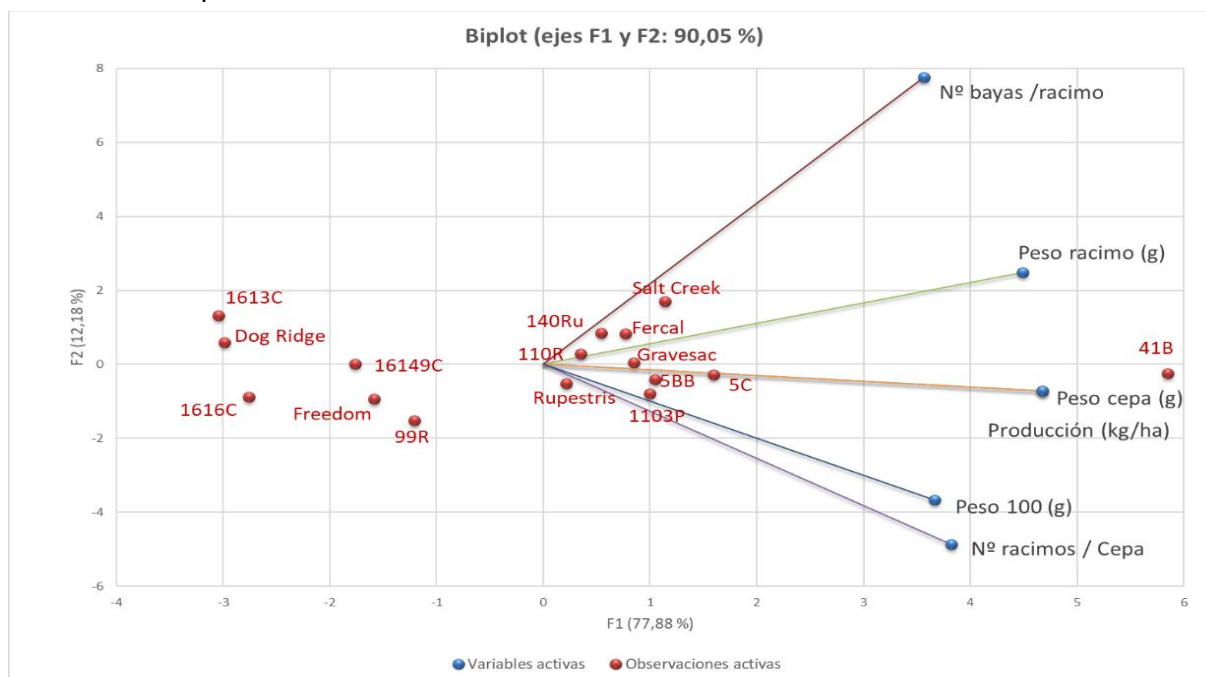


Figura 99. Diagrama de dispersión biespacial de Tempranillo sobre 10 portainjertos en la producción **2015 + 2016 + 2017**.

Los resultados del **análisis productivo interanual 2015 - 2017 - 2018** se muestran en la tabla 47. Se observan diferencias significativas en todos los parámetros estudiados. El portainjerto 41B es el portainjerto con mayor producción, peso de racimo, número de racimos y número de bayas por racimo, y sólo es superado en peso de 100 bayas por Rupestris. Comparte significación con un grupo de portainjertos que dan una producción alta, compuesto por 1103P, 5C, Gravesac con más de 10000 kg/ha y que se diferencian significativamente de Dog Ridge y 1613C. Estos portainjertos se encuentran entre los que más racimos por cepa muestran, además de tener un elevado número de bayas y peso de 100 granos. Las producciones menores corresponden a Dog Ridge y 1613C y se separan significativamente del grupo de producción alta, con una producción media de alrededor de 4500 kg/ha. Muestran menor número de racimos y de menor peso (Dog Ridge por tener el menor número de bayas y 1613 C por tenerlas más pequeñas en cuanto peso 100 granos).

41B presenta mayor peso de racimo que 161-49C, Freedom, 99R, 1613C, 1616C y Dog Ridge en orden decreciente de peso. Rupestris muestra mayor peso de 100 granos que 161-49C, Dog Ridge, 1616C y 1613C en orden decreciente de peso. 41B tiene mayor nº de bayas/racimo que 99R y Dog Ridge. 41B tiene mayor nº racimos /cepa 41B que Freedom, Rupestris, 161-49C, Dog Ridge y 1613C, en orden decreciente de racimos.

Las mejores producciones en el grupo de producción media corresponden a Fercal y 5BB, con un destacado peso de racimo Fercal y alto número de racimos /cepa 5BB.

Tabla 47. Parámetros productivos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015+ 2017 + 2018. Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 test Tukey. Significación ANOVA ** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$.

	Producción (kg/ha)	Peso cepa (g)	peso racimo (g)	Peso 100 bayas (g)	nº bayas /racimo	Nº racimos / cepa
Dog Ridge	4469 c	1627 c	184 b	166 cde	111 c	8,7 b
1613C	4634 c	1687 c	208 b	146 e	141 abc	7,9 b
161-49C	5560 bc	2024 bc	220 b	168 bcde	131 abc	9 b
1616C	6480 bc	2359 bc	188 b	152 de	122 abc	12,6 ab
Freedom	6650 bc	2420 bc	213 b	174 abcde	122 abc	11 b
99R	6813 bc	2480 bc	213 b	181 abcde	115 bc	12,2 ab
Rupestris	8376 bc	3049 bc	289 ab	208 a	138 abc	10,5 b
110R	8630 bc	3141 bc	272 ab	190 abcd	143 abc	11,6 ab
140Ru	9333 bc	3397 bc	285 ab	190 abcd	148 abc	11,9 ab
Salt Creek	9613 bc	3499 bc	295 ab	178 abcde	166 ab	11,9 ab
5BB	10327 abc	3759 abc	287 ab	194 abc	147 abc	13,1 ab
Fercal	10388 abc	3781 abc	305 ab	193 abc	156 abc	12,2 ab
Gravesac	10944 ab	3984 ab	299 ab	189 abcd	160 abc	13,3 ab
5C	10989 ab	4000 ab	306 ab	193 abc	156 abc	13,3 ab
1103P	11313 ab	4118 ab	304 ab	200 abc	151 abc	13,3 ab
41B	16281 a	5926 a	357 a	207 ab	173 a	16,7 a
Sig.	***	***	***	***	**	***

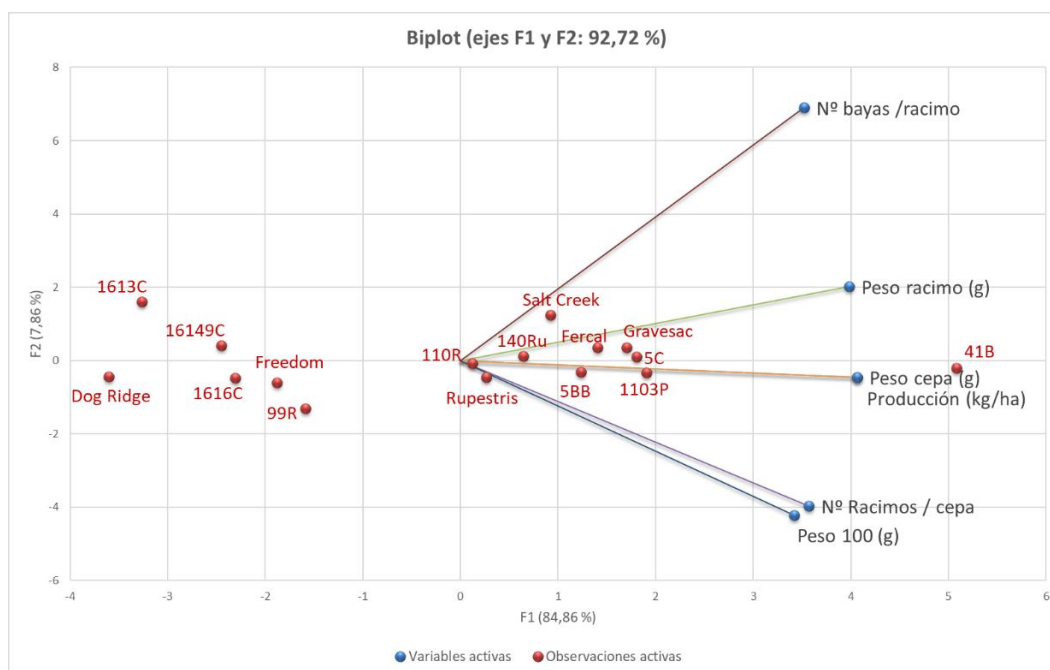


Figura 100. Dispersión biespacial de Tempranillo sobre 16 portainjertos en producción 2015+2017+2018.

En el análisis de componentes principales plurianual (figura 100) los parámetros productivos se distribuyen como en 2017. Los portainjertos en el eje positivo F1 son los que mejores producciones mantienen, destacando 41B seguidos de 5C y 1103P, mientras Gravesac y Fercal están más vinculados a peso de racimo y Rupestris a peso de 100 bayas. Los portainjertos que inducen menor producción en Tempranillo son 1613C y 161-49C ligados al bajo peso 100 granos y bajo nº racimos/cepa y Dog Ridge y 1616C con bajo peso de racimo.

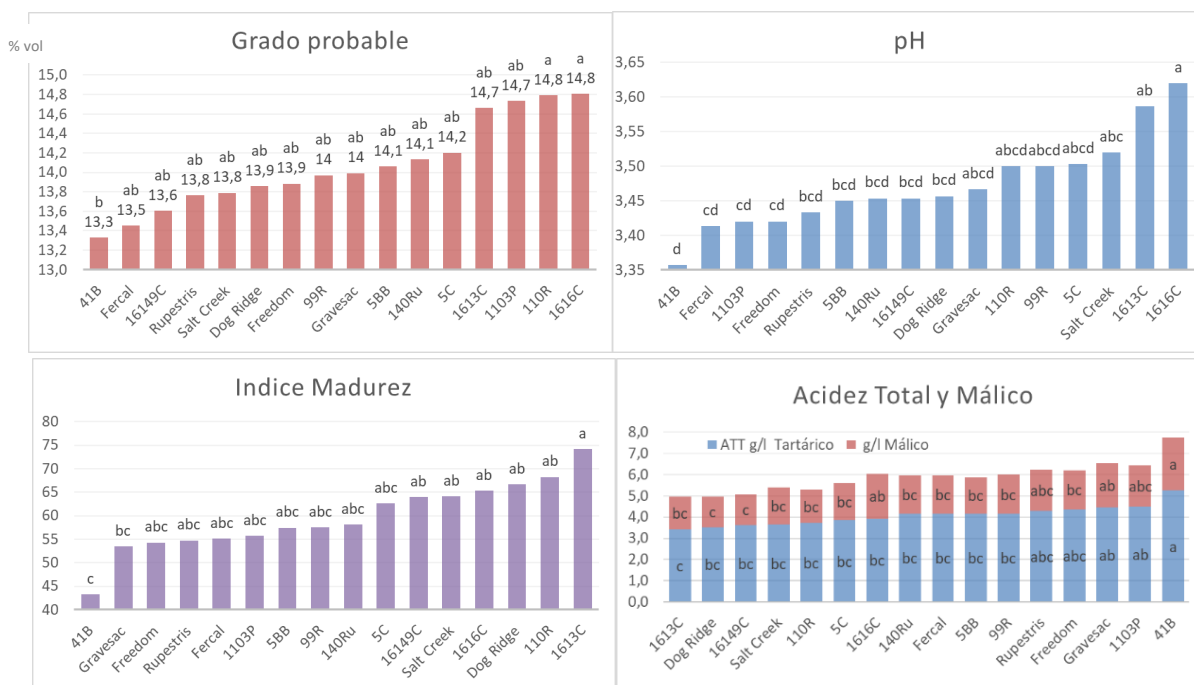
4.2.4. ESTUDIO CALIDAD

4.2.4.1. MADURACIÓN DE LA UVA

El estudio de la maduración de la uva tiene dos componentes, la maduración tecnológica y la fenólica. Hay que considerar que es un estudio comparativo a una fecha media dada.

En la **maduración tecnológica en 2015** (figuras 101) del Tempranillo con los 16 portainjertos hay diferencias en todos los componentes de la maduración tecnológica de la uva, cuyos datos se pueden consultar en la tabla 75 del anexo. Destacan:

- Grado probable: Las uvas de tempranillo sobre 110R y 1616C con 14,8 %vol., presentan un grado probable superior a las de 41B, con 13,3 %vol., pudiéndose observar una diferencia importante de 1,5% vol. (figura 101a).
- pH: Se encuentran diferencias entre portainjertos en 0,26 unidades de pH, suficiente para encontrar variaciones importantes de acidez y repercusiones en la calidad del vino (Chatonnet, 2005). Las uvas producidas en 1616C, con pH de 3,62 son más básicas que con más de la mitad de portainjertos (con pH a partir de 3,46). Las uvas de 1613C con un pH de 3,59 son más básicas que las uvas de 1103 P, Freedom, Fercal, 41B.
- Acidez total (ATT) varía en 2 g/l de acidez expresada en tartárico entre uvas de diferentes portainjertos, encontrando diferencias entre la acidez más alta corresponde al 41B con 5,2 g/L y 1613C, Dog Ridge, 161-49C, Salt Creek, 110R, 5C, 1616C, 140Ru, Fercal, 5BB y 99R entre 3,4 y 4,2 g/l. Las uvas de 1103P y Gravesac con 4,5 g/l son más ácidos que 1613C.

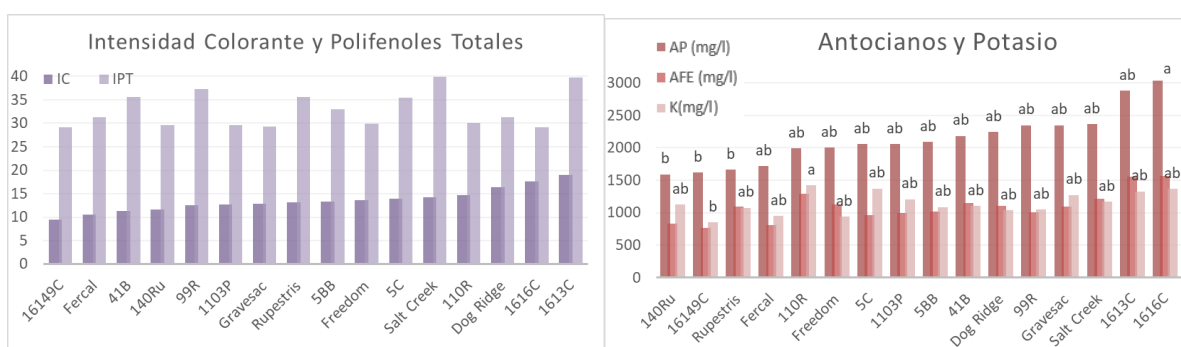


Figuras 101. Gráficos de barras de los parámetros de la maduración tecnológica 2015 de Tempranillo sobre 16 portainjertos. a. Grado probable(%vol.); b. pH; c. Índice de Madurez; d. Acidez total (g/l) y ácido málico(g/l). Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey

- **Ácido málico:** El ácido málico varía más de 1 g/l entre las uvas de los diferentes portainjertos, encontrando diferencias entre los 2,5 g/l del 41B y los valores de 1,8 mg/l y menores, de la mayor parte de portainjertos, como se ve en la gráfica 101d.
- **Índice de madurez:** 41B produce uvas de Tempranillo que presenta un índice de madurez de 43, significativamente menor que las uvas de 161-49C, Salt Creek, 1616C, Dog Ridge, 110R y 1613C que es el grupo con mayor maduración o sobre maduración.

El estudio de la **maduración fenólica en 2015** (figuras 102) ofrece una indicación en cuanto al color y estructura (tabla 80 del anexo). Se incluyen aquí los valores de K, pues su representación gráfica con los antocianos resulta la agrupación más indicada.

La intensidad colorante de las uvas varía en 10 puntos de color, entre las uvas de 161-49C y 1613C, sin embargo, no se encuentran diferencias significativas. El índice de polifenoles totales varía en 11 puntos, pero sin diferencias significativas.



Figuras 102. a. Gráficos de barras de la intensidad colorante (IC) e índice de polifenoles totales (IPT) b. antocianos potenciales (AP), antocianos fácilmente extraíbles (AFE) y potasio (K) de Tempranillo sobre 16 portainjertos el año **2015**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey

Las uvas producidas con 1616C tienen más antocianos potenciales (figura 102b) que las de 140Ru, 161-49C y Rupestris. Las uvas del Tempranillo sobre 110R acumulan más potasio que las de 161-49C. Los antocianos fácilmente extraíbles del tempranillo sobre 1616C y 1613C son mayores que con 161-49C (diferencias al 90% de significación).

De igual modo el contenido en taninos del hollejo (figura 103a) refleja estas diferencias significativas al 90%, también entre 1613C y 1616C con 34 y 161-49C con 17.

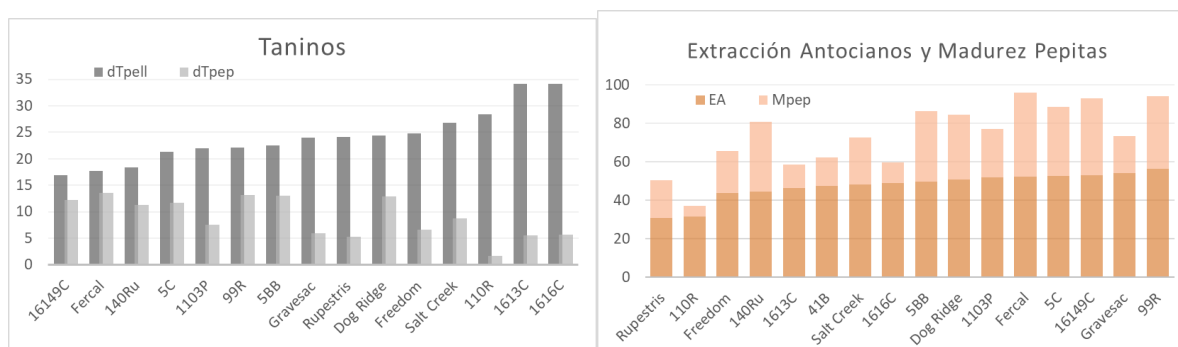


Figura 103. Gráficos de barras de a. los taninos del hollejo (dTpell) y taninos de la pepita (dTpep) (b) extracción de antocianos (EA) y madurez de la pepita (Mpep) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2015**.

En cuanto a la extractabilidad de los antocianos y la madurez de pepitas (figura 103b) no se encuentran diferencias entre portainjertos, pero cabe destacar la tendencia de Rupestris y 110R que, aunque no tienen un valor destacado de AP si alcanzan una buena posición en AFE, especialmente el 110R. Esto se refleja en valores de EA muy bajos, indicando la alta extracción conseguida. 110R además posee muy bajo Mpep, indicando la alta maduración de las pepitas.

Las mayores maduraciones fenólicas corresponden, en cuanto a número de diferencias significativas encontradas, a 1616C y 1613C. La menor maduración fenólica corresponde a 161-49C, con valores significativamente menores de AP y potasio (y al 90% en AFE y dTpell).

Se realiza análisis de componentes principales (figura 104) y mediante dos componentes se ha podido explicar casi el 76% de la varianza total, por lo que las relaciones entre las variables son buenas. Los portainjertos quedan asociados a ciertas variables que están más cercanas, que son las que más destacan en esos portainjertos. Asimismo, esta metodología permite discriminar portainjertos afines de los que no lo son, pudiendo agrupar los portainjertos según su comportamiento. La distribución de los ejes se debe en gran parte a la relación entre los parámetros. Por un lado, los parámetros que indican mayor maduración tecnológica, grado probable y pH, quedan asociados también a los parámetros de que indican mayor maduración fenólica, antocianos, IC e IPT que evolucionan conjuntamente. El potasio asociado al grado probable debido a su influencia en el transporte de foto asimilados de la baya, cercano al pH, debido al impacto que este parámetro tiene en los equilibrios ácido base (Mpelasoka et al, 2003) y vinculado al aumento de antocianos que se produce paralelamente al aumento de grado probable (Leguizamón et al, 2005). EA, Mpep y dTpep se muestran opuestos a la maduración fenólica, y la acidez total y el málico, opuestos a la maduración tecnológica, todos ellos son altos cuando la maduración es escasa, por lo que representan los ejes opuestos.

Un grupo de portainjertos está determinado por la alta acidez, principalmente el 41B con alta ATT y málico, mientras Rupestris, Gravesac, Freedom y 1103P están asociados a baja acidez.

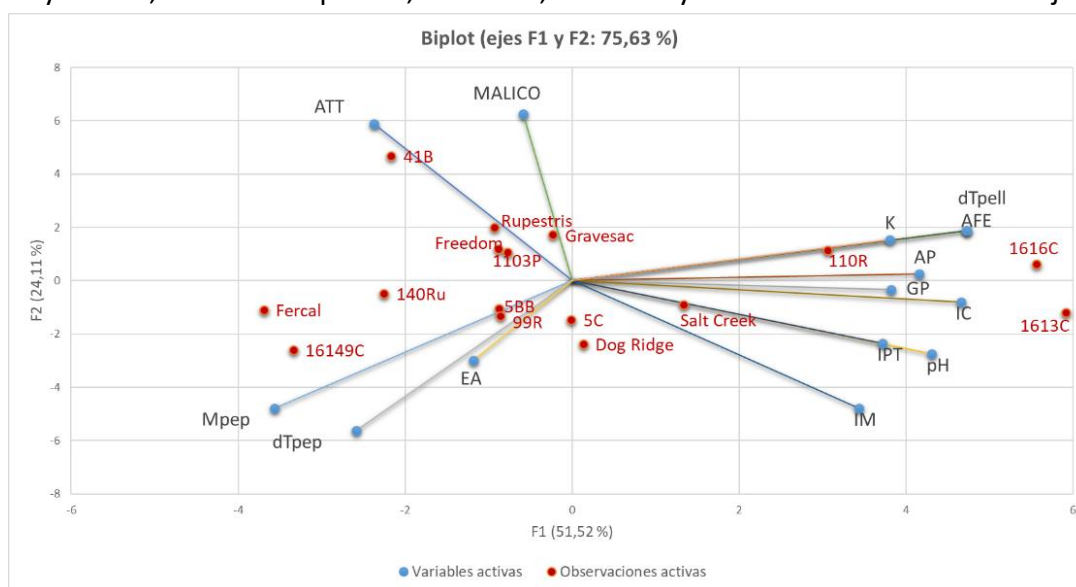
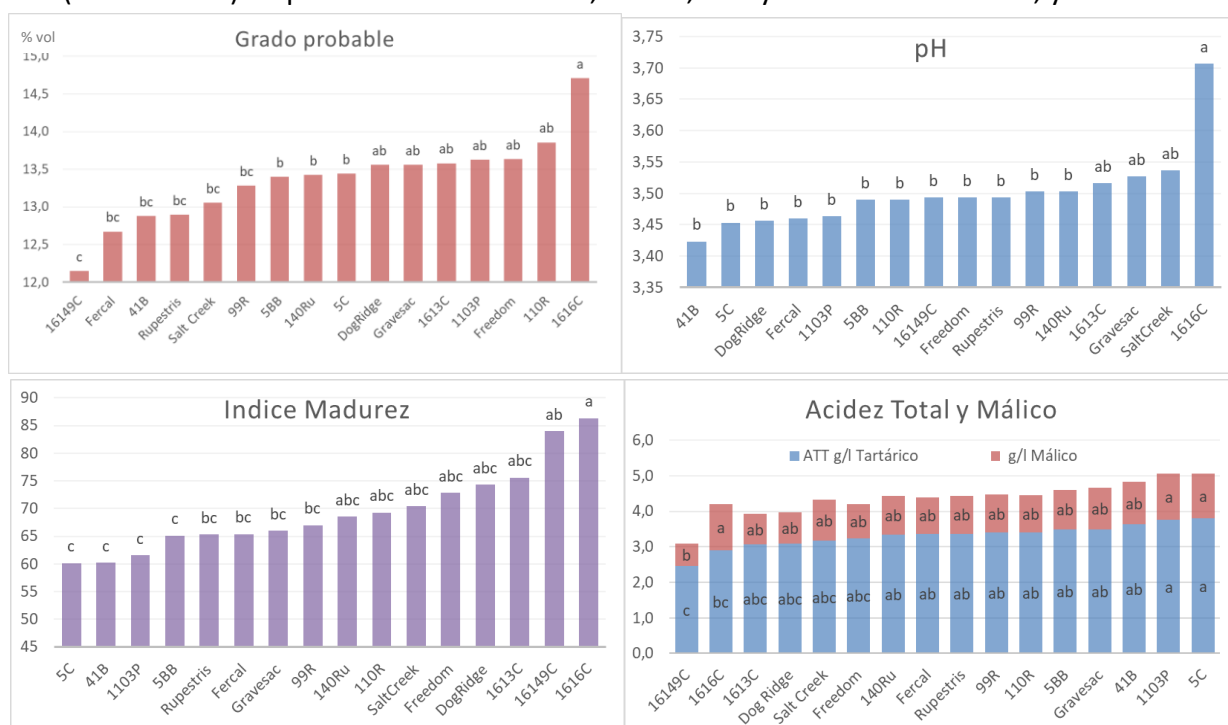


Figura 104. Diagrama de dispersión biespacial de 16 portainjertos en la maduración 2015. ATT- Acidez total; AP- Antocianos potenciales; AFE-Antocianos fácilmente extraíbles; EA- Extracción de antocianos; GP-grado probable; IC-intensidad colorante; IM-índice de maduración; IPT- Intensidad polifenoles totales; dTpep- taninos pepitas; dTpell-componente taninos hollejo; Mpep- madurez de las pepitas; K-potasio

Otro grupo de portainjertos se ven determinados por alta maduración fenólica: 1616C con altos valores de AP, AFE y dTpell, 110R claramente asociado a altos valores de potasio y con valores altos de AP y medios de AFE. El 1613C está asociado sobre todo a la IC e IPT, y también a las mayores maduraciones tecnológicas con alto grado y pH, correspondiéndose también con los mayores IM. Salt Creek está sobre todo asociado a pH e IPT con valores altos, mientras también está cercano a altos grados de IM. Por el contrario, las uvas de 161-49C, Fercal y 140Ru están caracterizados por sus complementarios en cuanto a la maduración fenólica, con altos dTpep y Mpep, indicando la baja maduración de la pepita y opuestos a los ejes dominantes de la maduración fenólica, el K y el pH. Las uvas de tempranillo procedentes de 5BB y 99R cercanos también a EA, indican baja extracción de antocianos.

En la **maduración tecnológica del 2016** de las uvas de Tempranillo sobre los 16 portainjertos, se encuentran diferencias significativas (tabla 76 del anexo), destacando:

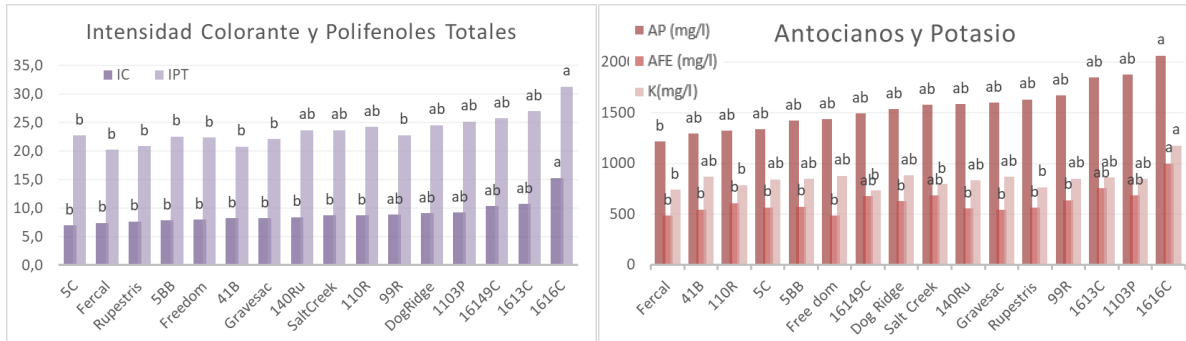
- El grado probable de las uvas de 1616C con 14,71% es mayor que con los portainjertos 5C, 140Ru, 5BB, 99R, Salt Creek, Rupestris, 41B, Fercal y 161-49C (< 13,5% vol.). El grado de las uvas de 161-49C es menor que Dog Ridge, Gravesac, 1613C, 1103P, Freedom, 110R y 1616C.
- El pH de las uvas de 1616C con 3,71 unidades de pH, es mayor que la mayoría de portainjertos excepto 1613C, Gravesac y Salt Creek.
- La acidez total de 3,8 mg/l de las uvas de 5C y 1103P es mayor que las de 1616C y 161-49C, de menos de 3 g/l. Las uvas de 161-49C mantienen menos ácido málico 0,63 g/l, que las uvas de 1103P, 1616C y 5C con 1,3 g/l de málico.
- El índice de maduración indica cómo las uvas de 1616C se encuentran sobre maduras (índice de 82) respecto a las uvas de 5BB, 1103P, 41B y 5C de entre 65 a 60, ya maduras.



Figuras 105. Gráficos de barras de los parámetros de la maduración tecnológica 2016 de Tempranillo sobre 16 portainjertos: a. Grado probable; b. pH; c. Índice de Madurez; d. Acidez total y ácido málico. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey

Respecto a la maduración fenólica de **2016**, se observan diferencias entre las uvas de Tempranillo de los 16 portainjertos en los parámetros AP, AFE, dTpell, IPT, IC y K, cuyos resultados y diferencias estadísticas se pueden consultar en la tabla 81 del anexo.

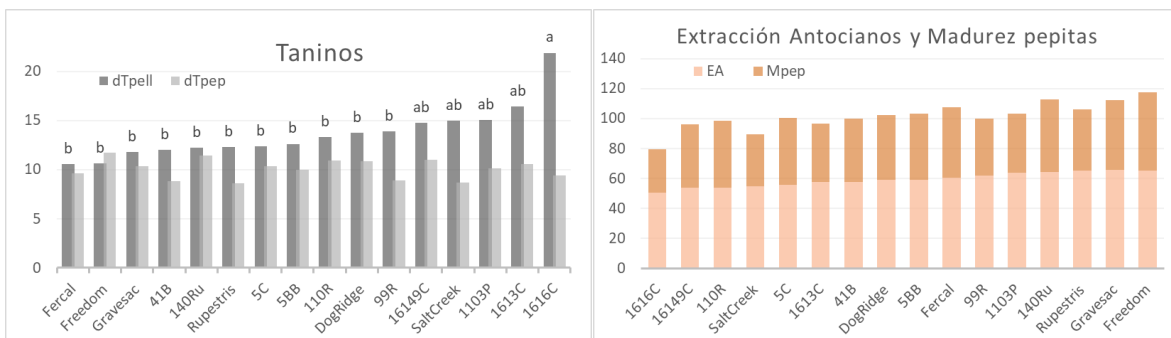
En cuanto al índice de polifenoles totales e intensidad colorante (figura 106), el portainjerto 1616C produce uvas que tienen valores superiores que 5C, Fercal, Rupestris, 5BB, Freedom, 41B y Gravesac, y en intensidad colorante también superior a 140Ru, Salt Creek y 110R.



Figuras 106. (a). Gráficos de barras de la intensidad colorante (IC) e índice de polifenoles totales (IPT) (b) antocianos potenciales (AP), antocianos fácilmente extraíbles (AFE) y potasio (K) de Tempranillo sobre 16 portainjertos el año **2016**. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey

Las uvas de 1616C presentan más antocianos potenciales que las de Fercal, más antocianos fácilmente extraíbles que las uvas de Fercal, Freedom, Gravesac, 41B, 140Ru, Rupestris, 5C, 5BB, 110R, Dog Ridge y 99R y más potasio que las uvas de 161-49C, Fercal, Rupestris, 110R y Salt Creek (figura 106b)

Las uvas de 1616C presentan mayor cantidad de taninos del hollejo que las de 99R, Dog Ridge, 110R, 5BB, 5C, Rupestris, 140Ru, 41B, Gravesac, Freedom y Fercal. Las uvas de tempranillo de distintos portainjertos no se diferencian en cuanto a dTpep, Mpep ni EA (figuras 107).



Figuras 107. Gráfico de barras de a. Taninos del hollejo (dTpell) y taninos de la pepita (dTpep); b. Extracción de antocianos (EA) y Madurez de la pepita (Mpep) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2016**. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey

En la figura 108 se muestra el análisis de componentes principales para los parámetros de maduración correspondientes al año **2016** y cómo se distribuyen los portainjertos en el biplot con los ejes de los parámetros distribuidos de manera similar que en 2015. Un grupo de portainjertos determinados por la maduración fenólica, que va bastante ligada a la maduración en azúcares y aumento de K, disminución de pH, en la cual 1616C destaca por encima de los

demás y luego, 1613C (ligado al IPT), 161-49C, Dog Ridge (ligados a altos EA, IM y taninos de pepitas), y otros como Salt Creek, 1103P (cercanos al málico). Otro grupo de portainjertos que están muy definidos por la acidez total, y se distribuyen en gradiente: 41B, 5C, Rupestris, 5BB y Gravesac. 99R muy ligado al málico. En dirección opuesta a 1616C se encuentra Fercal, con los valores más bajos de maduración fenólica, potasio y grado probable.

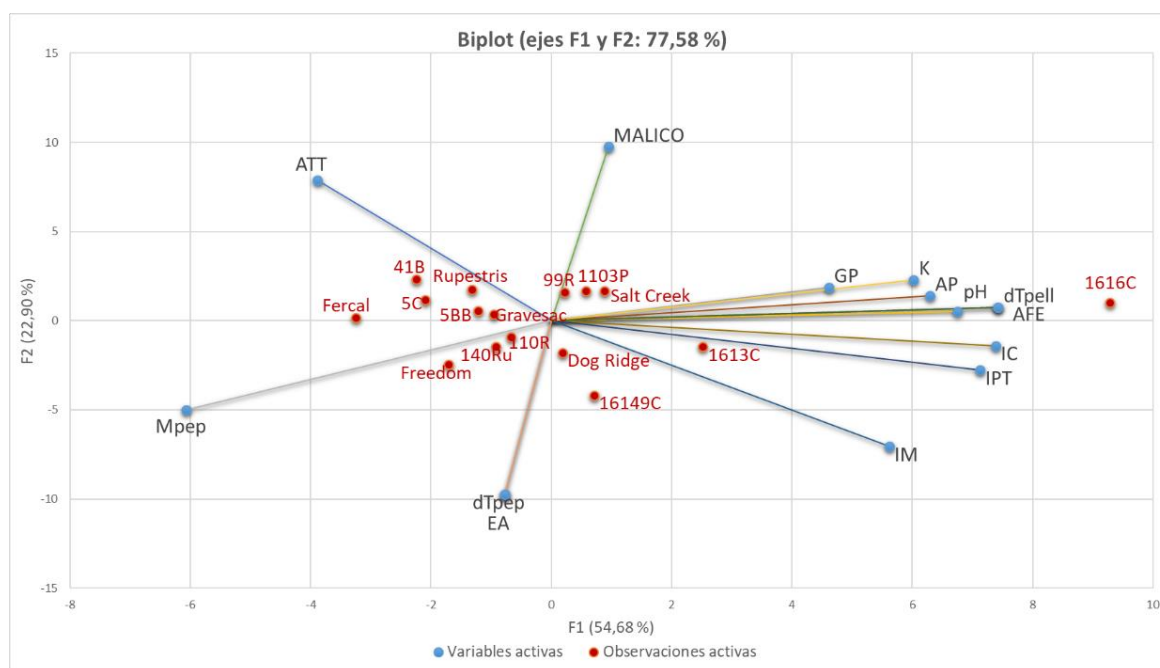
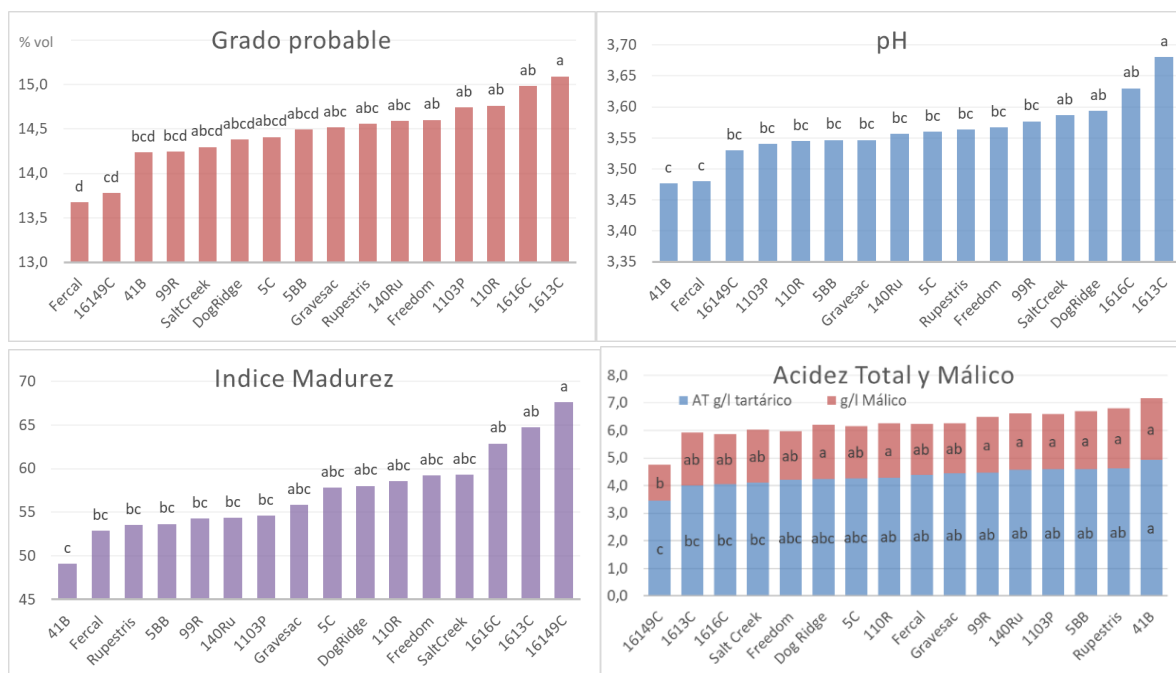


Figura 108. Diagrama de dispersión biespacial de la maduración **2016** de Tempranillo sobre 16 portainjertos. ATT- Acidez Total AP- Antocianos potenciales; AFE-Antocianos fácilmente extraíbles; EA-Extracción de antocianos; GP-grado probable; IC-intensidad colorante; IM-índice de maduración; IPT-Intensidad polifenoles totales; dTpep- taninos pepitas; dTpell-componente taninos hollejo; Mpep-madurez de las pepitas; K-potasio.

En la **maduración tecnológica 2017** (figuras 109) de las uvas de Tempranillo sobre los 16 portainjertos, se encuentra diferencias en todos los parámetros que puede consultar en la tabla 77 del anexo.

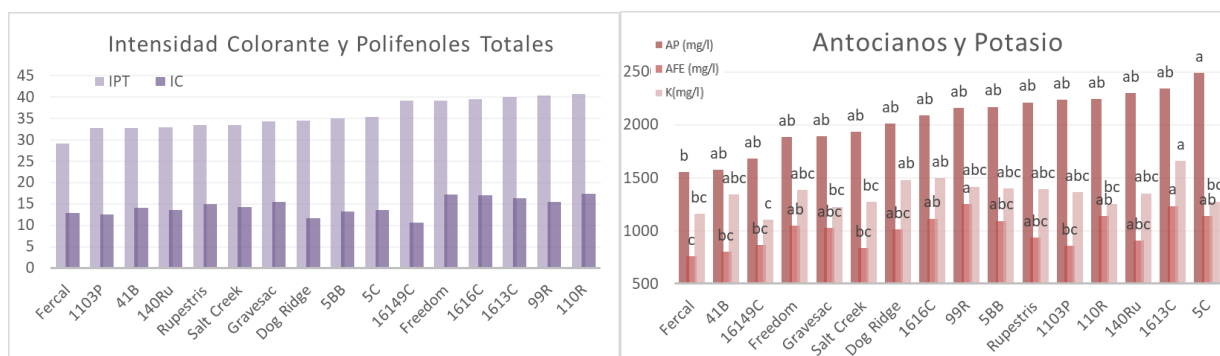
- Grado Probable: Los portainjertos 1613C, 1616C, 110R, 1103P y Freedom producen uvas con mayor grado probable que 161-49C y Fercal. Las uvas de 1613C también tienen mayor grado que 41B y 99R.
- Con los portainjertos 1613C, 1616C, Dog Ridge y Salt Creek se producen uvas con pH de hasta 3,59 el grupo de pH más básicos mayores que con 41B y Fercal con pH de 3,48.
- En cuanto a la acidez, 41B con 4,9 g/l mantiene mayor acidez total que 161-49C, 1613C, 1616C y Salt Creek. Además, con 161-49C las uvas presentan menor acidez total que con 110R, Fercal, Gravesac, 99R, 140 Ru, 1103P, 5BB y Rupestris (mayores que 4,3 g/l). Las uvas de 161-49C conservan menos málico que con los portainjertos 110R, Dog Ridge, 1103P, 99R, 140Ru, 5BB, Rupestris y 41B.
- En cuanto al índice de maduración, destaca 161-49C, cuyo valor 68 es elevado, aunque se debe a una parada en la maduración de sus escasas uvas en un bajo grado y que consumen la acidez hasta los niveles más bajos por lo que resulta un alto IM (figura 109a y 109c). 41B con un índice de 49 es el menos maduro y 1613C y 1616C los más maduros.



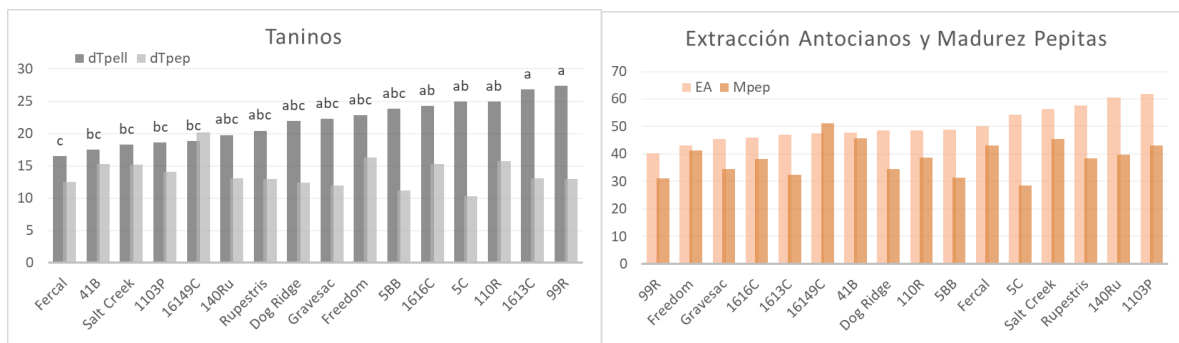
Figuras 109. Gráficos de barras de los parámetros de la maduración tecnológica **2017** para Tempranillo en 16 portainjertos diferentes: a) Grado probable; b) pH; c) Índice de madurez; d) Acidez total y ácido málico. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

En cuanto a la maduración fenólica **2017** del Tempranillo injertado con los 16 portainjertos se encuentran diferencias en dTpell y AFE y AP (tabla 82 del anexo).

En cuanto a la intensidad colorante y polifenoles totales se observa la distribución de medias en la figura 110, con una tendencia a mayores IC asociadas a las mayores IPT, como en el caso del 110R, pero sin diferencias entre portainjertos. En cuanto a los antocianos potenciales (figura 110b) 5C produce más cantidad que Fercal. En cuanto a antocianos fácilmente extraíbles, las uvas de Fercal también tienen menos AFE que las de 5C, 140Ru y 1616C. Las uvas de 1613C acumulan más potasio que las de 5C, Salt Creek, 110R, Gravesac, Fercal y 161-49C. Las uvas de 161-49C también tienen menos potasio que las de 1616C y Dog Ridge.



Figuras 110. Gráficos de barras de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2017** a) intensidad colorante (IC) e índice de polifenoles totales (IPT) b) antocianos potenciales (AP), antocianos fácilmente extraíbles (AFE) y potasio (K). Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.



Figuras 111. Gráfico de barras de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. a. Taninos del hollejo (dTpell) y taninos de la pepita (dTpep); b. Extracción de antocianos (EA) y Madurez de la pepita (Mpep). Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro alfa 0,05 según el test Tukey.

Las uvas de 1613C y 99R presentan más taninos de los hollejos que en las uvas de 16149C, 1103P, Salt Creek, 41B y Fercal (figura 111a). Fercal también presenta menos taninos que 1616C, 5C y 110R. En cuanto a EA y Mpep no se encuentran diferencias significativas (figura 111b).

En la figura 112 se muestra en análisis de componentes principales de la maduración en 2017. Se observa una primera componente dominada por la madurez polifenólica, asociada al grado, pH y potasio, otra segunda componente más asociada a parámetros de la acidez total y málico y, como novedad respecto al 2015 y 2016, también la extracción de antocianos (que deja de estar asociada al eje del tanino de pepitas y describe un vector independiente). En una tercera dirección las componentes de los taninos y maduración de pepitas.

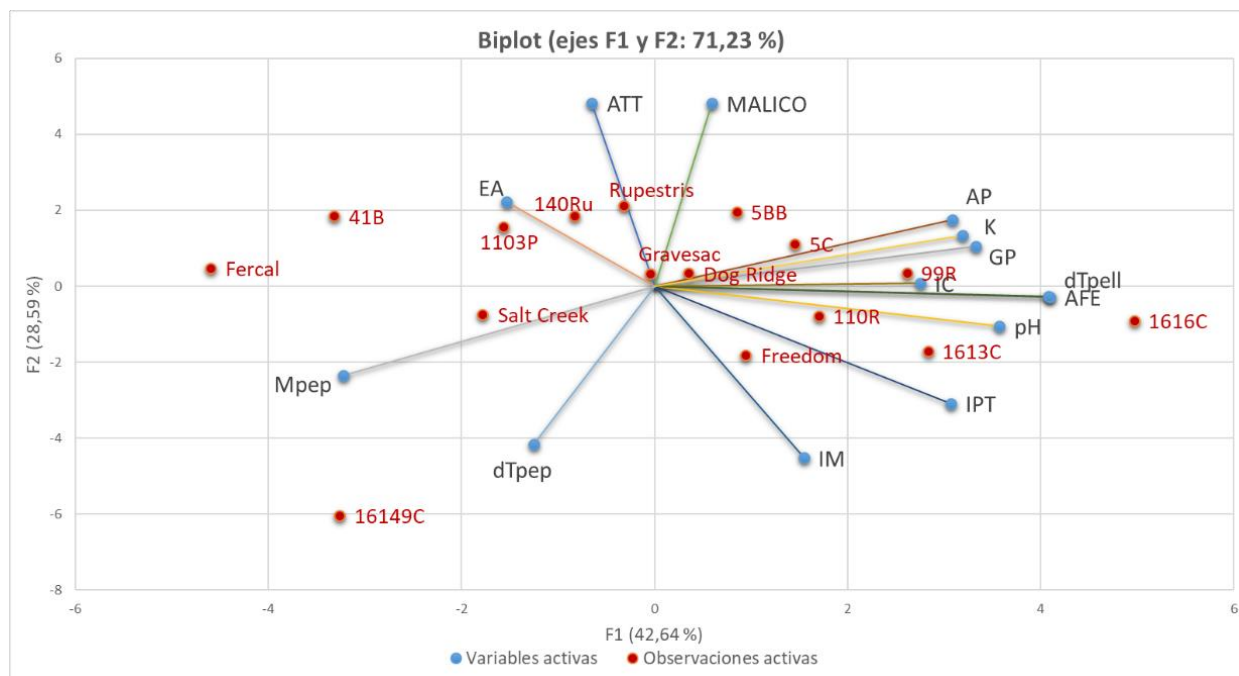
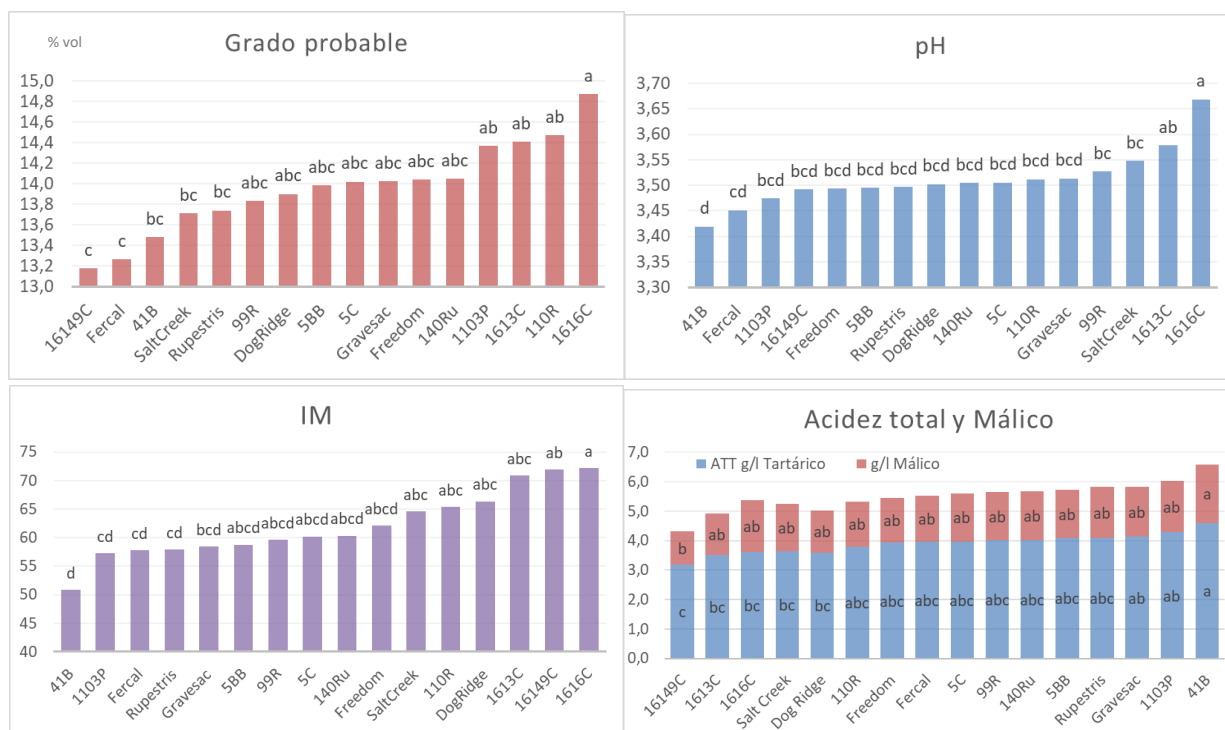


Figura 112. Diagrama de dispersión biespacial de 16 portainjertos en la maduración 2017. ATT- Acidez Total tartárica AP- Antocianos potenciales; AFE-Antocianos fácilmente extraíbles; EA- Extracción de antocianos; GP-grado probable; IC-intensidad colorante; IM-índice de maduración; IPT- Intensidad polifenoles totales; dTpep- taninos pepitas; dTpell-componente taninos hollejo; Mpep- madurez de las pepitas; K-potasio

El portainjerto 1616C es el que produce uvas más maduras, muy dominado por el componente polifenólico, seguido de 1613C, 99R, 110R, 5C, 5BB, asociados cada uno a los parámetros que más les representa. En el extremo opuesto con las uvas menos maduras 41B, Fercal, Salt Creek. El grupo de portainjertos más influenciado por las acideces es por un lado 5BB, pero asociado a altas maduraciones fenólica y por otro lado Rupestris, 140Ru y 1103P, que también están cercanos del eje EA, con bajos niveles de extracción de antocianos. El portainjerto 161-49C se distribuye en el eje de los taninos de las pepitas mostrando la menor maduración de pepitas, y Salt Creek también destaca asociado sobre todo a la maduración de las pepitas.

El análisis de los datos interanuales del período **2015-2017** de la maduración del Tempranillo sobre los 16 portainjertos se revela con las limitaciones propias de un análisis en el que fluctuaciones de los diferentes años aumentan mucho la varianza muestral (tabla 78 anexo). El grado de maduración obtenido varía sensiblemente según el año, por ejemplo, los valores máximos de las medias de IM en 2017 son de 67 y de 87 en 2016. Esto hace que parámetros que todos los años han tenido diferencias significativas entre los portainjertos, en un análisis global de los tres años en su conjunto no lo sean, como sucede con el málico, el IPT o la IC. Aun así, varios parámetros conservan altas diferencias significativas, por lo que el tratamiento de los datos con las medias interanuales resulta interesante y se muestra en la tabla 78 del anexo. Respecto a la maduración tecnológica interanual cabe destacar (figura 113):

- Grado probable: se encuentran diferencias significativas entre las uvas de 1616C con 14,9% vol. respecto a Rupestris, Salt Creek, 41B, Fercal y 161-49C de menos de 13,8 % vol. Los portainjertos 161-49C y Fercal producen menos grado que 1103P, 1613C, 110R y 1616C.



Figuras 113. Gráficos de barras de los parámetros de la maduración tecnológica media de **2015-2016-2017** para Tempranillo en 16 portainjertos diferentes: a) Grado probable; b) pH; c) Índice de madurez; d) Acidez total y ácido málico. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

- pH: las uvas de Tempranillo con 1616C tiene un pH de 3,67 más básico que con el resto de los portainjertos excepto 1613C. Ambos híbridos de *V. longii*, 1616C y 1613C, presentan pH más ácidos que las uvas de tempranillo con 41B, Fercal y 1103P.

- Acidez: las uvas producidas con 41B mantiene más acidez (4,6 g/l) que Dog Ridge, Salt Creek, 1616C, 1613C y 161-49C, de menos de 3,8 g/l. El Tempranillo con 161-49C presenta una acidez menor en uvas que con Gravesac, 1103P y 41B.

- Índice Madurez: Las uvas de 1616C y 161-49C con un valor de 72 tienen un índice de maduración superior que Gravesac, Rupestris, Fercal, 1103P y 41B menores que 59. Las uvas de 41B tienen menor IM que las de Salt Creek, 110R, Dog Ridge, 1613C, 161-49C y 1616C.

En cuanto a la **maduración fenólica media de 2015-2016-2017** se encuentran diferencias solamente en el AFE y AP, potasio y dTpell (tabla 83 anexo).

Las uvas de Tempranillo con 1616C con 2480 mg/l tienen más antocianos potenciales que con 41B, 161-49C y Fercal con menos de 1700 m/l. 1616C también tiene mayores AFE que 161-49C, 140R y Fercal, menores de 770 mg/l. Las uvas de 1616C con 1400 mg/l de potasio acumula más que Fercal y 161-49C, con menos de 950 mg/l (figura 114a).

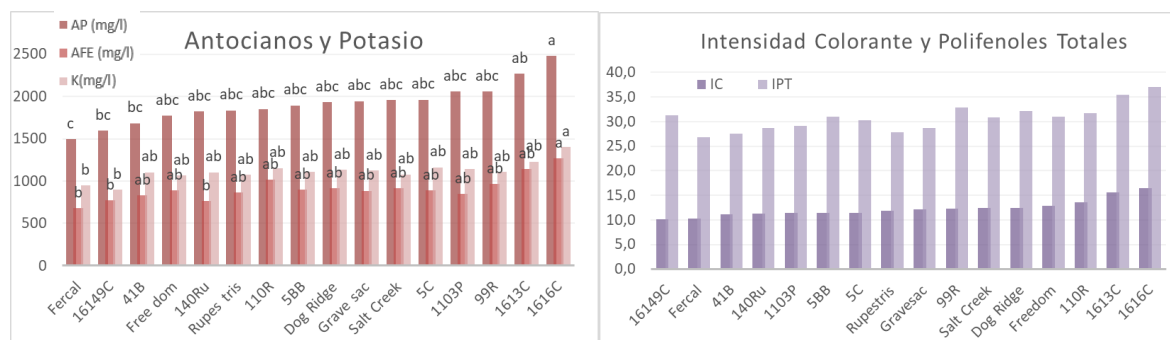
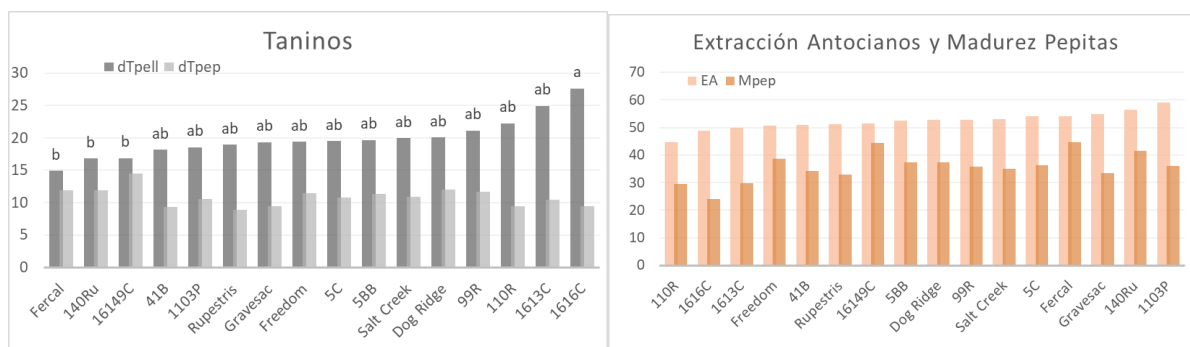


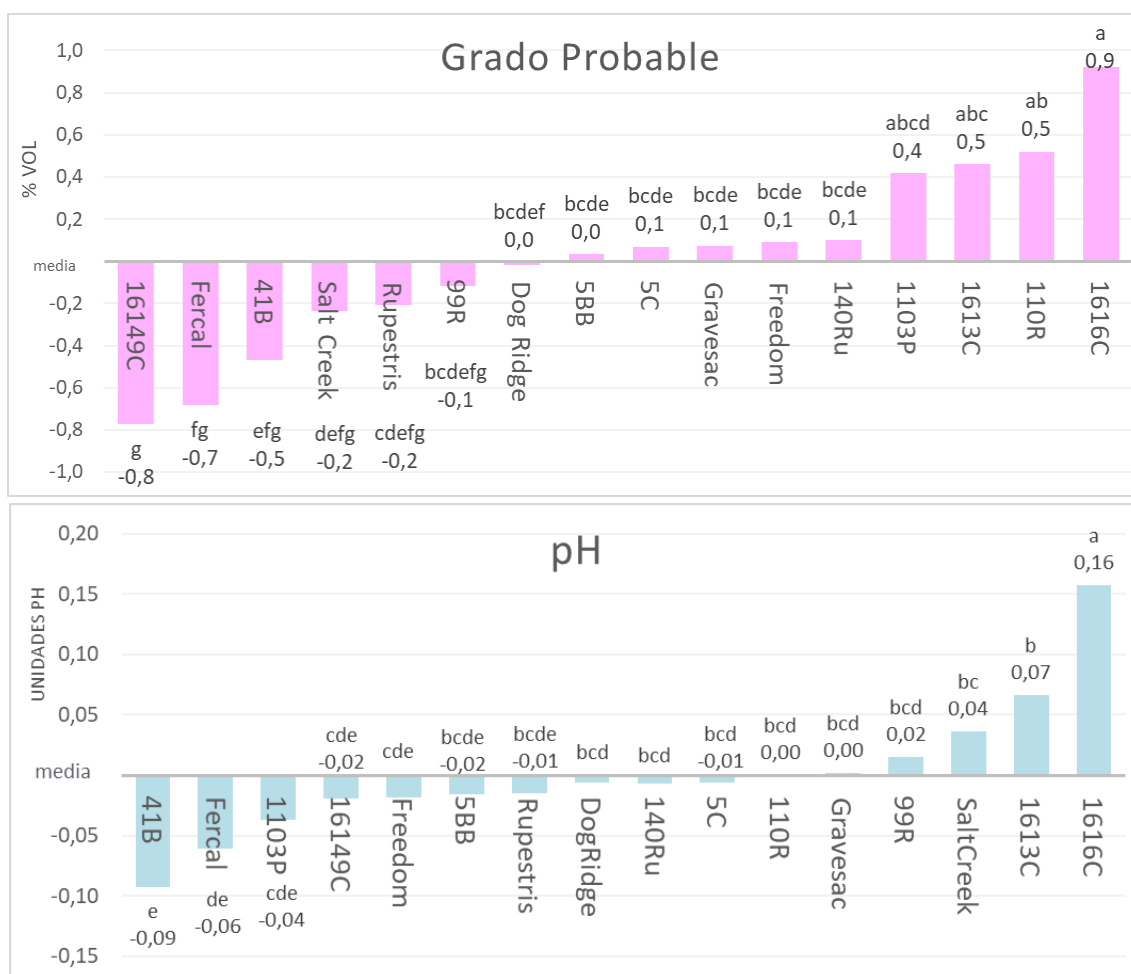
Figura 114. Gráficos de barras de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015-2016-2017** a) Antocianos potenciales (AP), antocianos fácilmente extraíbles (AFE) y potasio (K); b) Intensidad colorante (IC) e índice de polifenoles totales (IPT). Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

En cuanto a la IC e IPT no se encuentran diferencias entre los portainjertos (figura 114b). Tampoco se encuentran en EA ni Mpep (figura 115b). Tan solo se mantienen las diferencias significativas entre los taninos del hollejo (figura 115a), entre 1616C con 28 es superior a 161-49C, 140Ru y Fercal entre 17 y 15 puntos.



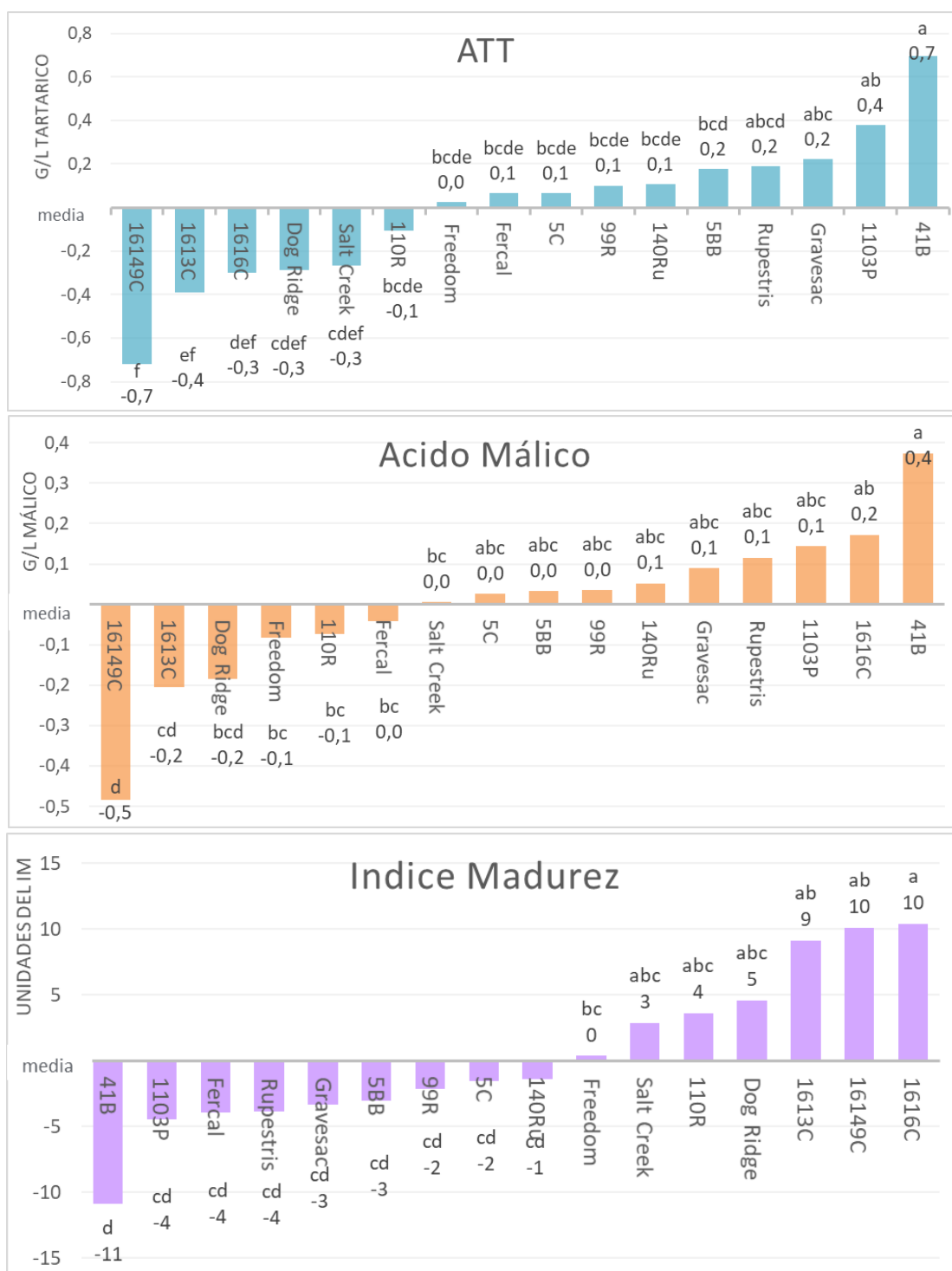
Figuras 115. Gráficos de barras de las medias en los años **2015-2016-2017** de a) Taninos; b) Extracción de antocianos y maduración de pepitas para Tempranillo en 16 portainjertos diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey.

Se analiza la **maduración interanual** de las uvas de Tempranillo sobre 16 portainjertos mediante las desviaciones respecto de la media anual eliminando en lo posible la interferencia debida al año, y valorar así, la influencia de los portainjertos en su totalidad. De esta manera se conservan las unidades de los parámetros, el signo positivo indica un valor sobre la media y el negativo un déficit. En los resultados de la maduración tecnológica de 2015-2016-2017 valorada con la desviación sobre la media anual (tabla 79 anexo) se aprecian más diferencias que en los análisis previos con la media como se observa en las figuras 116:



Figuras 116. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros de la maduración tecnológica **2015-2016-2017** para Tempranillo en 16 portainjertos diferentes: a. Grado probable (% vol.); b. pH Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 según el test Tukey.

- Grado Probable: Las uvas de 1616C, 110R, 1613C y 1103P presentan mayor grado probable que las de 41B, Fercal y 161-49C. Los portainjertos 1613C, 110R y 1616C producen uvas de mayor grado probable que Salt Creek. El portainjerto 110R induce mayor grado que Rupestris y 1616C mayor que 140Ru, Freedom, Gravesac, 5C, 5BB y 99R (figura 116a).
- pH: Las uvas de 1616C con +0,16 unidades de pH son más básicas que las producidas sobre el resto de portainjertos. 1613C también produce uvas más básicas que Freedom, 161-49C, 1103P, Fercal y 41B. Las uvas de 41B tiene un pH más ácido que Dog Ridge, 140-Ru, 5C, 110R, Gravesac, 99R, Salt Creek, 1613C y 1616C (figura 116b).



Figuras 116. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros de la maduración tecnológica **2015-2016-2017** para Tempranillo en 16 portainjertos diferentes: c) Acidez total (g/l tartárico). d. Ácido málico(g/l); e. Índice Madurez; Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey.

- Acidez Total: 41B produce uvas más ácidas que 5BB, 140Ru, 99R, 5C, Fercal, Freedom, 110R, Salt Creek, Dog Ridge, 1616C, 1613C, 161-49C. Las uvas de 1103P tienen más acidez que las uvas producidas sobre Salt Creek, Dog Ridge, 1616C, 1613C y 161-49C (fig. 116e).

- Acido málico: Las uvas de 41B con +0,4 g/l tiene un málico mayor que las uvas de Salt Creek, Fercal, 110R, Freedom, Dog Ridge, 1613C y 161-49C (figura 116c). Las uvas procedentes de 1616C con +0,2 g/l sobre la media tienen más ácido málico que las uvas de 1613C y 161-49C que son los que menos málico conservan.
- Índice de Maduración: la figura 116d ilustra bien las diferencias entre los extremos y los valores en el eje opuesto. Así las uvas de 1616C, 161-49C y 1613C con alrededor de +10 puntos sobre la media, tienen una mayor maduración que las uvas de los portainjertos situados en el eje negativo 140Ru, 5C, 99R, 5BB, Gravesac, Rupestris, Fercal, 1103P y 41B. Por el contrario, 41B con -11 puntos es significativamente menor que los portainjertos que están sobre la media Freedom, Salt Creek, 110R, Dog Ridge, 1613C, 161-49C y 1616C.

En el estudio de la maduración fenólica del período 2015-2017 se puede observar como con el análisis de las desviaciones respecto de las medias se encuentran más diferencias en todos los parámetros que las que se mostraban en los estudios previos (tabla 84 del anexo).

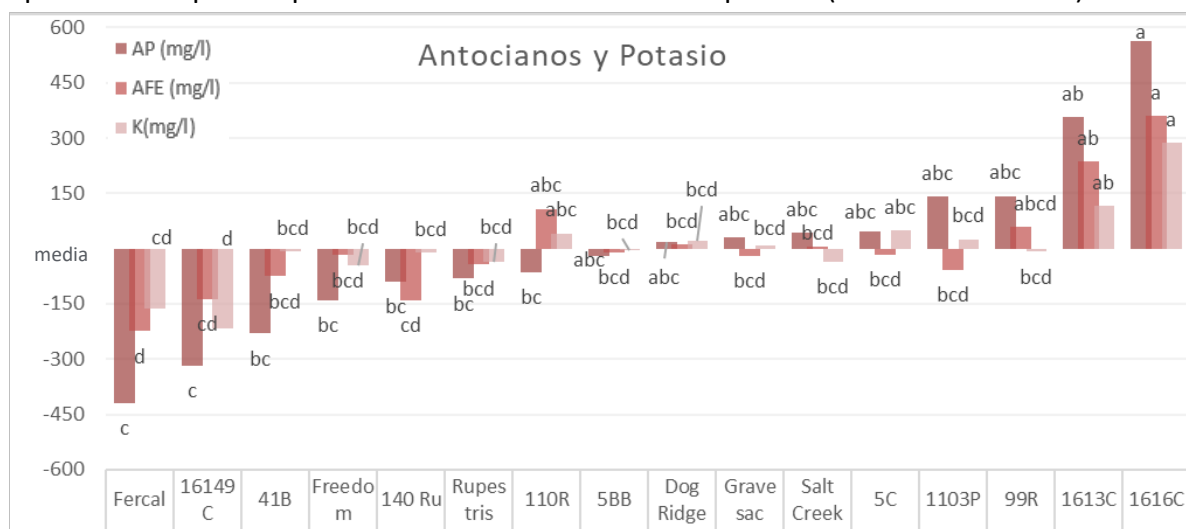


Figura 117. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de antocianos potenciales (AP), antocianos fácilmente extraíbles (AFE) y potasio (K) de Tempranillo sobre 16 portainjertos 2015-2016-2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

Se encuentran diferencias en los antocianos, tanto en los potenciales como en los fácilmente extraíbles y también en el potasio, como se ilustra en la figura 117. Las diferencias en el contenido de antocianos es mayor en los fácilmente extraíbles que en los potenciales. Las uvas de 1616C tiene mayor cantidad de antocianos potenciales, con una desviación de +560 mg/l, que las uvas de 110R, Rupestris, 140 Ru, Freedom, 41B, 161-49C y Fercal. Las uvas producidas sobre 1613C tienen más antocianos potenciales que las uvas de 161-49C y Fercal.

En cuanto a antocianos fácilmente extraíbles, las uvas de 1616C son las que mayor cantidad tienen con +360 mg/l sobre la media, mayor que Fercal, 140Ru, 161-49C, 41B, 1103P, Rupestris, Gravesac, Freedom, 5C, 5BB, Salt Creek y Dog Ridge. Las uvas de 1613C también tienen mayor cantidad de AFE que las uvas de 161-49C, 140Ru y Fercal. Respecto al potasio, tiene un rango de variación de 400 mg/l entre portainjertos, estando las mayores cantidades en las uvas de 1616C y 1613C respecto a las más deficitarias procedentes de 161-49C y Fercal.

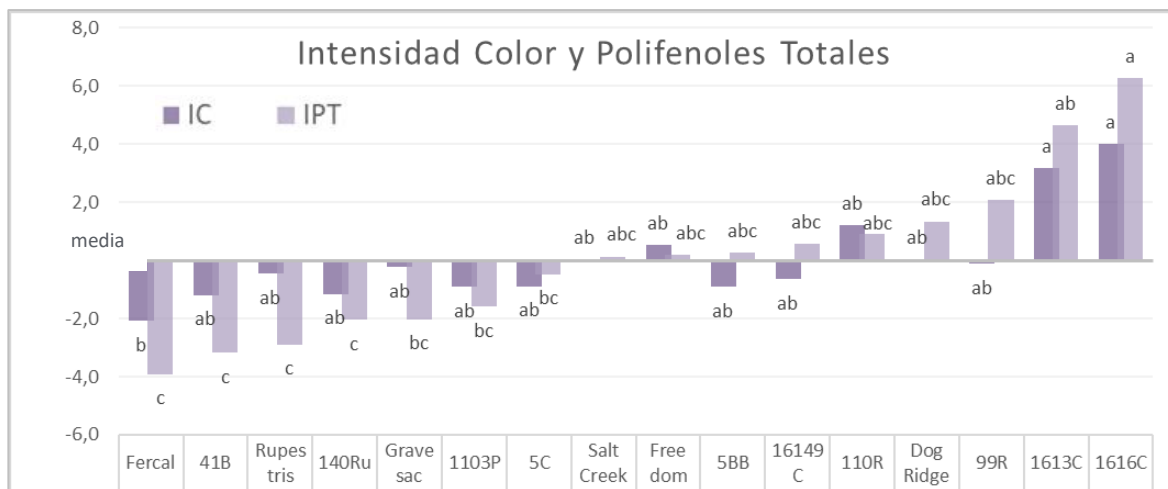
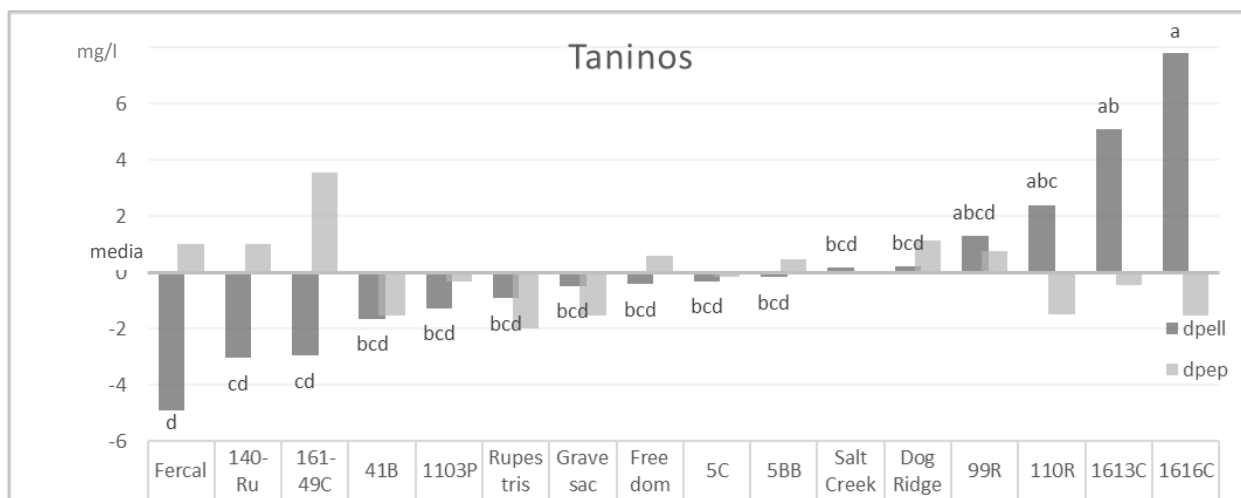


Figura 118. Gráficos de barras de las desviaciones respecto la media anual de la intensidad colorante (IC) e índice de polifenoles totales (IPT) de Tempranillo sobre 16 portainjertos 2015-2016-2017. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

En cuanto a la intensidad colorante se encuentran diferencias entre las uvas de 1616C y 1613C con respecto a Fercal. En cuanto a polifenoles totales las uvas producidas sobre 1616C y 1613C presentan más cantidad que las uvas producidas sobre 140Ru, Rupestris, 41B y Fercal. Las uvas de 1616C también presentan mayor IPT que las de Gravesac (figura 118).



Figuras 119. Gráfico de barras de las desviaciones respecto la media anual de los taninos del hollejo (dTpell) y taninos de la pepita (dTpep) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2015-2016-2017. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey.

Los componentes polifenólicos del hollejo también muestran diferencias, teniendo las uvas de 1616C y 1613C más cantidad de taninos del hollejo que las uvas de 161-49C, 140Ru y Fercal como se puede apreciar en la figura 119. No se encuentran diferencias en los taninos de las pepitas, madurez de las pepitas y extracción de antocianos entre las uvas de los distintos portainjertos como se puede ver en las figuras 119 y 120.

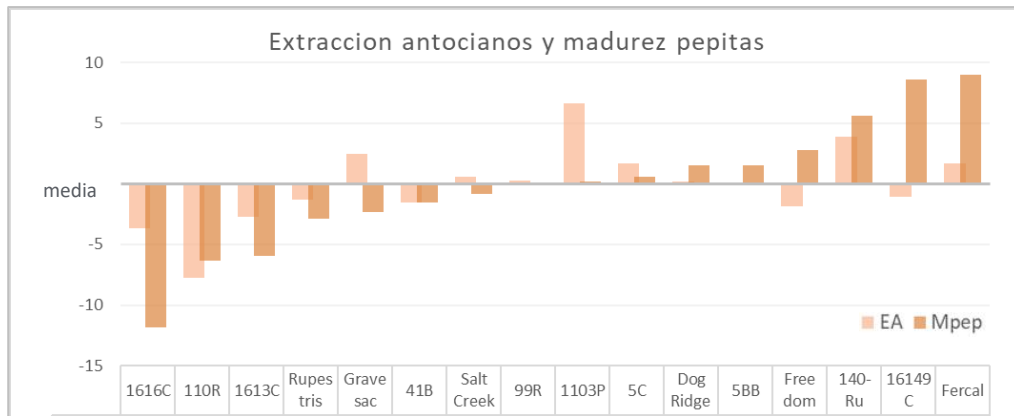


Figura 120. Gráfico de barras de las desviaciones respecto a la media de la extracción de antocianos (EA) y Madurez de la pepita (Mpep) de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015-2016-2017.

En cuanto al análisis de componentes principales de las desviaciones de los parámetros de Tempranillo sobre 16 portainjertos durante 2015, 2016 y 2017 (figura 121), se puede ver como aumenta la representación de la variabilidad hasta un 86 % lo cual revela una excelente relación entre las variables. Se conserva la distribución de los ejes vista en año anteriores, un componente principal relacionado con antocianos, IC, IPT, grado, pH y potasio de las uvas sobre los que destaca 1616C, y seguido de 1613C y 110R. En situación opuesta destaca las uvas de Fercal, 140Ru, 161-49C, principalmente asociadas a los altos taninos de las pepitas y baja maduración de pepitas. En los ejes de la acidez total después de las uvas de 41B se encuentran 1103P, Rupestris y Gravesac, opuestos al índice de maduración, al que se encuentran muy vinculados Dog Ridge y Salt Creek.

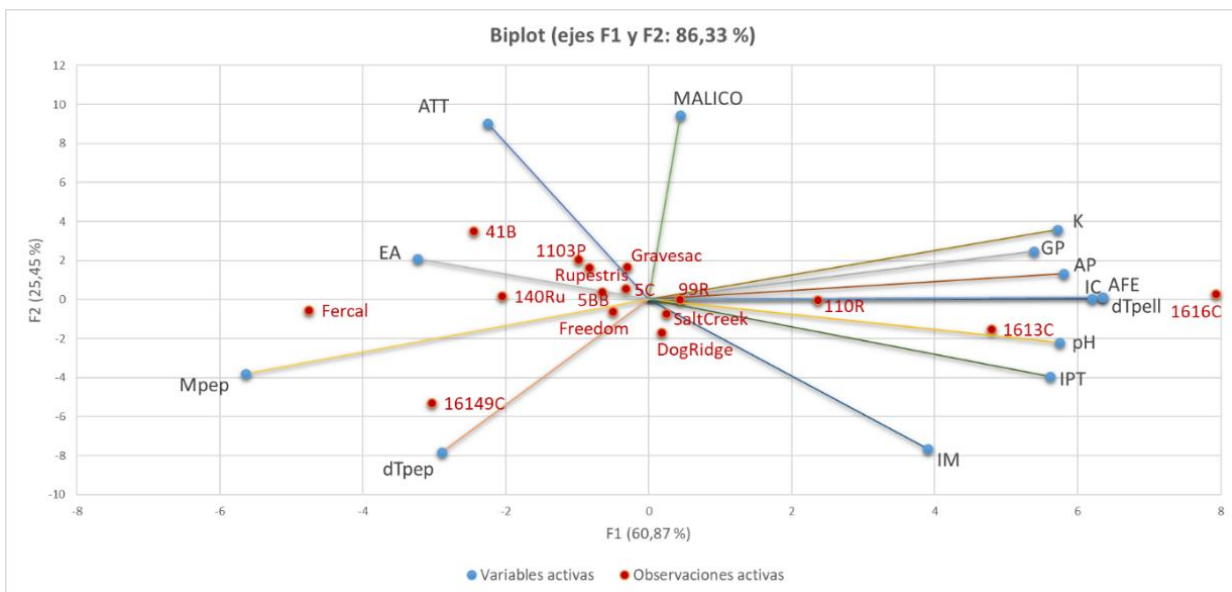


Figura 121. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de la maduración 2015 + 2016 + 2017 de Tempranillo sobre 16 portainjertos. ATT- Acidez Total tartárica AP- Antocianos potenciales; AFE- Antocianos fácilmente extraíbles; EA- Extracción de antocianos; GP-grado probable; IC-intensidad colorante; IM-índice de maduración; IPT- Intensidad polifenoles totales; dTpep- taninos pepitas; dTpell-componente taninos hollejo; Mpep- madurez de las pepitas; K-potasio

4.2.4.2. ESTUDIO ENOLÓGICO

4.2.4.2.1. ANÁLISIS DE VINOS

Para el estudio de los resultados analíticos de los vinos de Tempranillo de los 16 portainjertos elaborados en las campañas 2015, 2016 y 2017 se han llevado a cabo componentes principales y análisis estadísticos de la varianza. Los resultados de los análisis de control de elaboración se pueden consultar en el anexo tabla 84b, donde se evidencia la correcta elaboración de los vinos. A continuación, se adjuntan los resultados de las características de calidad de los vinos de cada año.

En **2015**, los portainjertos 1613C y 110R producen el vino de mayor grado alcohólico y Fercal vino de menor grado (tabla 48). Los vinos de pH más altos corresponden a 1616C y 1613C de pH mayores de 3,80. Con la acidez total sucede a la inversa siendo menor en 1613C con 4,1 g/l de acidez mientras Fercal, junto con 41B llegan a 5 g/l. En cuanto a las características cromáticas las mayores IC corresponden con 1613C y 110R junto con los mayores IPT y las mayores catequinas (aunque hay que destacar altas catequinas en 161-49C). Respecto a los antocianos y el potasio, los vinos de 1613C y 1616C presentan mayor cantidad, junto con los vinos de Gravesac en los antocianos. En cuanto al índice de ionización de antocianos todos los valores están entre 10 y 20, valores moderados, con la excepción de 1616C que parece tener menos cantidad de antocianos ionizados, acorde con el mayor pH, que afecta directamente al estado de ionización de los antocianos, reduciendo el color de los vinos tintos (Zamora Marín, 2003).

Tabla 48. Parámetros analíticos de calidad de los vinos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2015. Unidades: Grado (%vol.); pH (un pH); AT-Acidez total (g/l expresado en tartárico); DO 420,520,620 nm, IC, IPT (un Abs/cm); Antocianos, catequinas y potasio (mg/l).

	Grado	AT	pH	DO 420	DO 520	DO 620	IC	IPT	K	Antocianos	IIA	Catequinas
1613C	15,06	4,1	3,80	3,531	5,383	1,175	10,1	51	1029	737	11,9	755
110R	14,94	4,5	3,63	3,395	5,668	1,128	10,2	46	760	614	14,9	843
1103P	14,61	4,6	3,59	2,378	3,766	0,755	6,9	38	717	459	16,2	492
1616C	14,59	4,0	3,86	2,466	3,442	0,791	6,7	39	1106	649	8,2	373
Freedom	14,34	4,6	3,56	3,077	5,363	1,003	9,4	40	747	566	15,3	586
Gravesac	14,29	4,7	3,72	2,519	3,696	0,806	7,0	37	734	657	14,2	337
5BB	14,23	4,7	3,58	2,966	5,183	0,945	9,1	41	747	570	14,8	676
140Ru	14,20	4,6	3,65	2,178	3,173	0,672	6,0	36	688	441	17,2	415
99R	14,10	4,6	3,60	2,670	4,349	0,845	7,9	39	808	589	11,9	592
5C	13,94	5,6	3,60	2,191	3,627	0,699	6,5	33	713	527	20,5	416
Rupestris	13,90	4,8	3,52	2,064	3,466	0,632	6,2	30	621	487	18,5	289
Dog Ridge	13,76	4,9	3,60	2,335	3,708	0,756	6,8	39	724	522	16,7	463
41B	13,67	5,0	3,48	1,900	3,152	0,545	5,6	32	693	499	12,3	414
Salt Creek	13,58	4,5	3,61	2,741	4,640	0,901	8,3	37	736	525	14,4	487
161-49C	13,23	4,9	3,45	2,147	3,970	0,648	6,8	35	698	427	15,3	701
Fercal	12,61	5,0	3,46	2,030	3,502	0,643	6,2	34	686	408	13,9	626

El ACP de 2015 (fig.122) asocia los portainjertos con las características que más definen sus vinos. La distribución de los ejes refleja bastante bien las relaciones entre los parámetros, situándose el K por un lado muy asociado al pH (debido a la importancia que tiene en el equilibrio ácido base de los vinos, Kodur et al., 2010) y por otro al grado (debido al papel del potasio en el transporte de asimilados) y a los antocianos (cuya evolución en la uva sucede paralela al grado generalmente) y a su índice de ionización, por la influencia del K en el pH (Mpelasoka et al, 2003; Zamora, 2003; Leguizamón et al., 2005). El vino de 1613C resulta el más vinculado al eje F1, centrado entre los ejes del color y el grado. El vino de 110R se encuentra más vinculado hacia las catequinas y componentes del color, mientras 1616C está muy asociado a altos pH, mayor potasio y mayor tonalidad debido al consecuente desplazamiento de las formas coloreadas de antocianos hacia calcona, amarilla (Kennedy et al, 2006). Los vinos de Freedom y 5BB muy asociados a los rojos y altas IC. En los cuadrantes opuestos a los ejes de la IC existe una gradación de los portainjertos con menor grado y color, estando los vinos de Fercal y 161-49C más cercanos del eje de la acidez total y el vino de 140Ru el más opuesto a los ejes del color y con mayor pH. Los vinos de Rupestris y 41B están centrados en los menores valores de F1 con valores bajos en maduración tecnológica y fenólica.

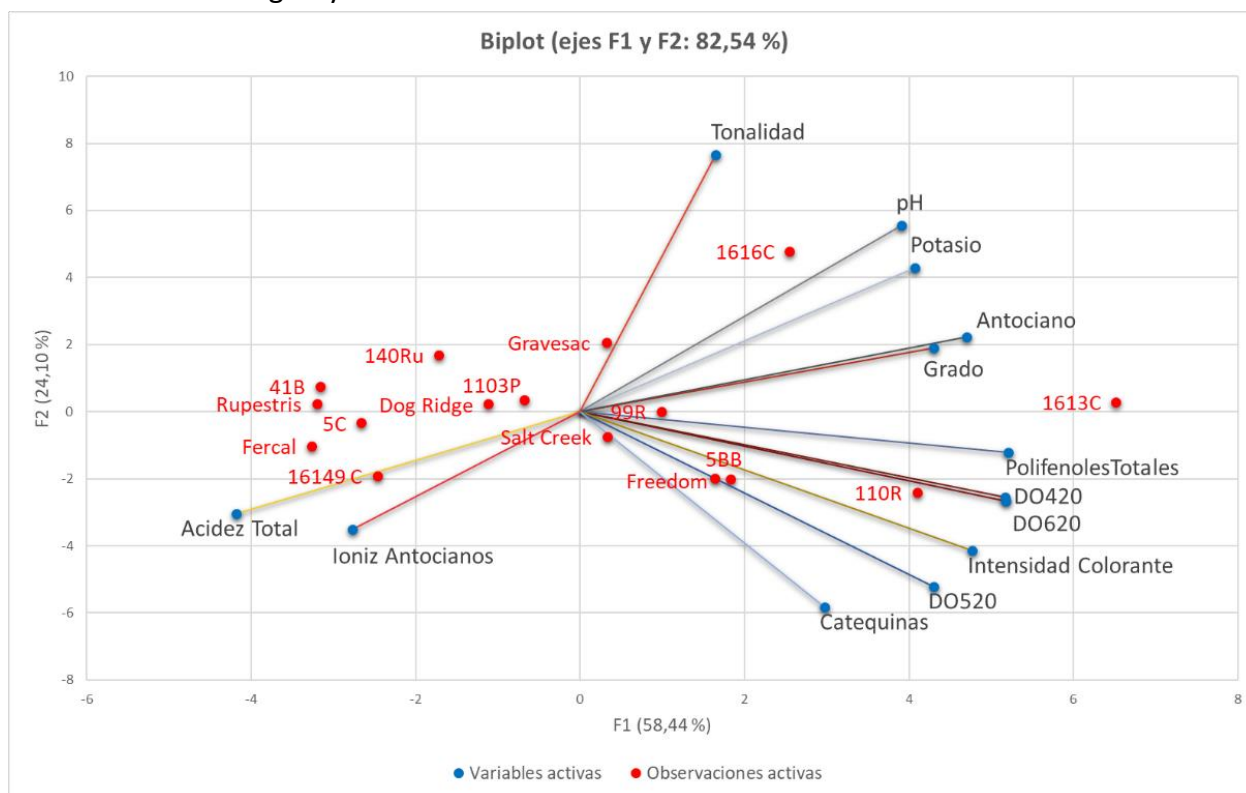


Figura 122. Dispersión biespacial de parámetros analíticos vinos 2015 Tempranillo sobre 16 portainjertos.

En los vinos de tempranillo de 2016 (tabla 49), el de 1616C es que alcanza mayor grado con 14,91% vol. y 3,94 pH, mientras el vino de 161-49C es el de menor grado 12,91 % vol. y un 3,43 de pH, entre los más bajos. El vino de 41B tiene mayor acidez total. La intensidad colorante es muy pobres, igual que los antocianos en general y solo los valores más altos de IPT estarían dentro de los aceptado por DOPa Rioja (2018) fruto de las bajas maduraciones fenólicas de las uvas en 2016. Esto es una característica que define los vinos del 2016.

Tabla 49. Parámetros analíticos de calidad de los vinos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2016. Unidades: Grado (%vol.); pH (un pH); AT-Acidez Total (g/l expresado en tartárico); DO, IC, IPT (un Abs/cm); Antocianos, catequinas y potasio (mg/l)

	Grado	AT	pH	DO 420nm	DO 520nm	DO 620nm	IC	IPT	K	Antociano	IIA	Catequina
1616C	14,91	3,4	3,94	2,211	2,592	0,681	5,48	34	871	300	12,3	441
Gravesac	14,41	3,8	3,64	1,436	1,997	0,413	3,85	25	553	207	16	276
110R	14,27	4,3	3,5	1,654	2,711	0,501	4,87	27	569	190	22,4	449
Freedom	14,21	4,3	3,51	1,542	3,515	0,453	5,51	26	592	190	14,5	400
1103P	14,12	4,3	3,5	1,329	2,069	0,399	3,8	24	516	174	19	338
1613C	14,09	4,2	3,49	1,486	2,296	0,456	4,24	32	555	196	16,8	457
140Ru	13,99	4,1	3,55	1,339	1,962	0,406	3,71	25	572	166	20,3	405
41B	13,84	4,6	3,41	1,48	2,668	0,447	4,6	27	548	183	16,2	472
5BB	13,67	4,3	3,51	1,335	2,068	0,388	3,79	26	583	170	15,3	485
Salt Creek	13,67	3,9	3,61	0,795	1,082	0,201	2,08	19	479	169	10,6	169
99R	13,66	4,2	3,51	1,473	2,231	0,445	4,15	27	583	190	16,8	441
5C	13,56	4,2	3,49	1,055	1,549	0,28	2,88	23	491	171	15,2	309
Dog Ridge	13,47	4,6	3,4	1,312	2,26	0,384	3,96	23	535	127	20,5	298
Fercal	13,14	4,3	3,43	1,017	1,735	0,274	3,03	18	414	129	20	207
Rupestris	13,08	4,4	3,4	0,742	1,167	0,176	2,09	17	435	139	14,5	170
161-49 C	12,91	4,5	3,43	1,241	1,946	0,371	3,56	24	513	143	15,8	398

El ACP de los vinos de 2016 (figura 123) sitúa los ejes de los parámetros de manera similar a 2015, sin embargo, el potasio y el grado se solapan, pudiéndose ver mejor esa relación en el cotransporte de asimilados cuando existe una baja maduración fenólica.

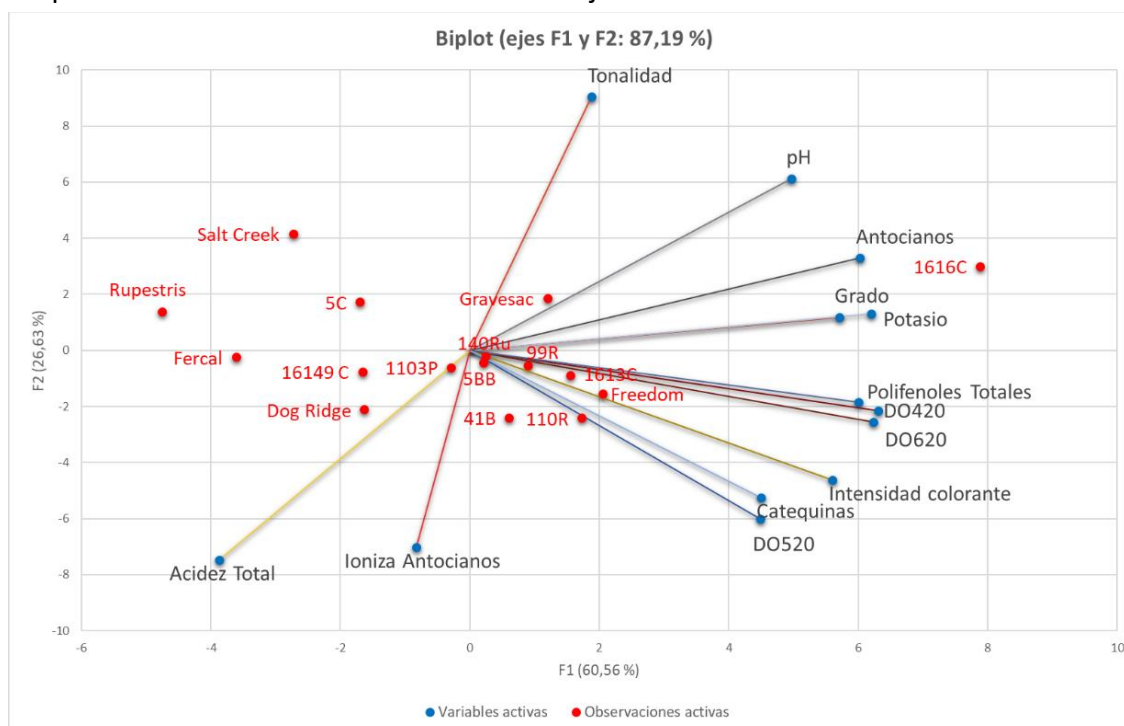


Figura 123. Dispersión biespacial parámetros analíticos vinos 2016 de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

El vino de 1616C se sitúa muy ligado al grado, potasio y los antocianos, mientras que los vinos de Freedom, 1613C y 110R en el eje positivo se encuentran más asociados al IPT, IC y catequinas, parámetros que indican calidad. En los cuadrantes negativos se encuentran los vinos de Dog Ridge, 1103P y 161-49C cercanos al eje de la AT, mientras Salt Creek está muy opuesto a los ejes de IC, IPT y catequinas y entre ambos cuadrantes. Los vinos de tempranillo sobre Fercal y Rupestris se separan como los más alejados de los parámetros cualitativos positivos.

Los vinos de **2017** (tabla 50) alcanzan alto grado alcohólico estando el menor en 13,78 % vol. para Fercal, mientras 2015 y 2016 los menores grados estaban un 1 % vol. por debajo aproximadamente. Los mayores grados son para los vinos de 1616C con 15,32 % con la menor acidez total de 3,2 g/l y el mayor pH 4,2 siendo el mayor registrado en toda la experiencia, cuyos pH han ido aumentando según aumentan los aportes fertilizantes y el contenido en potasio en peciolo y uvas acorde con lo observado por numerosos autores (Mattick et al, 1972; Kodur et al 2016). Los valores de potasio de los vinos de 161-49C destacan por su bajo valor un año en que todos los portainjertos sobrepasan los 1000 mg/l, algunos muy destacablemente como 1616C con 1627 mg/l, el mayor valor registrado en la investigación, y que influye en el equilibrio ácido-base del vino contribuyendo a una menor acidez y aumentando el pH (Mpelasoka et al, 2004). Los valores de color son buenos, aún con valores de pH altos, con IC, IPT, antocianos y catequinas altos en general. Destacan los vinos de 1616C y 1613C con los mayores valores en estos parámetros, salvo las mayores catequinas de 161-49C que alcanzan 1415 mg/l y el IPT del 5BB que llega a 62.

Tabla 50. Parámetros analíticos de calidad de los vinos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en **2017**.

	Grado %vol.	AT g/l	pH	DO 420nm	DO 520nm	DO 620nm	IC	IPT	K (mg/l)	Antocianos (mg/l)	IIA	Catequinas (mg/l)
1616C	15,32	3,2	4,20	4,432	5,374	1,551	11,4	57	1627	771	10,9	914
1613C	15,10	3,6	3,98	3,473	4,783	1,221	9,48	53	1168	675	10,6	1100
110R	15,06	3,7	3,88	3,235	4,847	1,114	9,2	51	1088	735	9,9	974
Freedom	14,82	3,6	3,91	3,418	4,945	1,189	9,55	50	1046	698	11,3	1110
Rupestris	14,75	3,5	3,96	3,116	4,41	1,114	8,64	48	1045	678	10,5	897
5C	14,69	3,6	3,96	3,709	5,172	1,272	10,2	49	1169	693	11,3	799
Gravesac	14,63	3,7	3,94	2,841	4,144	0,989	7,97	44	1050	713	8,8	620
5BB	14,62	3,4	3,99	3,419	4,841	1,264	9,52	62	1095	675	11,1	1133
1103P	14,58	3,7	3,89	3,015	4,368	1,042	8,43	45	974	585	11,3	1001
Dog Ridge	14,4	3,2	4,04	2,654	3,639	0,968	7,26	38	1149	522	11	699
140Ru	14,32	3,7	3,94	2,949	4,237	1,031	8,22	43	1067	589	11,4	762
161-49 C	14,3	4,2	3,64	3,172	5,319	1,056	9,55	52	819	567	15,4	1415
99R	14,28	3,4	4,09	3,769	5,097	1,409	10,3	52	1311	689	10,4	939
41B	14,10	3,7	3,88	2,178	3,372	0,738	6,29	38	1141	574	9,6	676
Salt Creek	14,00	3,7	3,87	2,552	3,936	0,895	7,38	37	1013	462	12,4	642
Fercal	13,78	4,1	3,73	2,1	3,553	0,722	6,38	32	900	509	12,5	504

El ACP de los vinos de 2017 (figura 124) dispone los ejes de manera similar a años previos, aunque con el potasio más asociado al pH y la tonalidad, y menos asociado al grado y antocianos que los años anteriores. El portainjerto 1616C que produce la mayor maduración en las uvas de Tempranillo, produce los vinos de pH más altos, mayor potasio y tonalidad. Los vinos de 99R, 1613C, 5BB, 5C, 110R y Freedom asociados a grado, pero también a los parámetros de color y catequinas. El vino de 161-49C asociado a la acidez total y la ionización de antocianos. Rupestris con uvas más maduras que otros años produce un vino que está asociado también al cuadrante de alto pH y K y tonalidad, aunque con valores medios. Fercal, Salt Creek y 41B producen vinos con menos alcohol y menos color. Dog Ridge y Gravesac producen vinos con bajos niveles de parámetros de calidad como catequinas.

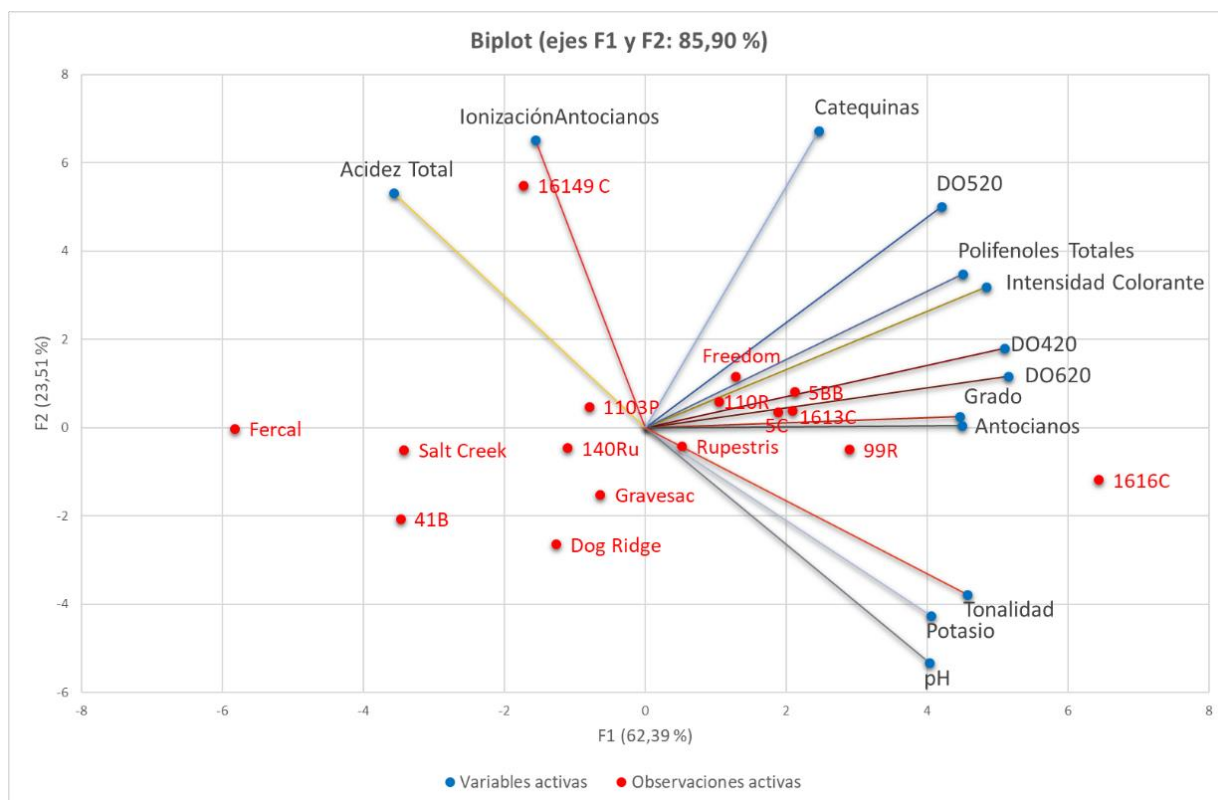
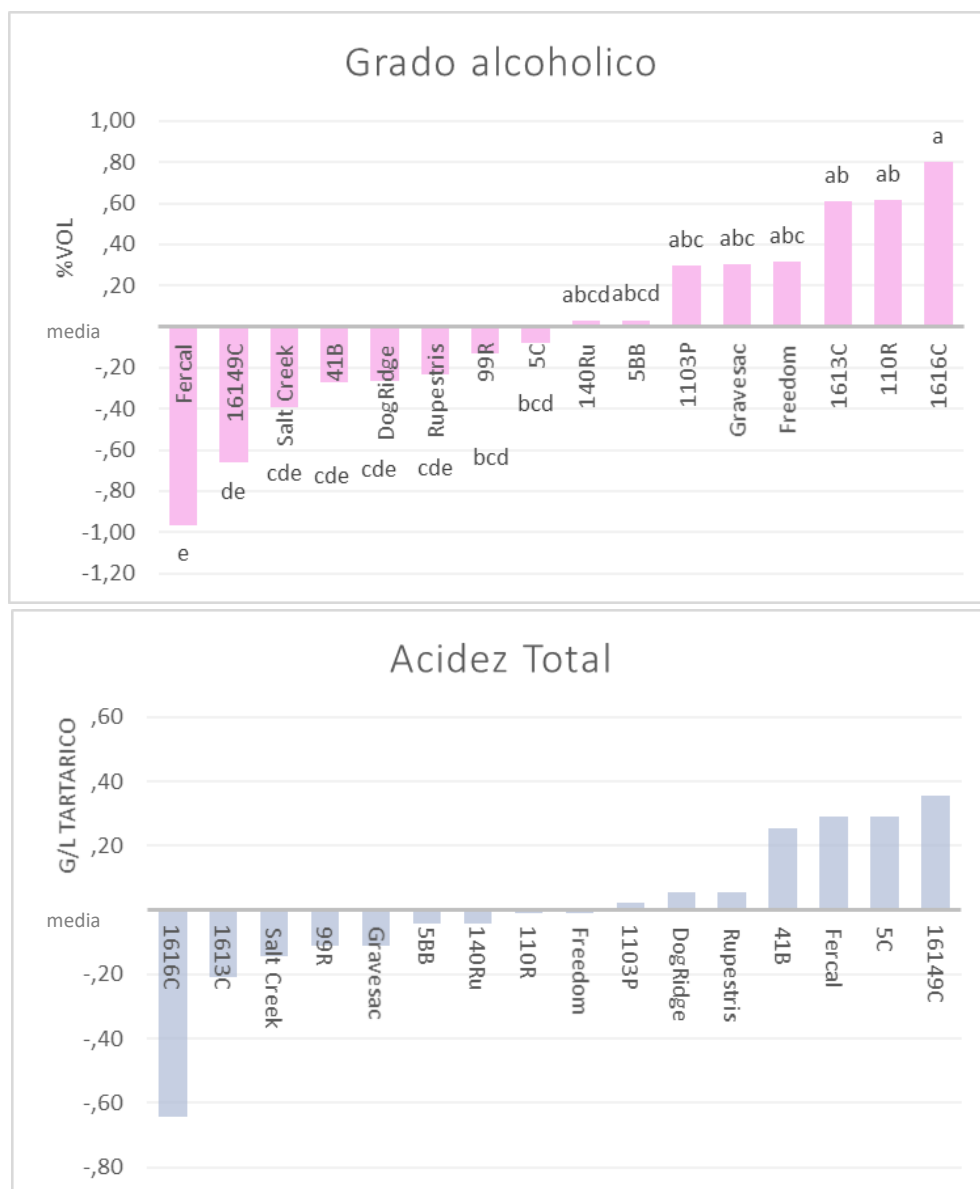


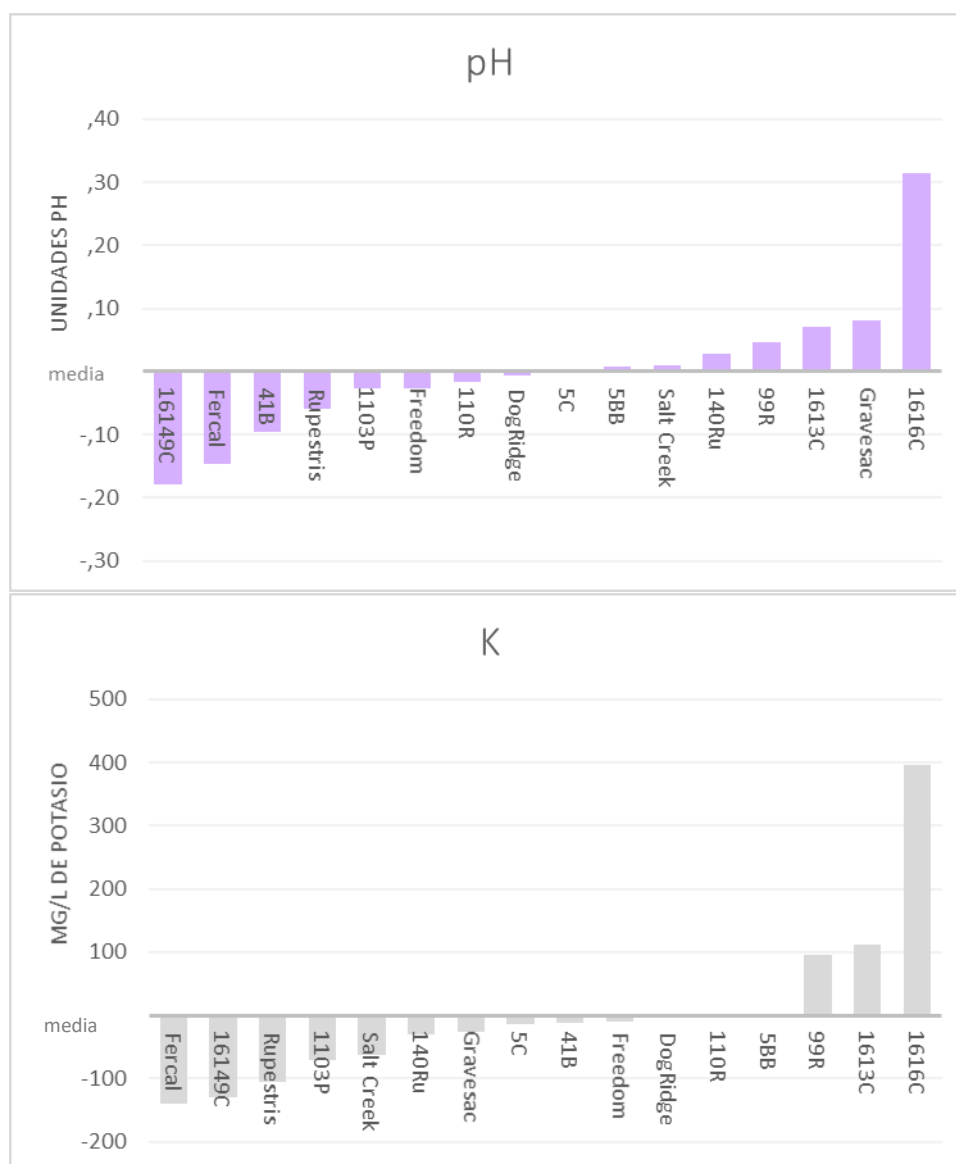
Figura 124. Dispersión biespacial de los parámetros analíticos de los **vinos de 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

Para analizar los vinos de Tempranillo sobre los 16 portainjertos en el conjunto de los años 2015, 2016 y 2017, se calculan las desviaciones respecto a las medias anuales y se realiza análisis de la varianza y post hoc Tukey. Se encuentran diferencias significativas en casi todos los parámetros analizados, excepto en el índice de ionización de antocianos. Se exponen los resultados en los gráficos del 125 al 130:



Figuras 125. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros de **2015-2016-2017** para vino de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes: a. Grado alcohólico volumétrico adquirido (% vol.); b. Acidez Total expresada en tartárico (mg/l). Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según Tukey.

- Grado: los vinos de los portainjertos 1616C, 110R y 1613C tiene un grado significativamente superior que Rupestris, Dog Ridge, 41B, Salt Creek, 161-49C y Fercal. El portainjerto 1616C también tiene más grado que 5C y 99R. En el otro extremo Fercal con – 1 % vol. que la media y 161-49C con -0.6 % vol. son significativamente menos alcohólicos que 1103P, Gravesac, Freedom, 1613C, 110R y 1616C (figura 125a).
- Acidez Total: el portainjerto 1616C produce vinos con menos acidez que los portainjertos 41B, 5C, Fercal y 161-49C (figura 125b).



Figuras 126. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros de 2015-2016-2017 para vino de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes: a. pH; b. Potasio (mg/l). Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey.

- pH: el portainjerto 1616C produce vinos más básicos que los demás portainjertos +0.3 unidades de pH. El vino de Gravesac y el 1613C también es más básicos que el vino de Tempranillo sobre Fercal y 161-49C. El vino de Tempranillo producido sobre 99R también es más básico que el producido sobre 161-49C (figura 126a).
- Potasio: El vino de 1616C tiene más potasio que la media los demás vinos obtenidos, estando casi 400 mg/l por encima de la media. Los vinos de los portainjertos 1613C y 99R también presenta más potasio que el de los portainjertos 161-49C y Fercal (figura 126b).

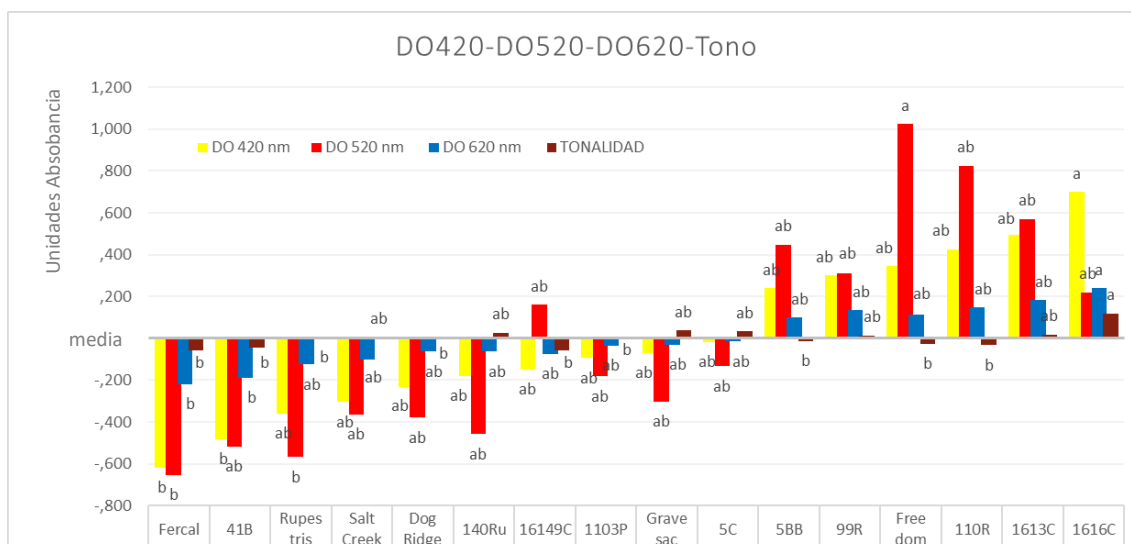


Figura 127. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los DO 420nm, 520 nm y 620 nm y tonalidad **2015-2016-2017** vino de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 test Tukey.

- Todas las componentes de la IC, DO 420nm, 520 nm y 620 nm (figura 127) muestran diferencias entre los portainjertos. El vino del portainjerto 1616C tiene DO 420 nm y DO 620 nm superior que el de Fercal y 41B. Respecto a la componente roja es Freedom el que tiene mayor DO 520 nm, respecto a Rupestris y Fercal. En cuanto a la tonalidad el vino producido sobre 1616C, con una gran componente amarilla DO 420 nm, mantiene diferencias respecto al producido sobre 110R, Freedom, 5BB, 161-49C, Rupestris, 41B y Fercal.

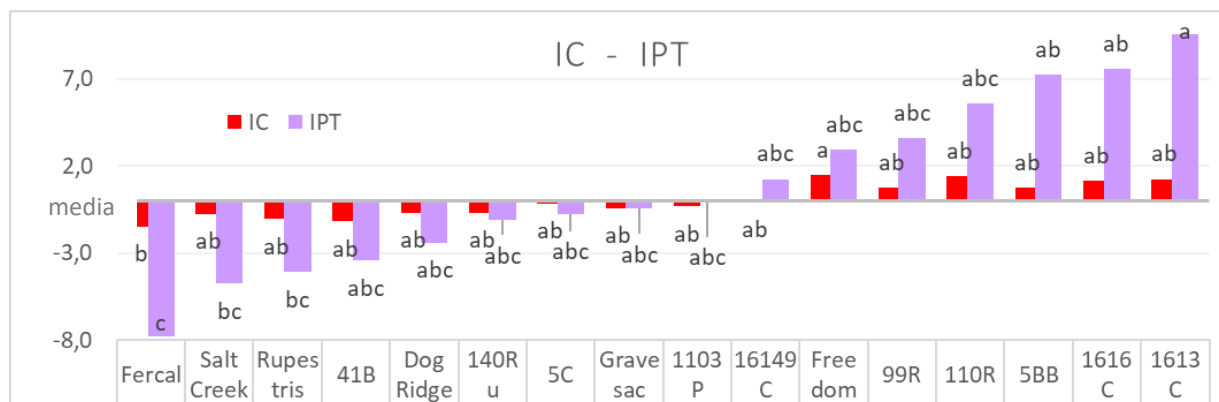
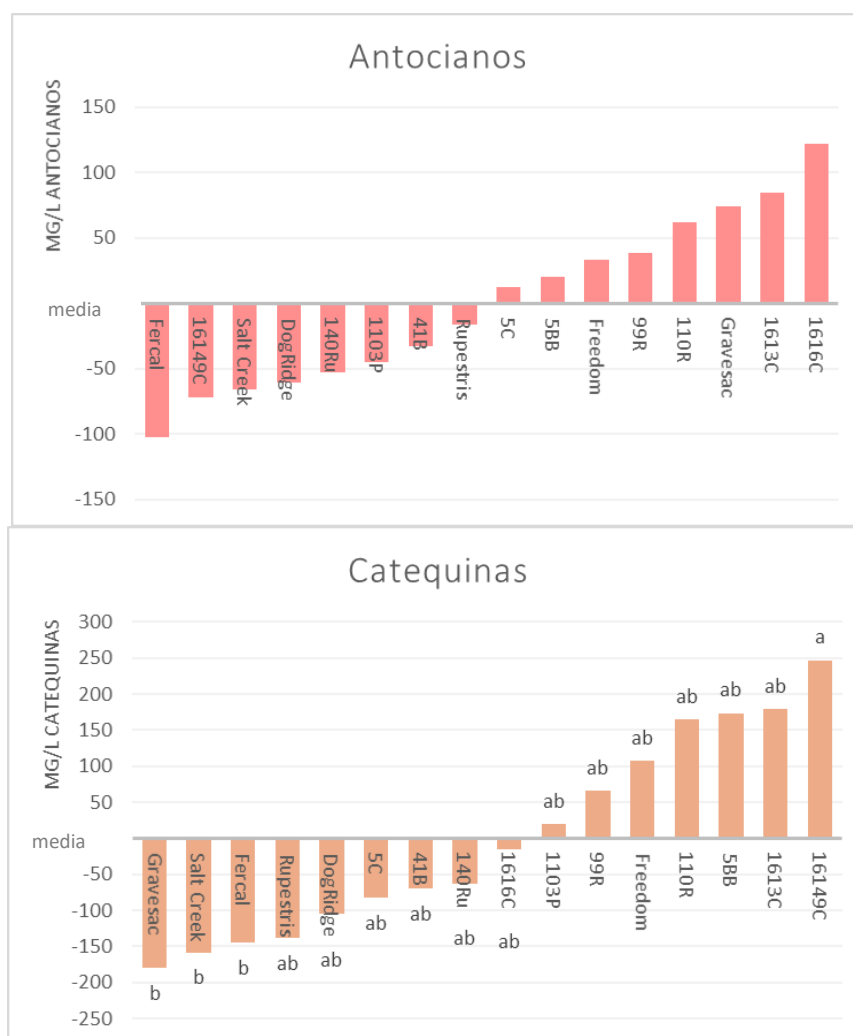


Figura 128. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros IC e IPT de **2015-2016-2017** para vino de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

En la IC es el vino de Freedom el que alcanza mayores valores y diferencias respecto al vino de Fercal. El IPT de 1613C es superior al de Rupestris, Salt Creek y Fercal. El IPT de los vinos de 1616C y 5BB también es superior al del vino de Fercal (figura 128).



Figuras 129. Gráficos de barras de las desviaciones respecto a la media anual de los parámetros analíticos de 2015-2016-2017 para vino de Tempranillo sobre 16 portainjertos diferentes: a). Antocianos (mg/l); b). Catequinas (mg/l). Letras distintas indican diferencias significativas comparables dentro del mismo parámetro para alfa 0,05 según el test Tukey.

- Antocianos: el vino de Tempranillo sobre 1616C tiene más antocianos que el de 41B, 1103P, 140 Ru, Dog Ridge, Salt Creek, 161-49C y Fercal. El portainjerto 1613C produce vino con más antocianos que los portainjertos Salt Creek, 161-49C y Fercal. El vino de Gravesac y 110R contiene más antocianos que Fercal (figuras 129).
- Catequinas: el portainjerto 161-49C produce vinos con más catequinas que Fercal, Salt Creek y Gravesac.

El análisis de componentes principales de las medias de 2015-2016-2017 (figura 130) ofrece una idea visual de cómo se distribuyen los vinos de Tempranillo de los distintos portainjertos en cuanto a sus parámetros químicos. El vino de 1616C es el que alcanza mayor grado y antocianos, pH y potasio y por el contrario la menor acidez total. El vino de 1613C es el siguiente con mayor grado, pero está más asociado a los ejes de IC, IPT y catequinas, que el vino de 1616C. Hay un grupo que forman los vinos de los portainjertos 110R, Freedom y 5BB con grados un poco menores y más asociados aún a catequinas e IC. Los vinos con los menores grados son los de Fercal seguido de 41B y Rupestris, y el vino de 161-49C muy asociado a la acidez total. El vino de Salt Creek está muy asociado a bajas catequinas y parámetros de color.

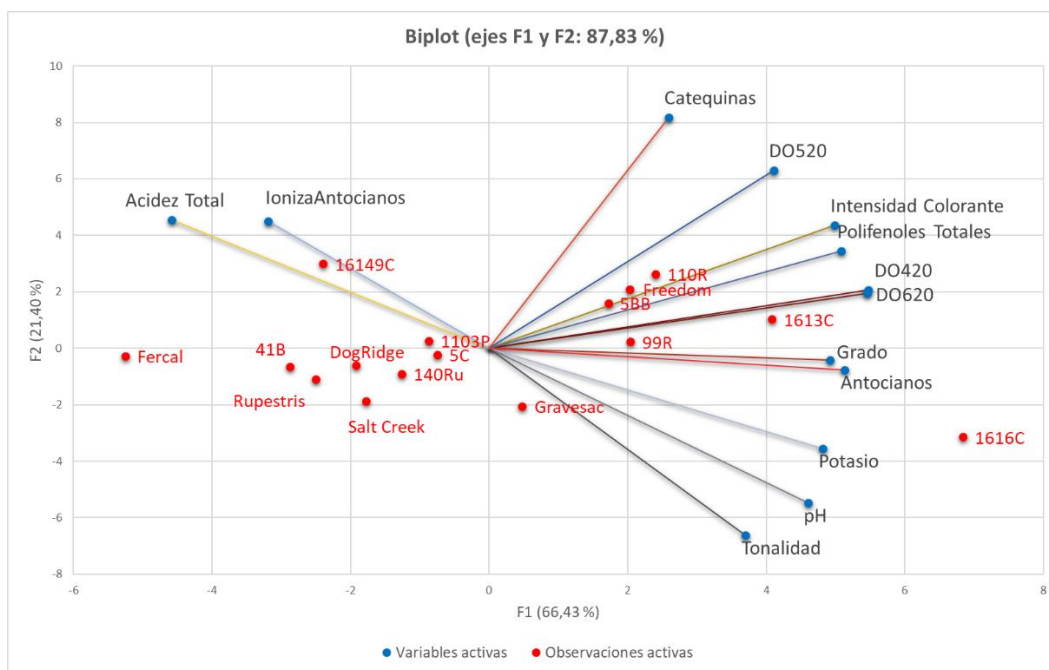


Figura 130. Diagrama de dispersión biespacial de las desviaciones de las medias de los parámetros analíticos de calidad de los vinos 2015 + 2016 + 2017 de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

4.2.4.2.2. VALORACIÓN SENSORIAL DE VINOS

Las valoraciones de los catadores de los **vinos en 2015** han encontrado diferencias significativas entre los portainjertos. No se encuentran diferencias en la valoración total, ni en boca, sin embargo, si en el aspecto visual y en armonía. Los vinos de 1613C y 110R son mejores en puntuación visual que el vino de Dog Ridge. En cuanto a armonía, el vino de 1616C es superior al de 161-49C (tabla 51).

Tabla 51. Valoración organoléptica del vino **2015** de Tempranillo sobre 16 portainjertos. Letras distintas indican diferencias significativas alfa 0,05 test Tukey. Significación ANOVA $*\leq 0,05$; n.s.= no significativo.

	Total	Visual	Olfativa	Boca	Armonía
161-49C	73,7	10,6 ab	22,4	32,0	8,7 b
140Ru	76,6	10,4 ab	24,2	32,6	9,4 ab
Salt Creek	76,9	10,7 ab	23,7	33,4	9,1 ab
Dog Ridge	77,7	9,3 b	24,7	34,5	9,2 ab
Fercal	77,9	11,1 ab	24,7	32,9	9,2 ab
Rupestris	77,9	10,6 ab	23,9	34,2	9,2 ab
Gravesac	79,4	11,9 ab	23,5	34,5	9,5 ab
R110	80,0	12,1 a	24,1	34,4	9,4 ab
5C	80,4	11,8 ab	24,3	34,8	9,5 ab
Freedom	80,6	11,9 ab	25,0	34,4	9,3 ab
5BB	80,8	11,5 ab	24,5	35,3	9,5 ab
99R	81,3	11,5 ab	25,3	35,0	9,5 ab
41B	81,5	11,7 ab	25,0	35,0	9,8 a
1103P	82,3	11,7 ab	25,5	35,5	9,6 ab
1616C	82,4	10,8 ab	25,6	36,3	9,7 a
1613C	82,7	12,4 a	24,4	36,3	9,6 ab
Sig.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*

Para representar cada uno de los vinos de los portainjertos en función de las valoraciones en cata, se realizan ACP teniendo en cuenta los puntos obtenidos por valoración positiva, pero también por penalización. Se han elaborado variables que responden a esta valoración negativa restando del valor máximo de puntos posibles para cada variable la puntuación obtenida en la cata. El análisis de componentes principales sitúa los portainjertos y se observa la distribución de los ejes positivos en espejo con los que corresponden a las valoraciones negativas.

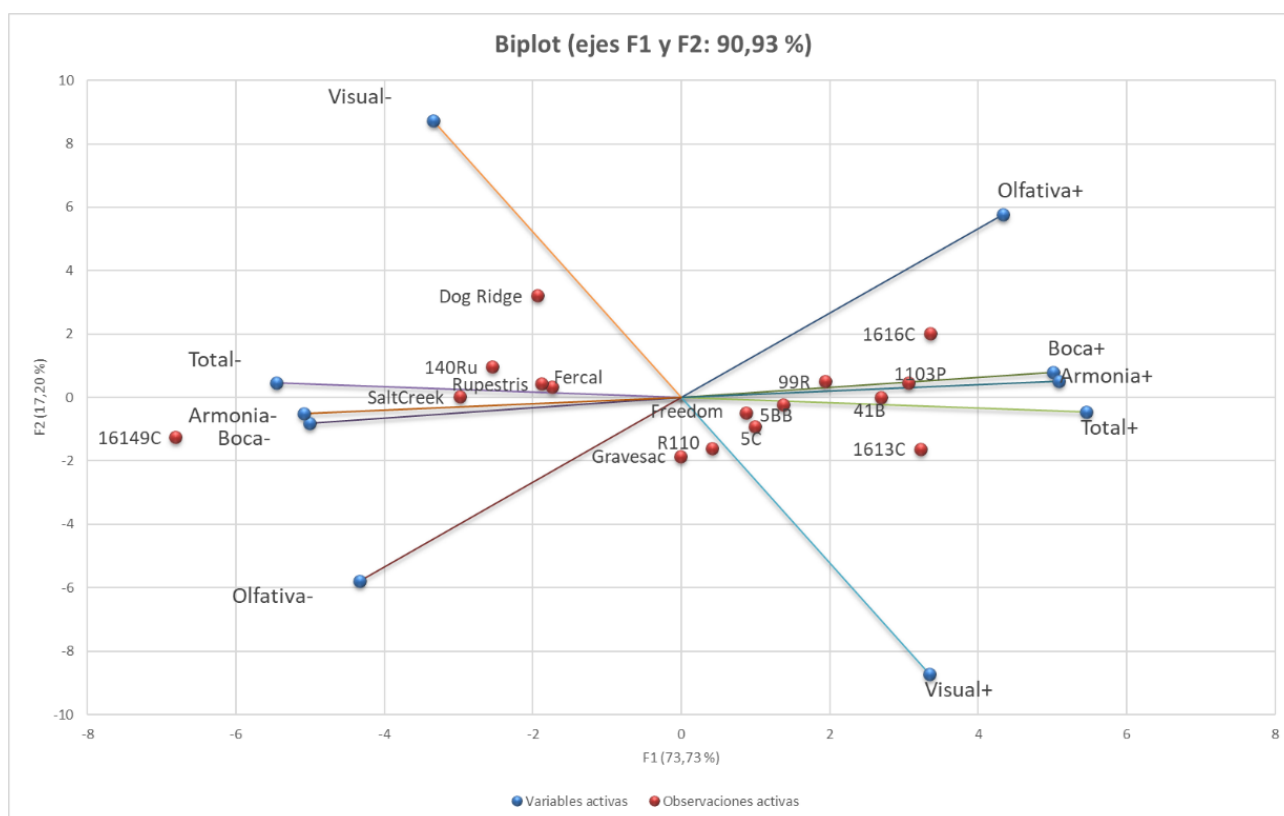


Figura 131. Diagrama de dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vinos de 2015 de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

Así en el ACP de los vinos de 2015, el vino del portainjerto 110R está asociado al eje visual + mientras que el vino de Dog Ridge está vinculado a la visual -. Los vinos de los portainjertos 1613C, 5BB, 5C y Freedom están bastante asociados al eje total + mientras los vinos de Salt Creek, 140Ru, Rupestris y Fercal están asociados a la componente total -. En boca el vino del portainjerto 161-49C está asociado al eje negativo, mientras 1103P está asociado al eje boca+, al igual que el vino producido sobre 1616C que además aparece parcialmente asociado al eje olfativo+ mientras el vino de Gravesac sería el más penalizado olfativamente.

En las valoraciones organolépticas de los **vinos de Tempranillo de 2016** (tabla 52), se encuentran diferencias entre los producidos por diferentes portainjertos. Los vinos de Tempranillo producidos sobre Salt Creek y Rupestris son los peor valorados en los aspectos: total y visual respecto a los demás portainjertos, olfativamente respecto al Gravesac, en boca respecto a Gravesac y 1613C y en armonía del 1613C. Los vinos mejor valorados lo forman los producidos sobre los portainjertos 99R, 1616C, Dog Ridge, 1103P, 140Ru, 41B, R110, 5BB,

Freedom, Gravesac y 1613C. Visualmente los vinos de Fercal, 5C y 161-49C son peor valorados que el vino de 1613C, el mejor valorado.

Tabla 52. Resumen de los parámetros de la valoración organoléptica de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2016. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0.05 según el test Tukey. Nivel de significación del ANOVA * $\leq 0,05$; ** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$; n.s.= no significativo.

	Total	Visual	Olfativa	Boca	Armonía
Salt Creek	65 b	6,9 c	20,9 b	28,7 c	8,7 bc
Rupestris	66 b	6,0 c	21,3 b	29,9 bc	8,5 c
161-49C	73 ab	9,7 b	22,2 ab	32,4 abc	9,2 abc
5C	74 ab	9,9 b	23,7 ab	31,6 abc	9,1 abc
Fercal	75 ab	9,9 b	22,7 ab	32,8 abc	9,2 abc
99R	76 a	11,3 ab	22,9 ab	32,8 abc	9,2 abc
1616C	77 a	11,4 ab	23,1 ab	33,1 abc	8,9 abc
Dog Ridge	77 a	11,0 ab	24,1 ab	32,3 abc	9,3 abc
1103P	78 a	11,8 ab	23,2 ab	33,4 abc	9,3 abc
140Ru	78 a	11,0 ab	23,7 ab	34,3 ab	9,5 ab
41B	79 a	11,4 ab	24,4 ab	34,2 ab	9,3 abc
R110	79 a	11,8 ab	24,1 ab	34,2 ab	9,4 ab
5BB	80 a	11,6 ab	23,7 ab	34,9 ab	9,3 abc
Freedom	80 a	11,7 ab	24,2 ab	34,4 ab	9,3 abc
Gravesac	82 a	12,1 ab	25,4 a	35,3 a	9,5 ab
1613C	83 a	12,4 a	24,3 ab	36,2 a	9,7 a
Sig.	***	***	**	***	***

En cuanto a los componentes principales de los vinos de 2016, en la figura 132 se ve como los vectores que representan los atributos sensoriales se correlacionan positivamente con respecto al total. Son las componentes olfativas, armonía y boca las más representadas en F2. Los vinos de 1613C y Gravesac se sitúan en los valores más altos positivos, 1613C muy asociado a visual +, pero también centrado respecto a los otros ejes, Gravesac está también asociado a altas valoraciones olfativas. En la situación opuesta se sitúan Rupestris y Salt Creek con las peores valoraciones totales y en el resto de cualidades sensoriales.

Entre los demás portainjertos se perciben claramente dos grupos, uno vinculado a las valoraciones positivas, que lo forman los vinos producidos sobre 140Ru, 41B, R110, 5BB y Freedom muy próximos y con buenas valoraciones generales y otro grupo más asociado a las penalizaciones que lo forman los vinos producidos sobre los portainjertos 5C, 99R, 1616C, 161-49C y Fercal.

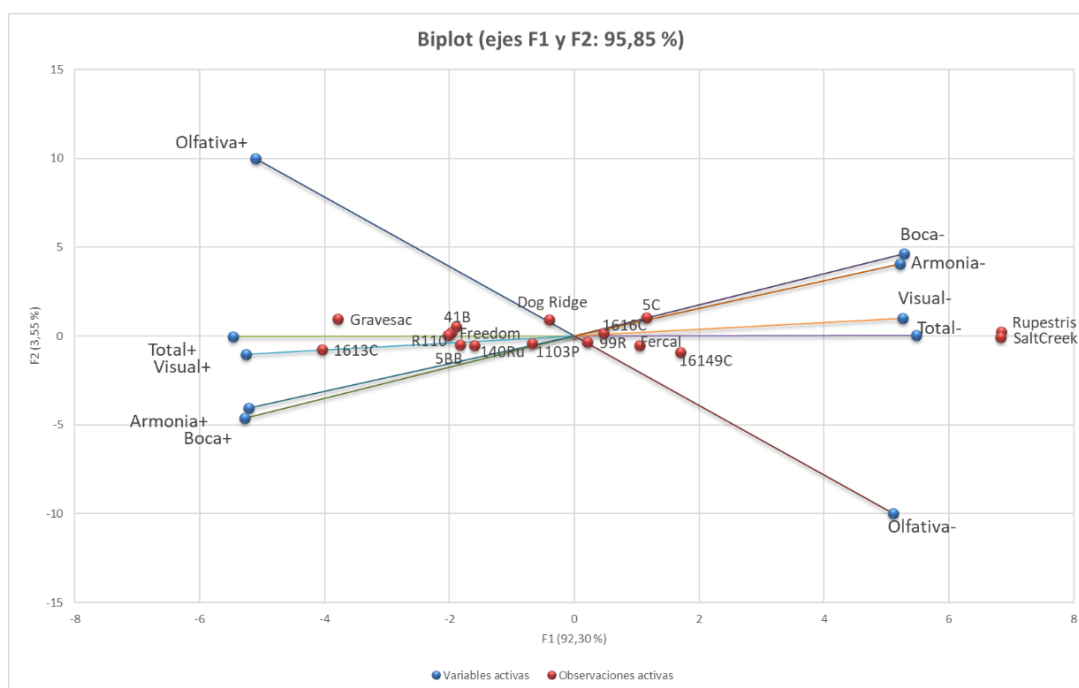


Figura 132. Diagrama de dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vino de 2016 de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

En el estudio de valoración organoléptica de los vinos de 2017 se encuentran menos diferencias que en 2016, como se puede ver en la tabla 53. El vino de Fercal es peor en puntuación total que los vinos de 161-49C, 110R, Gravesac, 5C, 5BB y 1613C. En boca el vino de Fercal es peor que los vinos de 110R, 161-49C, 5C, 5BB y 1613C y en armonía es peor que los vinos de 110R, 5BB y 1613C. Olfativamente el vino de Rupestris es peor valorado que el de 1613C.

Tabla 53. Resumen de los parámetros de la valoración organoléptica de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0.05 según el test Tukey. Significación del ANOVA * $\leq 0,05$; ** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$; n.s.= no significativo.

	Total	Visual	Olfativa	Boca	Armonía
Fercal	72,93 b	10,50	22,29 ab	31,21 b	8,93 b
Rupestris	76,00 ab	11,64	22,21 b	32,86 ab	9,29 ab
Salt Creek	76,86 ab	11,00	22,86 ab	33,64 ab	9,36 ab
Dog Ridge	77,64 ab	11,71	22,64 ab	34,00 ab	9,29 ab
41B	78,29 ab	10,79	23,71 ab	34,43 ab	9,36 ab
Freedom	79,50 ab	11,79	23,57 ab	34,71 ab	9,43 ab
1103P	80,29 ab	11,29	24,29 ab	35,14 ab	9,57 ab
1616C	80,50 ab	12,07	24,07 ab	34,86 ab	9,50 ab
99R	80,57 ab	12,14	23,86 ab	35,29 ab	9,29 ab
140Ru	81,00 ab	11,57	24,64 ab	35,21 ab	9,57 ab
161-49C	82,29 a	11,64	24,79 ab	36,21 a	9,64 ab
R110	82,43 a	11,57	24,71 ab	36,00 a	9,79 a
Gravesac	82,50 a	11,79	25,29 ab	35,79 ab	9,64 ab
5C	83,00 a	12,29	24,57 ab	36,43 a	9,71 ab
5BB	83,64 a	12,36	24,93 ab	36,57 a	9,79 a
1613C	84,57 a	12,21	25,43 a	37,07 a	9,86 a
Sig.	***	n.s.	**	**	**

En el análisis de componentes principales de vinos 2017 (figura 133), se representa hasta el 97% de la variación, y la componente más representada en F2 es la visual. El vino de 1613C es el que mejor posición tiene en las variables positivas. Los vinos de 5C y 5BB mantienen muy buenas posiciones asociados a la componente visual. El vino de 1616C, aunque con menores valoraciones globales también está muy asociado a la componente visual +. Los vinos de Gravesac, 110R y 161-49C y 140Ru están también asociados a estos ejes de componentes positivas en cata. En el otro extremo se encuentra el vino del portainjerto Fercal, con las peores valoraciones totales, y un grupo asociado a las penalizaciones que lo forman los vinos de Rupestris y Dog Ridge (armonía -), Salt Creek, 41B (total - y visual -) y Freedom (olfativa -).

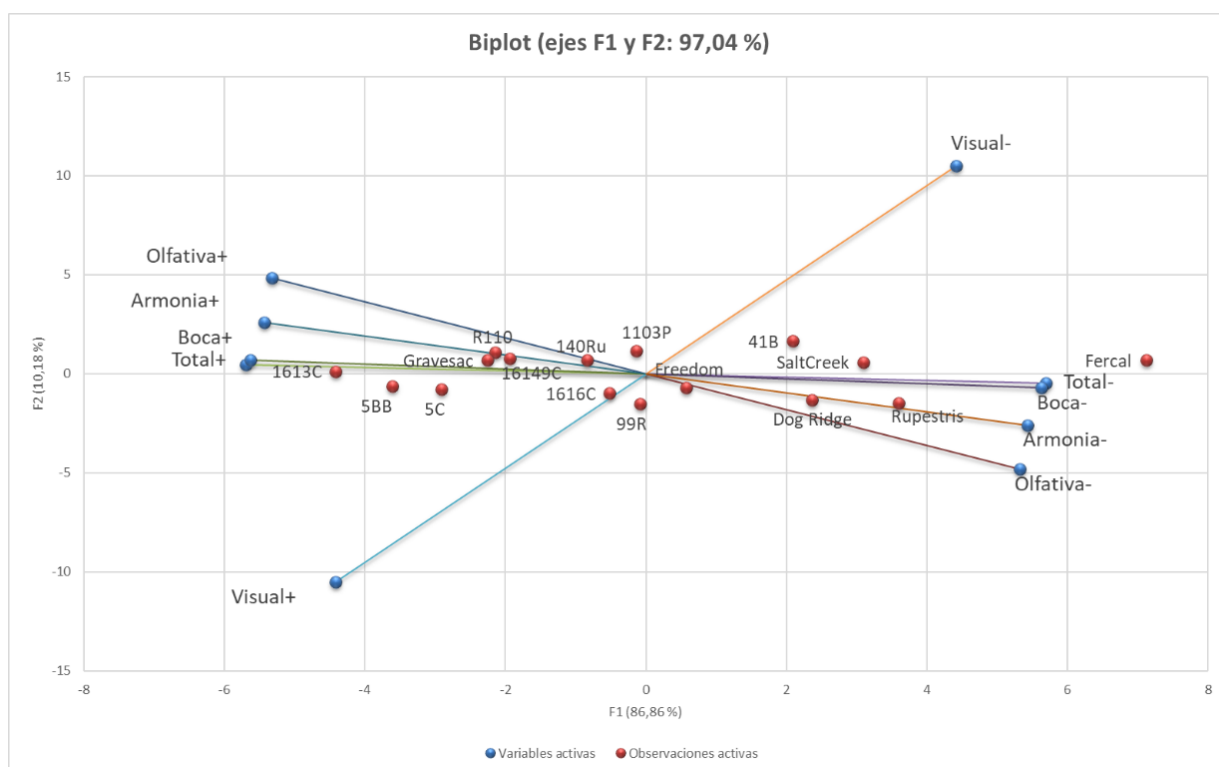


Figura 133. Diagrama de dispersión biespacial de la valoración organoléptica de vino 2017 de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

Para hacer el estudio global de los **vinos de 2015, 2016 y 2017**, se realiza ANOVA con los datos anuales y con las desviaciones sobre la media anual, en ambos casos se obtienen similares diferencias significativas al ser la cata un ejercicio principalmente comparativo entre portainjertos. Se encuentran diferencias en todos los atributos de la cata. Las desviaciones son de en torno a 10 puntos de un total de 100 en la puntuación total, siendo la que más contribuye la valoración en boca, seguida de la visual y la olfativa.

En valoración interanual los vinos de 1613C, Gravesac, 5BB y 110R se diferencian de los vinos de Fercal, Salt Creek y Rupestris que son los peor valorados como se aprecia en la tabla 54. En todos los atributos valorados hay un grueso de portainjertos con valores intermedios y destacan sobre ellos el vino de 1613C, Gravesac, en olfativa y boca, y el vino de 5BB en boca. Por debajo en las valoraciones quedan los vinos de Rupestris, Salt Creek y Fercal.

Tabla 54. Resumen de los parámetros de la valoración organoléptica de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2015-2016-2017**. Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey. Nivel de significación del ANOVA (* $\leq 0,05$; ** $\leq 0,01$; *** $\leq 0,001$; n.s.= no significativo).

	Total	Visual	Olfativa	Boca	Armonía
Salt Creek	73,0 e	9,6 c	22,4 b	31,9 d	9,1 cd
Rupestris	73,1 de	9,5 c	22,4 b	32,3 cd	9,0 d
Fercal	74,9 cde	10,5 bc	23,1 ab	32,2 cd	9,1 bcd
161-49C	76,9 bcde	10,7 bc	23,3 ab	33,8 abcd	9,2 abcd
Dog Ridge	77,3 bcde	10,8 bc	23,8 ab	33,5 bcd	9,2 abcd
140Ru	78,9 abcd	11,1 ab	24,2 ab	34,1 abcd	9,5 abc
5C	79,3 abc	11,4 ab	24,2 ab	34,3 abcd	9,4 abcd
99R	79,3 abc	11,7 ab	23,9 ab	34,4 abcd	9,3 abcd
41B	79,4 abc	11,3 ab	24,3 ab	34,4 abcd	9,5 abcd
1616C	79,5 abc	11,5 ab	24,1 ab	34,5 abcd	9,4 abcd
Freedom	79,8 abc	11,8 ab	24,2 ab	34,5 abcd	9,4 abcd
1103P	79,8 abc	11,6 ab	24,2 ab	34,6 abcd	9,5 abcd
R110	80,8 ab	11,8 ab	24,3 ab	34,9 abc	9,6 abc
5BB	81,5 ab	11,9 ab	24,4 ab	35,7 ab	9,6 abc
Gravesac	81,6 ab	11,9 ab	24,8 a	35,3 ab	9,6 ab
1613C	83,4 a	12,3 a	24,8 a	36,6 a	9,7 a
Sig.	***	***	***	***	***

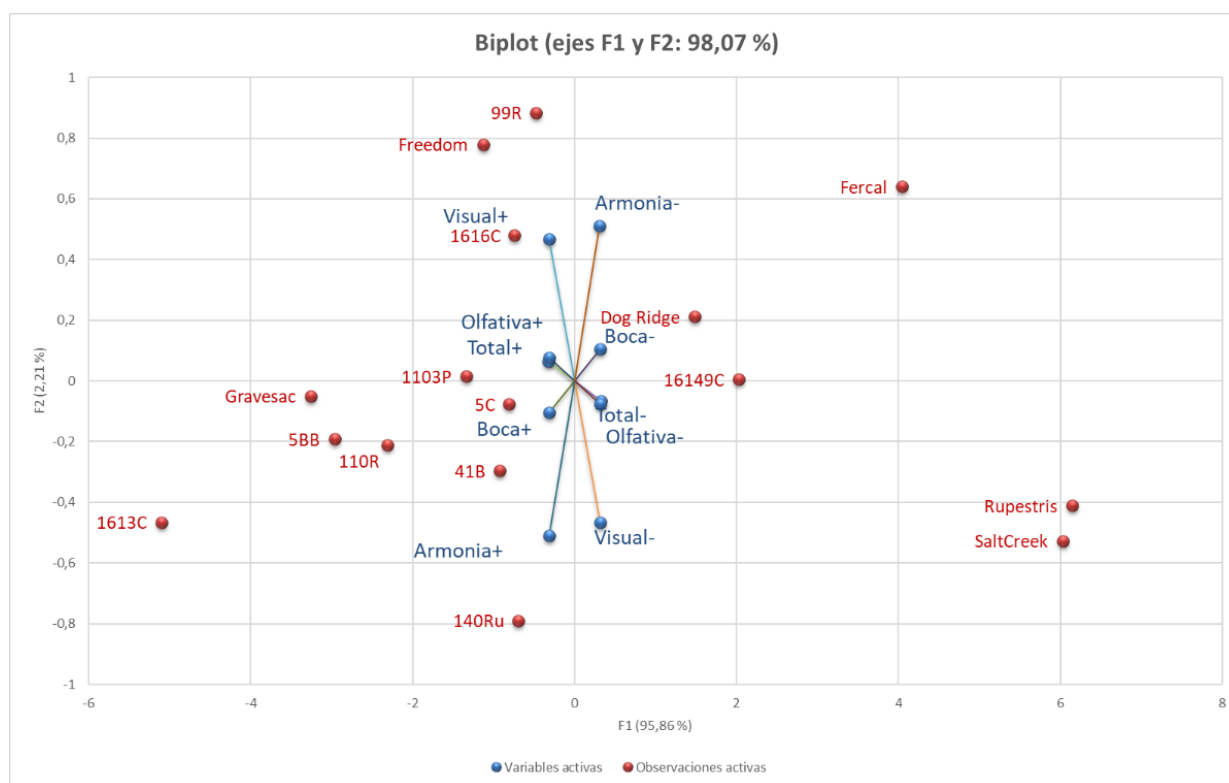


Figura 134. Diagrama de dispersión biespacial de valoración organoléptica de vino de **2015, 2016 y 2017** de Tempranillo sobre 16 portainjertos.

En el ACP de vinos interanual (figura 134) se consigue el 98% de la representación de la variabilidad, estando cerca del 96% representado en el eje F1. El tamaño de los vectores representa la contribución de las distintas variables de cata. En F1 tienen similar representación

todas las variables sin embargo en F2 la contribución predominante es la de armonía y visual, de ahí su mayor tamaño. Los ejes todos correlacionados positivamente con la valoración total que se encuentra centrada, sobre todo respecto a los que más peso tienen en la puntuación global, que son boca y olfativa. El vino de 1613C es el que obtiene mejores valores en F1, sobre todo asociado a armonía y boca +. Los vinos de Gravesac, 5BB y 110R también tienen puntuaciones destacadas con la misma tendencia. Hay vinos de portainjertos especialmente asociados al eje visual como los de Freedom, 99R y 1616C. Otros más asociados a un eje concreto como armonía+ con el vino de 140Ru, boca + con el vino de 41B o total + y olfativa + con el vino de 1103P y 5C. En el eje de valoraciones negativas destacan los vinos de Salt Creek y Rupestris, los peor valorados, asociados a visual -, total - y olfativo -. El vino de Fercal está asociado a armonía -, el vino de Dog Ridge a boca- y el vino de 16149C están asociados a total -, boca - y olfativo-.

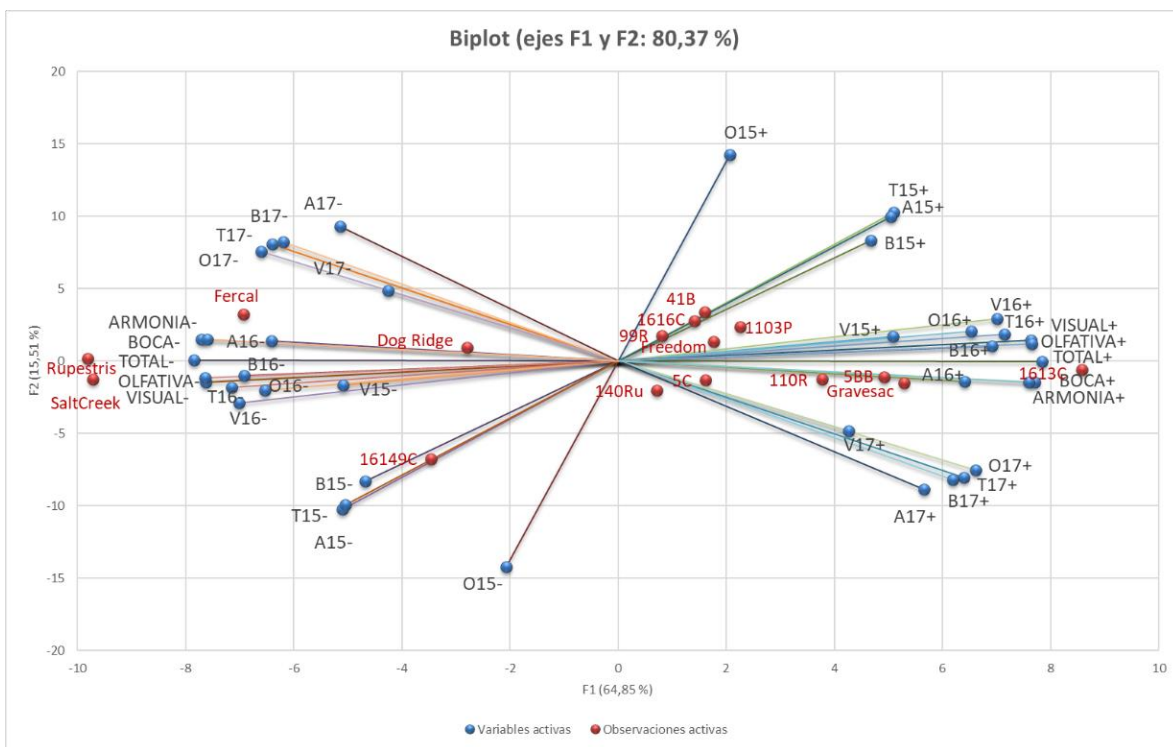


Figura 135. Diagrama de dispersión biespacial de valoración organoléptica de vino de 2015, 2016, 2017 e interanual de Tempranillo sobre 16 portainjertos. T total, A armonía, B boca, O olfativa, V visual. Los ejes anuales están indicados con 15, 16 y 17 y los interanuales en mayúsculas.

El ACP de vinos de 2015, 2016 y 2017 junto con la valoración media interanual ofrece la mejor representación de la valoración sensorial, situando a los vinos de los portainjertos respecto a los ejes medios, que se representan en mayúscula, así como las valoraciones medias anuales, representadas con su inicial y el año (figura 135) siguiendo la misma metodología que anualmente, con las valoraciones positivas y las penalizaciones. Se aprecia como el vino de 1613C es el que mejor valoración sensorial obtiene, pasando el 8,5 del eje F1. El grupo formado por los vinos de los portainjertos 5BB, Gravesac y 110R son los siguientes mejor valorados, principalmente vinculados al eje de la boca+ y armonía+ y luego con posiciones intermedias positivas el conjunto de los vinos de 1103P, Freedom, 41B, 1616C y 99R asociados a la parte olfativa + y visual + y asociados a altos valores en 2015, mientras los vinos de 5C y 140Ru están

más cercanos a las componentes de boca + y armonía + y altas valoraciones en 2017. En el lado negativo de los ejes están los peor valorados, donde el vino de Salt Creek y Rupestris sobrepasan el - 9,5 del F1. El vino de Fercal es el siguiente peor valorado, vinculado a armonía - y boca- y con las peores valoraciones en 2017, al igual que el vino de Dog Ridge algo mejor valorado. Mientras el vino de 161-49C está asociado a los ejes visual - y olfativa - y malas valoraciones en 2015.

4.2.5. EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN

Los resultados de los parámetros seleccionados para evaluar la adaptación del Tempranillo sobre los 16 portainjertos en las condiciones vitícolas indicadas, son convertidos mediante las categorías indicadas en el apartado 3.3.5 en puntuaciones. Estas puntuaciones son ponderadas según la tabla 19 a proporción de 27%:27%:45% respecto de los parámetros de producción: estado y equilibrio vegetativo: calidad, con un claro predominio de la calidad. Los resultados del índice de adaptación de los distintos años se exponen en la tabla 55, así como de las valoraciones interanuales consideradas.

*Tabla 55. Índices de adaptación de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015, 2016 y 2017 adaptación según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad). Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según test Tukey (Significación del ANOVA ** ≤0,01, ***≤0,001).*

	2015		2016		2017		15+16+17		15+17	
161-49C	178	ab	131	d	157,7	c	155	e	168	cde
1613C	167	ab	150	cd	156,7	c	158	de	162	e
41B	156	b	155	bc	171,8	abc	161	cde	164	de
1616C	171	ab	155	bc	162,1	bc	163	bcde	167	cde
Dog Ridge	167	ab	167	abc	181,5	abc	172	abcde	174	bcde
Fercal	170	ab	160	abc	192,5	ab	174	abcde	181	abcde
110R	179	ab	166	abc	187,4	abc	177	abcde	183	abcde
Salt Creek	189	ab	166	abc	184,0	abc	180	abcd	186	abcd
1103P	178	ab	178	a	187,5	abc	181	abc	183	abcde
Rupestris	187	ab	164	abc	197,0	a	183	abc	192	ab
Gravesac	193	a	175	ab	181,0	abc	183	abc	187	abcd
Freedom	186	ab	172	abc	191,9	ab	183	abc	189	abc
99R	184	ab	176	ab	191,1	ab	184	abc	188	abcd
140Ru	190	ab	168	abc	195,7	a	185	ab	193	ab
5C	189	ab	174	ab	194,9	a	186	a	192	ab
5BB	199	a	174	ab	198,1	a	190	a	198	a
Sig.	**		***		***		***		***	

En **2015**, el Tempranillo con 5BB y Gravesac se muestran como mejor adaptados que con 41B. A una significación del 90% el Tempranillo injertado sobre 140Ru, 5C, Salt Creek estaría dentro de la categoría de mejor adaptados.

En **2016**, el portainjerto 161-49C destaca mostrando el menor grado de adaptación del Tempranillo respecto a todos los demás portainjertos, excepto 1613C. Por el contrario, 1103P muestra las mejores valoraciones de adaptación respecto a 41B, 1616C, 1613C, 161-49C. También 99R, Gravesac, 5BB y 5C producen mejor adaptación al Tempranillo que 1613C, 161-

49C. Las circunstancias de secado de racimo que afectaron en el 2016, hacen que las producciones sean más reducidas, aunque no afectó de manera uniforme a todos los portainjertos, produciéndose menor penalización por exceso de producción y por tanto valorando en mayor proporción los parámetros vegetativos y de calidad que otros años.

En **2017** el Tempranillo sobre 5BB, Rupestris, 5C, 140Ru está mejor adaptados que el tempranillo sobre 1616C ,161-49C y 1613C. Los portainjertos Fercal, Freedom y 99R también producen mejor adaptación en el Tempranillo que 161-49C y 1613C.

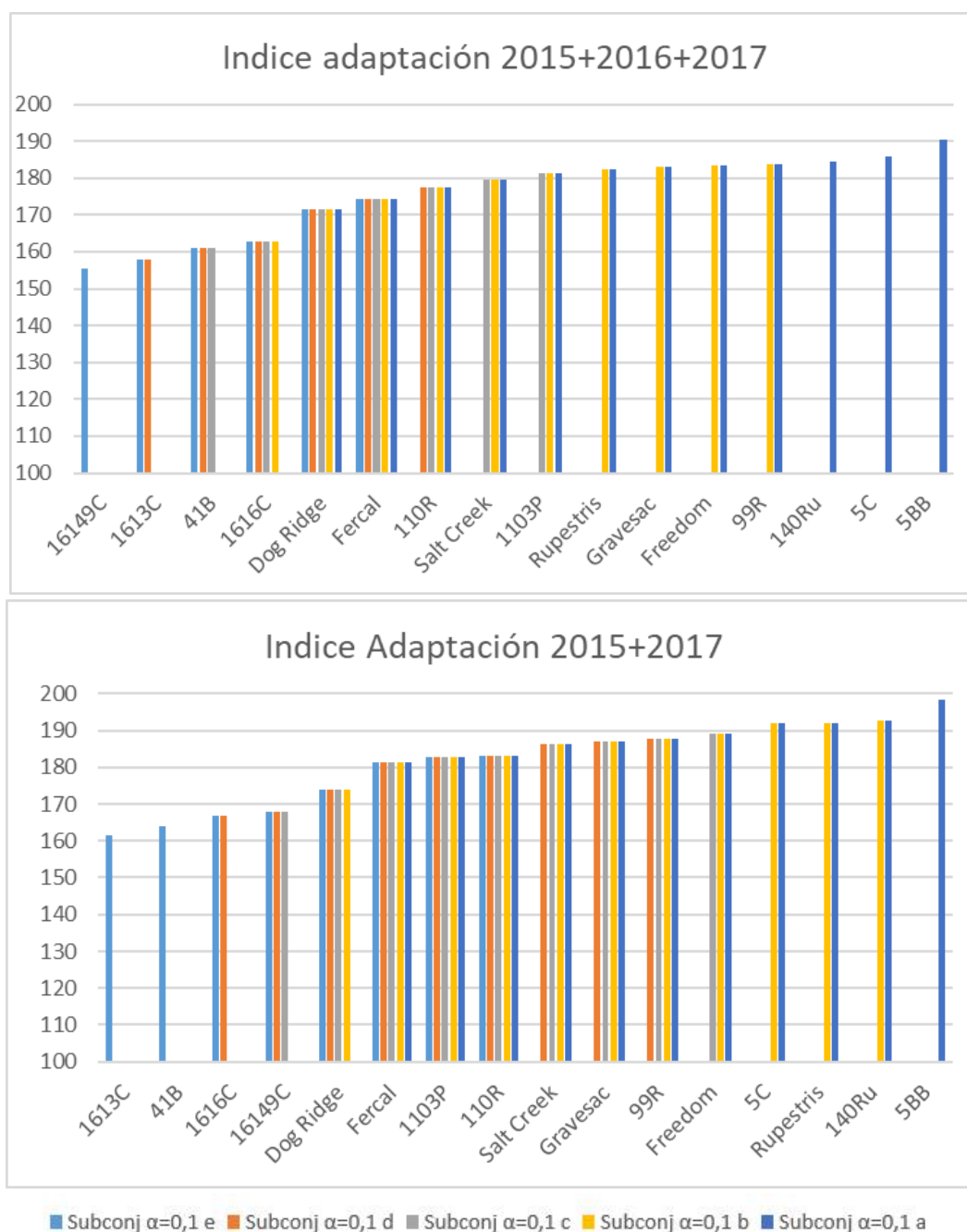


Figura 136. Diagrama de barras de los índices de adaptación según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad) de Tempranillo para 16 portainjertos según post hoc Duncan $\alpha=0,10$ en los años a)2015, 2016 y 2017; b)2015 y 2017.

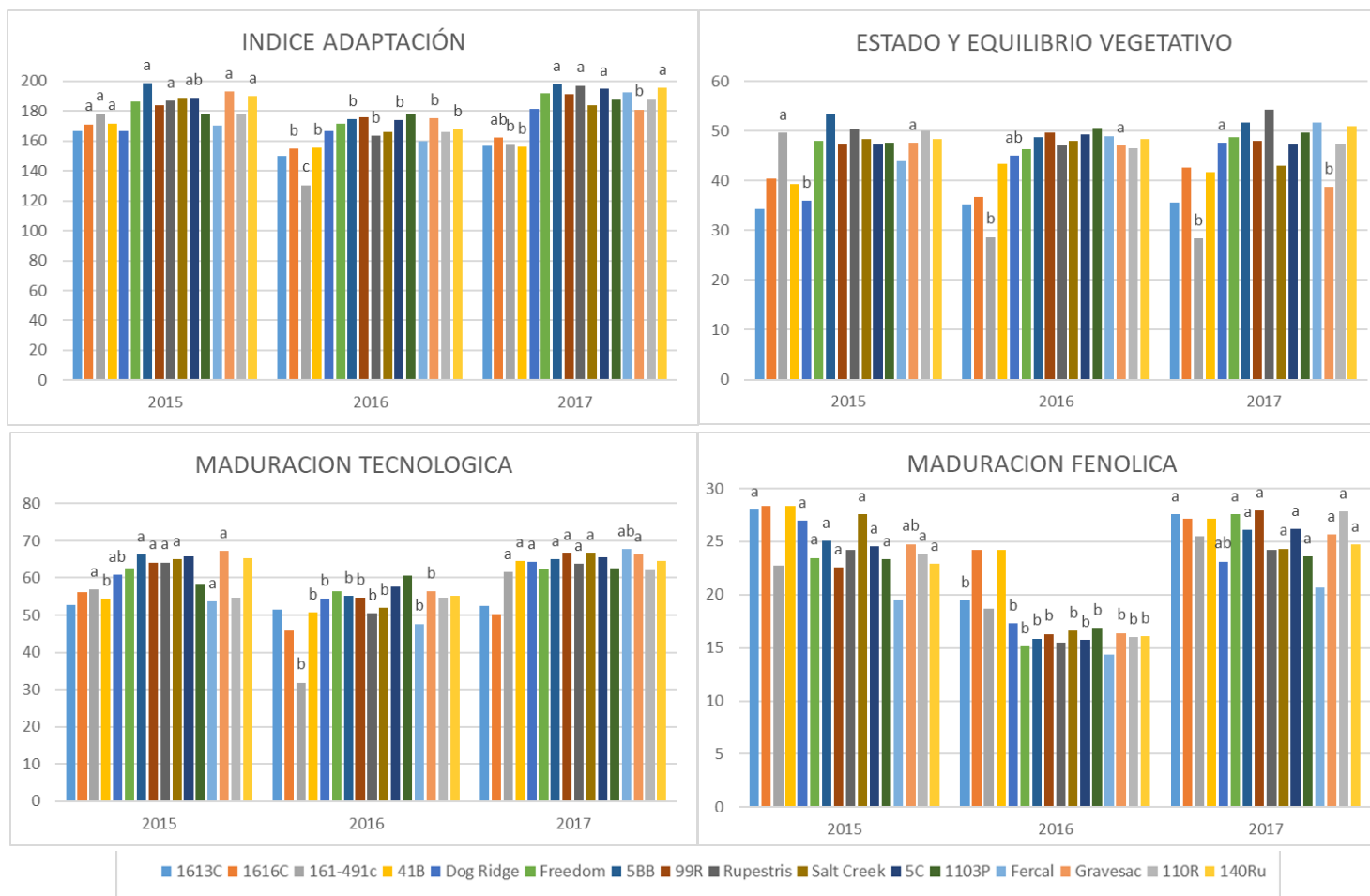
Los resultados **interanuales 2015+2016+2017** del índice muestran que los portainjertos 5BB, 5C y 140 Ru producen mejor adaptación del Tempranillo que los portainjertos 1616C, 41B, 1613C y 161-49C. Los portainjertos 99R, Freedom, Gravesac, Rupestris y 1103P adaptan mejor las plantas de Tempranillo que 41B, 1613C y 161-49C. Salt Creek muestra mejor adaptación del Tempranillo que los portainjertos 1613C y 161-49C y el portainjertos 110R produce mejor adaptación del Tempranillo que 161-49C (figura 136a). Estos datos incluyen las producciones de 2016 afectadas por el secado de racimos y una peor maduración en ese año, así que se calculan los índices de adaptación sin los datos de 2016, pues no es un año representativo.

Los resultados **interanuales 2015+2017** muestran que el tempranillo con los portainjertos 41B y 5C está más penalizado por sus elevadas producciones y con el portainjerto 161-49C alcanza buenas maduraciones y estado vegetativo medio por lo que mejora su puntuación. El portainjerto que mejor adaptación procura al Tempranillo es el 5BB, que muestra mejor adaptación que Dog Ridge, 1616C, 41B, 1613C y 161-49C. Los portainjertos 5C, 140Ru y Rupestris procuran mejor adaptación al Tempranillo que 1613C, 41B, 1616C y 161-49C. El Tempranillo sobre Freedom está mejor adaptado que con los portainjertos 1613C, 41B y 1616C. El Tempranillo sobre los portainjertos 99R, Gravesac y Salt Creek solo están mejor adaptados que con 1613C y 41B (figura 136b).

Para ver cómo evalúa el índice de adaptación propuesto y sus componentes la evolución entre **2015, 2016 y 2017** se hace ANOVA para cada portainjerto entre los años. Los resultados se exponen en conjunto para cada parámetro en las figuras 137.

El año 2016 es el año de menores valores en el índice de adaptación. En la mayoría de los portainjertos esta penalización en el índice de adaptación viene dada por una peor maduración tecnológica y fenólica de 2016 (figura 137c y 137d). Sin embargo, se observan algunas diferencias entre la componente de estado y equilibrio vegetativo, que en el caso de 161-49C y Gravesac empeoran en 2017 (figura 137b), 161-49C por un descenso en su masa vegetal medido en SFE y madera de poda, Gravesac por un aumento del vigor y por tanto un desequilibrio en este factor. En el caso de Dog Ridge mejora en 2017. Además, se tiene que considerar su implantación más tardía.

Debido a la falta de maduración de 2016 y las circunstancias excepcionales de secado de racimos se decide valorar las diferencias entre 2015 y 2017 entre el índice de adaptación y sus componentes. Se evalúa mediante la t de student. Los archivos se pueden consultar en el CD adjunto anexo 18. Se encuentran las diferencias antes mencionadas en la evaluación de los tres años, Dog Ridge presenta mejor índice de adaptación en 2017 y los portainjertos 161-49C y Gravesac empeoran en 2017 respecto a 2015, tanto en el índice de adaptación y como en la fase de estado y equilibrio vegetativo. Además, se aprecia que el Tempranillo sobre Fercal mejora en 2017 su estado vegetativo y también con Rupestris en su índice de adaptación para 2017. El portainjerto 41B mejora la maduración tecnológica del Tempranillo en 2017.



Figuras 137. Diagrama de barras de a) índices de adaptación y sus b) componentes vegetativas, c) maduración tecnológica y d) maduración fenólica de tempranillo sobre 16 portainjertos adaptación según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad) en los años 2015, 2016 y 2017. Letras distintas indican diferencias significativas entre años comparables dentro de cada portainjerto para $\alpha \leq 0,05$ según test de Tukey.

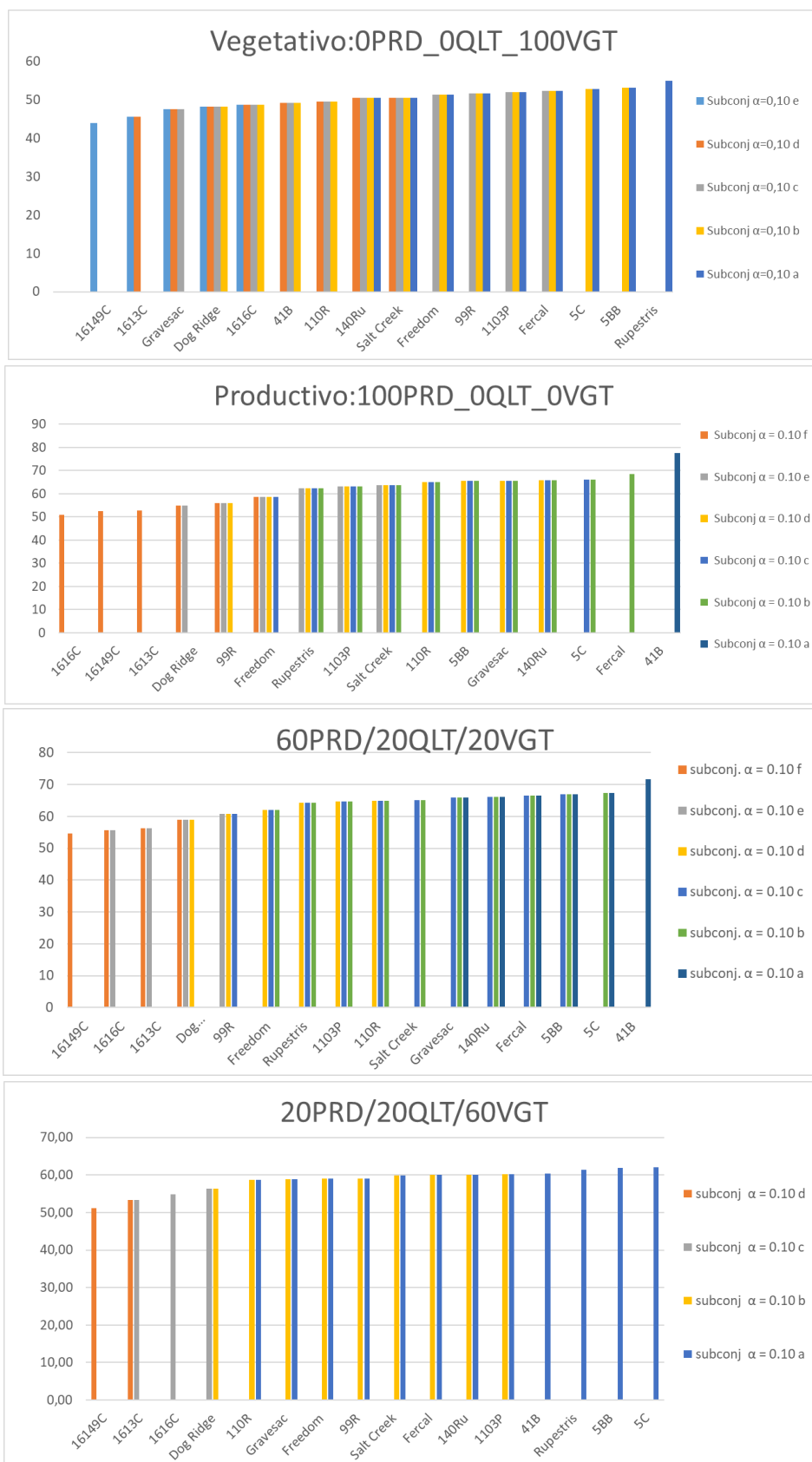
Entre los portainjertos mejor adaptados según el análisis de la varianza con el test post hoc de Tukey 95%, se hace una segunda selección 5BB, 5C, 140Ru, 99R, Freedom, Gravesac, Rupestris y 1103P (tabla 55) para concretar cual es el portainjerto preferente con las ponderaciones definidas 27% producción : 27 % vegetativo : 45% calidad. Primero se seleccionan entre ellos los mejor adaptados vegetativamente, evaluando la puntuación del estado y equilibrio vegetativo. Los resultados indican que hay diferencias entre Gravesac, con un peor estado vegetativo, y 5BB (tabla 56). Por tanto, Gravesac queda excluido de la selección, como indicaban los análisis previos de la fase vegetativa entre los años.

Se evalúa según las distintas componetes, uno que prime el aspecto productivo, ordenando según esa fase y uno que priorice la calidad de la uva, ordenando según la fase de la maduración tecnológica y otro según la fase de la maduración fenólica. Se realiza ANOVA para ver si hay diferencias de adaptación según los portainjertos. En la tabla 56 se exponen los resultados y se aprecia que, 1103P tiene una producción peor valorada que 5BB. En cuanto a la maduración tecnológica y fenólica se observan tendencias, pero no diferencias significativas. Se observa la posición destacada del 5BB.

*Tabla 56. Evaluación de los portainjertos mejor adaptados según las fases del índice adaptación según escenario 27:27:45 (producción: vegetativo: calidad). Letras distintas indican diferencias significativas para alfa 0,05 según el test Tukey. Significación ANOVA * $\leq 0,05$; n.s.= no significativo.*

ESTADO Y EQUILIBRIO VEGETATIVO			PRODUCCIÓN			MADURACIÓN TECNOLÓGICA		MADURACIÓN FENOLICA	
Gravesac	44,4	b	1103P	50,2	b	Rupestris	59,5	Rupestris	20,2
Freedom	47,7	ab	99R	51,2	ab	Freedom	60,4	140Ru	21,2
5C	48,0	ab	Rupestris	52,2	ab	1103P	60,5	1103P	21,3
99R	48,3	ab	140Ru	52,3	ab	140Ru	61,7	Freedom	22,1
140Ru	49,2	ab	5C	52,7	ab	99R	61,9	5C	22,2
1103P	49,3	ab	Freedom	53,1	ab	5BB	62,1	99R	22,2
Rupestris	50,6	ab	5BB	54,7	a	5C	63,1	5BB	22,4
5BB	51,2	a							
Sig.		*	$\alpha \leq 0,30$			n.s.		n.s.	

Con el fin de ajustar el procesado de la base de datos a diferentes escenarios con otros intereses productivos o vegetativos, se reorganiza la categoría productiva y vegetativa según la tabla 20, en este caso sin penalizar el exceso de producción y se introducen los parámetros nutricionales en la valoración vegetativa. En las figuras 138 se observan las diferencias significativas entre portainjertos en diferentes escenarios, indicando el porcentaje de cada componente en la valoración. En la valoración vegetativa se aprecia como el Tempranillo sobre los portainjertos 161-49C, 1613C y Gravesac está peor adaptados que con Rupestris, 5C y 5BB (fig.138a). En el aspecto productivo 1616C, 161-49C, 1613C y Dog Ridge están peor adaptados que 41B, Fercal y 5C (fig. 138b) Se realizan valoraciones en escenarios donde se prioriza la producción, destacando los portainjertos 41B y 5C (fig. 138c) y donde se prioriza el estado vegetativo (fig.138d) destacando 5C, 5BB, Rupestris y 41B. Se aprecian así las diferentes aplicaciones de la base de datos obtenida a otras evaluaciones diferentes a la viticultura de calidad.



Figuras 138. Diagramas de barras de las diferencias significativas según Duncan al 90% de los índices de adaptación de los portainjertos en 2015, 2016 y 2017 en diferentes escenarios de Producción_Calidad_Vegetación (PRD_QLT_VGT). a)100% vegetativo b)100% productivo. c) 60% producción_20%calidad_20%vegetación d) 20%producción_20%calidad_60%vegetación

5

DISCUSIÓN GENERAL



5. DISCUSIÓN GENERAL

5.1 CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS

El **suelo** a estudio es calcáreo, con elevada presencia de carbonatos y con textura franca arcillosa y baja salinidad. La materia orgánica, aun no mostrando un valor muy elevado, presenta un contenido suficiente como para poder clasificar estos suelos del orden de los Mollisoles, en donde el horizonte de diagnóstico es el horizonte superficial órgano-mineral (Horizonte A), caracterizado por un contenido en materia orgánica mayor del 1% y con un espesor superior a 18 cm (Soil Survey Staff, 2014). Se supone que predomina el humus tipo mull cálcico muy estable, que juega un papel muy importante, en cuanto a la textura y estructura que mantiene, con una relación carbono/nitrógeno óptima (alrededor de 10). Su capacidad de intercambio es buena, mientras que la saturación de bases está dominada por el calcio. La toma de otros nutrientes como magnesio, potasio y hierro, presentes en mucha menor proporción, se puede ver limitada en este suelo por el antagonismo con el calcio o por la baja disponibilidad, respectivamente. El suelo a estudio presenta una gran homogeneidad textural, química y nematológica, con niveles bajos de nematodos, y los distintos portainjertos no se ven influidos de por su distribución en la parcela, por lo que no se debe considerar como una variable a lo largo de la investigación. Este tipo de suelos tienen una buena vocación vitícola, con una estructura y elementos gruesos favorable y siendo considerada la presencia de calcio un componente favorable al desarrollo del bouquet del vino (Sotés y Gómez-Miguel, 1992).

Climáticamente, Olite se sitúa en la región cálida-templada y región productora III de Winkler y Amerine caracterizada como productora de uvas con alto contenido en azúcar, con mucho cuerpo y que pueden tener baja acidez (Hidalgo, 1993). Los años de experimentación son años cálidos en general, siendo 2016 el que menor integral térmica eficaz presenta y reflejándose en un ciclo fenológico más largo y vendimia más atrasada (Tescic et al, 2002). Así mismo, se produce en 2016 una primavera especialmente lluviosa y un verano seco y con temperaturas máximas muy elevadas las últimas semanas de agosto, alcanzando los 35°C y temperaturas mínimas unos 3°C superiores a las de agostos de 2015 y 2017. A altas temperaturas muchos procesos metabólicos se detienen o se ven significativamente reducidos. En la vid estas temperaturas críticas se sitúan en los 30°C (Downey et al, 2006) produciendo efectos negativos como el marchitamiento de porciones no lignificadas de los brotes. La médula puede secarse y producir el fenómeno del asolado de racimos (The American Phytopathological Society, 1996), que tiene efectos directos sobre la producción. También se alteran procesos tales como la biosíntesis de azúcares, flavonoides y degradación de ácidos (Sepúlveda y Kliewer, 1986; Downey et al, 2006) lo que explica la menor acidez y maduración fenólica en las uvas de 2016.

El comportamiento de la variedad Tempranillo con respecto al portainjerto sobre el que se desarrolla varía en los aspectos nutricionales, vegetativos, productivos y enológicos estudiados de manera significativa.

5.2. ESTUDIO NUTRICIONAL

Primeramente, hay que destacar el programa de **fertilización** que se realiza atendiendo a los síntomas de deficiencias observados en el viñedo, de reciente implantación, y valorando el estado nutricional del viñedo. Los **índices DOP y DRIS** se utilizan como herramientas para el diagnóstico nutricional en peciolas, junto con unos niveles de referencia adecuados (Bermejo, 2015; Romero; 2015). A partir de estos datos se detectaron desórdenes nutricionales para el N, P, K y Fe en floración y, sobre todo, de K y Fe también en envero. En 2016 se procedió a la aplicación de un fertilizante de hierro a base del agente quelante biodegradable IDHA/Fe³⁺ vía foliar con el fin de evitar residuos en el suelo. Ante la deficiencia de N, P y K se decidió un plan de fertilización con NPK aplicado desde antes de floración para 2017 junto con aplicaciones de IDHA/Fe³⁺ vía foliar previas a floración a dosis subóptimas.

Las valoraciones en cuanto al estado y diagnóstico nutricional del Tempranillo en los diferentes portainjertos, encuentran diferencias significativas dependiendo del nutriente y del estado fenológico.

El **nitrógeno** es un elemento que tiene una función estructural, formando parte de aminoácidos, proteínas, coenzimas y ácidos nucleicos, así como de la molécula de clorofila. El nitrógeno estimula la síntesis proteica, favoreciendo el aumento de superficie foliar y clorofila, estimulando la fotosíntesis, por lo que su carencia se caracteriza por un vigor insuficiente mientras que un exceso lo favorece (Romero, 2015). En cuanto a su concentración en el Tempranillo según el portainjerto es mayor en Gravesac, tanto en floración como en envero, correspondiendo con el mayor vigor de esta combinación. Las apreciaciones de Keller et al, (2001) en cuanto al comportamiento de los cruces de *V. berlandieri* x *V. riparia*, como menos efectivos en la asimilación de fertilizantes nitrogenados, se verifican respecto a los de cruce *V. berlandieri* x *V. rupestris*, aunque no comparados con los portainjertos de sangre *V. champinii*, Dog Ridge y Freedom, que son los que menores cantidades de nitrógeno presentan, no es el caso del clon de Salt Creek 1AD, denominado superclon #128 en los 70s (Foundation Plant Service, s.f.). Al igual que Keller et al, (2001) se observa la mayor efectividad de 140Ru respecto al nitrógeno que otros portainjertos, salvo el Gravesac. En todos los casos el nitrógeno peciolar ha descendido respecto a los valores de su floración anual, esto es consistente con apreciaciones de Navarro et al, 2008, pues el nitrógeno es un elemento móvil en el floema, lo que permite su exportación a hojas jóvenes, meristemas, frutos o incluso órganos leñosos (Romero, 2015). El índice DOP hace una valoración más deficiente que DRIS respecto a este nutriente. El balance del nitrógeno respecto a los índices nutricionales es deficiente en las floraciones y tiende a mejorar en los enveros, de forma más importante en 2017, como efecto de la fertirrigación

aplicada ese año. La comparación interanual del N confirma la efectividad de las aportaciones de nitrógeno mediante fertirrigación en el envero de 2017, pero no en la primavera.

El **fósforo** es un elemento estructural, formando ácidos nucleicos y fosfolípidos y tiene fundamental importancia en el metabolismo energético al formar enlaces pirofosfato de elevada energía. Su déficit es inusual, pero afectaría a los procesos de división celular, crecimiento de raíces, hojas, agostamiento de la madera, menor producción, mientras que su exceso podría limitar la toma de otros nutrientes como el Zn (Bermejo, 2015). En cuanto a su concentración en el Tempranillo es mayor con Gravesac y 1103P en floración y en envero mayor en 140Ru y 99R, todos ellos portainjertos de considerable vigor y requerimiento energético. Es un elemento de alta movilidad en el floema (Romero, 2015) por lo que se mueve a demanda y su concentración en peciolo baja de floración a envero todos los años de la experimentación conforme lo observado por Navarro et al, (2008), aunque no en todos los portainjertos, produciéndose más diferencias en 2015 y 2016 que, en 2017, acorde con el programa de fertilizaciones de 2017. Los índices DOP hacen una valoración más deficiente que DRIS respecto a este nutriente. La evolución de los índices nutricionales es diferente según los años, mostrando 2015 y 2016 sin fertilización de este nutriente evoluciones diferentes, partiendo de una situación más deficiente en 2015 los índices mejoran en envero llegando a DOP positivos, mientras en floración de 2016 índices mejores, especialmente DRIS, disminuyen en envero hacia valores negativos. En 2017 los DOP y DRIS mejoran de floración a envero, aunque sigue siendo deficiente, efecto que no se puede atribuir a la fertilización directamente como muestran las comparaciones interanuales de floración y envero que muestran mayores valores en 2016 para gran parte de los portainjertos. Se observa por tanto mayor necesidad de fertilización respecto a este nutriente para posteriores aplicaciones.

El **potasio** es el catión más abundante y presenta una elevada movilidad en la planta, tanto en xilema como en floema. Sus principales funciones son a nivel fisiológico y bioquímico, activando el sistema enzimático de la fotosíntesis y la respiración, del metabolismo del almidón y las proteínas (Romero, 2015). Tiene un papel fundamental en el mantenimiento del potencial de membrana y la regulación del potencial osmótico, así como en el transporte y translocación de foto asimilados (Mpelasoka et al, 2003). En cuanto a su concentración en Tempranillo según los portainjertos, 1616C es el que mayor concentración de potasio presenta. No se encuentra concordancia con las apreciaciones de Wolper et al, (2005) en cuanto a una menor concentración en peciolo de floración para los portainjertos con cruce de *Vitis berlandieri*, estando híbridos como 5BB y 99R entre los que mayor concentración de potasio aportan en este momento fenológico. El portainjerto 140Ru resulta el menos potasófilo según los análisis peciolares en floración y envero, y de acuerdo con Walker y Blackmore, (2012). El potasio se redistribuye desde las estructuras vegetativas de la cepa, principalmente de la hoja hacia los racimos, a medida que el ciclo vegetativo avanza, especialmente a partir de envero y a lo largo de la maduración (Bermejo, 2015). El potasio disminuye en envero en el año 2015 y 2016 en todos los portainjertos, indicando una evolución paralela a la que mostraban el N y el P durante toda la experimentación, consistente con las observaciones de Navarro et al, 2008. En 2017 no se

observan diferencias significativas entre floración y envero acorde con el programa de fertilizaciones de potasio realizado ese año. El balance nutricional de DOP y DRIS en las condiciones experimentales es, respecto al potasio, negativa en todos los años y estados fenológicos estudiados. Su evolución no cambia significativamente de floración a envero. Las comparaciones interanuales no muestran mejoras en floración, aunque sí en envero de 2017, resultado de las fertirrigaciones que se muestran efectivas en este estado fenológico, aunque no parecen llegar a los niveles adecuados marcados por DOP y DRIS respecto a los niveles de referencia utilizados. Se sabe que la absorción de K vía edáfica se encuentra impedida por el antagonismo con el Ca y, que por tanto, para futuros estudios deberían de considerarse dos líneas de actuación con objetivos bien diferenciados una hacia la revisión de los valores de referencia para esta zona edafoclimática y otra hacia una vía de fertilización de K que sea más efectiva, posiblemente vía foliar para conseguir una fertilización equilibrada sobre el desarrollo vegetativo de la planta y el perfil enológico .

El **calcio** tiene funciones estructurales en las plantas, fortalece la lámina media, favorece el desarrollo radicular y está implicado en el funcionamiento de diversos enzimas, como la amilasa, fosfatasa, hidrólisis ATP y fosfolípidos. Es un elemento de baja movilidad en floema, por lo que se transporta vía xilema. Se ha observado por parte de numerosos investigadores el antagonismo entre el Ca y el K en cuanto a su absorción (Navarro y Navarro, 2003), del mismo modo que existe entre el Ca y el Mg y entre el Ca y el Na (Navarro y Navarro, 2003). Sin embargo, estos antagonismos solo se visualizan claramente en el 41B que siendo el que menor Ca presenta, mantiene altas concentraciones de Mg, tanto en floración como en envero y el 99R que con bajas concentraciones de Ca presenta altas concentraciones de K tanto en floración como en envero. Dog Ridge es el que mayor concentración de Ca presenta en peciolo en floración y envero, junto a 1613C en envero. En todos los casos destacan los híbridos de *V. champinii* con las mayores concentraciones de este elemento, revelando su naturaleza calcícola (Viala y Vermorel, 1909). La dinámica del calcio es acumulativa aumentando sus concentraciones con los años en floración y envero y entre ambos estados fenológicos, acorde con García-Escudero et al, (2002) y la comparación interanual de enveros muestra esta tendencia también. El balance nutricional DOP y DRIS indica que calcio está en exceso, atribuible a la concentración de este elemento en el suelo.

El **magnesio** es un elemento muy móvil vía floema. Interviene en la fotosíntesis, formando parte de la composición del anillo de la molécula de clorofilas, localizándose como su átomo central. Interviene en la síntesis de carotenos, en la activación de enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos. Su carencia es bastante frecuente, en parte, debido a su antagonismo con el K (Sotés, 2004). En cuanto a su diferente concentración según el portainjerto se observa como Gravesac en floración y Gravesac y 140Ru en envero son los que mayor concentración presentan en peciolo de Tempranillo. Se aprecia cierto antagonismo con el Ca para el portainjerto 41B, pero no en el resto de portainjertos. La dinámica del magnesio es acumulativa aumentando sus concentraciones con los años en floración y envero y entre ambos estados fenológicos en el global de portainjertos, acorde con la García-Escudero et al, (2002). El

balance nutricional DOP y DRIS indica que el magnesio está en exceso, y no es un nutriente limitante en las condiciones experimentales estudiadas.

De entre todos los micronutrientes esenciales en plantas, el **hierro** es el que la planta requiere en mayor concentración. Debido a su capacidad de cambio de estado redox, es un componente clave de hemoproteínas y proteínas ferro-sulfúricas (incluyendo citocromos, catalasas, peroxidasas y ferredoxinas), y juega un papel muy importante en procesos celulares como la fotosíntesis, la respiración, la biosíntesis de clorofila, la asimilación de nitrógeno y azufre, y la síntesis de hormonas (Briat et al., 2015). En cuanto a la concentración de hierro en peciolo de Tempranillo según el portainjerto no se encuentran diferencias, ni en floración ni en envero, reflejando la llamada “paradoja del hierro” debido a que no se observan diferentes concentraciones en plantas que reflejan diferente nivel de clorosis. Esto es posiblemente debido a la inactivación del hierro en el apoplasto de las vides, por lo que no puede entrar al mesófilo e intervenir en el metabolismo (Keller et al, 2001; Tagliavini y Rombolá, 2001). En cuanto a la tendencia estacional del hierro es acorde con la observada por otros autores (Bermejo, 2015) de aumento de floración hasta envero todos los años en el global de portainjertos, pero no en todos los portainjertos todos los años. Es sabido la eficacia del uso de quelatos sintéticos de hierro en suelos calcáreos (Lucena, 2006). La eficacia de estos productos vía edáfica es muy elevada debido a la gran capacidad de mantener el hierro soluble incluso a valores de pH muy alcalinos. En el presente estudio se ha utilizado un agente quelante sintético (IDHA) con aplicación vía foliar para mantener las prácticas habituales de la zona. La aplicación de este quelato de hierro (IDHA/FeIII) tiene beneficios ya que es un agente quelante biodegradable y, por lo tanto, apto para su uso en un ambiente de agricultura de conservación, aunque su capacidad de mantener soluble el hierro es inferior a los ácidos polifenólicos (tipo EDDHA, HBED, EDDHSA) si se aplicase de forma edáfica (Yunta et al, 2012). El balance nutricional DOP respecto al hierro en las condiciones experimentales fue negativo en 2015 y en floración de 2016 y positivo en envero de 2016 y en floración y envero 2017, y bastante diferenciado respecto al comportamiento de los distintos portainjertos. La comparación interanual y entre estados fenológicos del mismo año indica que se produce una mejora fisiológica sin fertilización, con fertilización IDHA/FeIII subóptima previa a floración 2017 y con fertilización IDHA/FeIII óptima previa a envero 2016, la cual produce mejoras en el contenido de Fe foliar para todos los portainjertos.

El **manganeso** interviene en numerosos procesos metabólicos de las plantas, actuando como cofactor de diversos enzimas como las descarboxilasas y deshidrogenasas, así como en la síntesis de ligninas, flavonoides e indolacético. Participa en la fotólisis del agua en la fotosíntesis, así como en la síntesis de clorofila, glúcidos y vitaminas (Bermejo, 2015). Su deficiencia suele producirse en suelos alcalinos e induce menor vigor y cuajado, así como decoloraciones marginales en las hojas. Su tendencia es acumulativa de floración a envero todos los años en peciolo, coincidiendo con Domínguez et al., 2015, que señala una estabilización de envero hasta vendimia. La concentración de manganeso en peciolo de Tempranillo según el portainjerto muestra diferencias siendo el que más concentración presenta el Gravesac en floración y el Fercal en envero y las menores concentraciones en floración las de 161-49C, 1616C, 110R, que

corresponden con bajos vigores y 99R y 5C, que persisten con las menores concentraciones en envero. El balance DOP del Mn es positivo para todos los años y estados fenológicos. El manganeso en su evaluación interanual aumenta en 2017 en floración en 1616C, 161-49C, 41B, Dog Ridge y 5BB, aunque en envero las tendencias no son claras, siendo en 2016 menor en general, posiblemente debido al efecto de la fertilización con hierro y a su antagonismo Fe/Mn.

El **zinc** es un constituyente estructural, además de activar o regular un elevado número de enzimas, interviniendo en la síntesis de la clorofila, activador de catalasa, peptidasa, deshidrogenasas e interviniendo en la respiración, el metabolismo de los azúcares y las proteínas. Sus efectos se producen mediante el aumento de la producción, el contenido en azúcares, el crecimiento vegetativo, mejorar y acelerar la lignificación de los sarmientos y adelantar la maduración e incrementar la resistencia al frío y la sequía (Bermejo, 2015). Su tendencia es acumulativa en el ciclo vegetativo, siendo Gravesac el que mayor contenido presenta en floración respecto a 1613C y Fercal y en envero Gravesac y 99R respecto a 110R. El balance de DOP indica exceso de este nutriente. En su evolución interanual se observa un descenso importante en la floración de 2016 y 2017 con respecto a 2015 y en envero las tendencias no son claras.

El **boro** es un micro elemento de gran interés debido a su importancia en la fecundación, así como en el transporte de azúcares y calcio dentro de la planta (Navarro y Navarro, 2003). Es importante para el crecimiento vegetativo, interviene en el metabolismo de carbohidratos e influye en el metabolismo oxidativo activando la síntesis de clorofila, producción de azúcares y síntesis de lignina y en el metabolismo del nitrógeno (Bermejo, 2015). Su déficit provoca el necrosamiento en los zarcillos y en parte del brote, peciolos gruesos y cortos, brotes cortos y estériles, afectando al cuajado. (Pearson y Goheen, 1996). El exceso produce una deformación severa de las hojas más jóvenes, desarrollando necrosis en los bordes de las hojas más viejas que progresa hacia la zona internervial y se generan más brotes laterales, confiriendo un aspecto débil y arbustivo. La concentración de boro desciende durante el ciclo vegetativo de floración a envero acorde con Parejo (1991). El portainjerto 1616C es el que mayor concentración presenta en floración respecto al resto de portainjertos, mientras en envero 1616C y 1613C, los dos híbridos de *V. solonis*, son los que mayor concentración presentan respecto a 41B. La evolución interanual muestra una clara disminución con los años desde 2015 hasta 2017. Los índices DOP muestran el paso de una situación en exceso en 2015 a una situación de defecto en 2017 en todos los portainjertos. Es conocida la relación existente entre suelos sedimentarios calcáreos de elevados pH y concentraciones de boro elevadas (Doncel et al., 1994) y cómo la química del boro en suelos calcáreos disminuye su disponibilidad a valores de pH alcalinos debido a la presencia del anión borato como especie predominante y, por lo tanto, se evidenciaría dicha disminución en la disponibilidad del nutriente para la planta (Gárate, 1983). Esto implicaría un análisis específico del boro en futuros estudios, aunque no parece que dichas concentraciones puedan inducir toxicidad.

En cuanto a la asociación de los portainjertos al comportamiento de los nutrientes, el análisis de componentes principales vincula claramente al N y P, tanto en floración como en envero al portainjerto Gravesac, seguido de 140Ru, asociados a alto vigor (Bermejo, 2015).

Mientras 1616C, 1613C y Dog Ridge se ven claramente asociados al calcio y al potasio. El portainjerto 161-49C muestra el mayor desequilibrio nutricional es el más alejado de todos los ejes de los macronutrientes, mostrando una situación nutricional diferenciada. En cuanto a los micronutrientes es destacable la asociación en floración y envero de 1616C y 1613C al boro, y en envero también el Gravesac. Esto junto con la alta correlación entre el nivel de boro y los niveles de SPAD, clorofila e índices vegetativos en estas condiciones experimentales, indica que es un elemento a tener en cuenta en sucesivas investigaciones.

5.3. ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

Los portainjertos afectan al Tempranillo en los **estados fenológicos de brotación y envero** estudiados. En el estado fenológico C, punta verde de brotación, Dog Ridge es el portainjerto que más adelanta la brotación y el portainjerto 41B retrasa el periodo fenológico de brotación. En el estado fenológico M (envero), el portainjerto 110R adelanta el envero respecto a los portainjertos 140Ru y Gravesac. Esta secuencia está en línea con la tendencia a alargar el ciclo vegetativo de variedades de portainjertos que confieren mayor vigor (Hidalgo, 1993), como en el caso de 41B en brotación y de 140Ru y Gravesac en envero o el caso de los menos vigorosos Dog Ridge y 1613C. Sin embargo, pueden existir otros mecanismos que afecten a la regulación y afecten, por ejemplo, a la tardía brotación del 1616C, un portainjerto poco vigoroso en estas condiciones edafoclimáticas.

En cuanto a los valores de **SPAD** (estimación no invasiva del contenido en clorofilas) del Tempranillo según el portainjerto, con la variedad 1616C muestra los menores valores de SPAD respecto al resto de los portainjertos en los cuatro estados fenológicos estudiados. Además, en floración, Fercal muestra mayores valores de SPAD que 99R, 5C, Gravesac, 1613C y 1616C y en floración+15 días, mayor que 5C, 99R, 110R, 1613C y 1616C. En estado fenológico K, las variedades de portainjerto Fercal, 41B y 5BB muestran mayores valores de SPAD que 1613C, 161-49C, 110R, Gravesac y 1616C. En el estado fenológico de envero el Tempranillo injertado sobre los portainjertos 5BB, 5C y 41B muestra mejores valores de SPAD que con los injertados sobre los portainjertos 161-49C y 1616C. Se aprecia por tanto un comportamiento respecto al SPAD del Tempranillo dependiente principalmente de su portainjerto, siendo los híbridos *V. berlandieri* x *V. vinifera* (portainjertos 41B y Fercal) los que mejor comportamiento mantienen durante todo el ciclo, junto con 5BB. Sin embargo, se encuentran valores de SPAD muy bajos para 1616C, Gravesac, 1613C e incluso para 161-49C, éste último portainjerto con un nivel de resistencia alto a la clorosis férrica según la clasificación de UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015, que muestra una difícil implantación en estos terrenos los primeros años como describen numerosos autores, asociado a problemas de tilosis vasculares (MAPA, 2004; UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015)

La evolución entre los años de los valores de SPAD del Tempranillo muestra que en floración las diferencias son menores entre los portainjertos, observándose una tendencia a mayores clorosis, especialmente en 2016, posiblemente debido a la mayor humedad del suelo que aumente la disolución del carbonato y el pH del suelo y dificulte toma de hierro del suelo

(Tagliavini y Rombolà, 2001). Tampoco se observan en este momento, mejoras importantes debidas a la aplicación de quelatos en floración de 2017. En la floración + 15 días de 2017, se observa mayores valores de SPAD en los portainjertos 41B, Dog Ridge, Rupestris, Salt Creek, Fercal y 140Ru, en baya tamaño guisante además en 5BB y 99R. En enero aumentan los valores SPAD en todos los portainjertos excepto en 161-49C, que no mejora significativamente en ningún momento del ciclo de cultivo. Se aprecia por tanto una diferente respuesta a la fertilización en el SPAD del Tempranillo dependiendo del portainjerto, siendo más tardía en el ciclo, generalmente, en las variedades de portainjerto con cruce de *V. riparia*, acorde con las observaciones de Keller et al, (2001) para fertilización nitrogenada. La variedad de portainjerto 5BB es, dentro de los cruces con Riparia, la que antes muestra aumentos de los valores de SPAD. Además, se aprecia que el efecto de la fertilización aumenta según avanza el ciclo de la vid y que las fertilizaciones aplicadas antes de floración son más efectivas mejorando el SPAD durante el ciclo vegetativo de la vid, mientras los quelatos aplicados previos a enero no logran aumentar el SPAD en enero del mismo ciclo vegetativo, con una dinámica similar a la que obtienen Covarrubias et al (2014) para aplicaciones de quelatos Fe-EDDHA en viñedo.

En cuanto al contenido en **clorofilas** del Tempranillo, en floración según portainjertos se encuentran diferencias en el contenido de clorofila a y en el contenido de clorofilas totales con igual distribución. Los portainjertos Fercal, Rupestris, Salt Creek, 140Ru y 5BB presentan mayor cantidad de clorofilas a y total que 1616C, que es el portainjerto con menor cantidad de clorofilas, en consonancia con los resultados de SPAD, observándose también que 161-49C no presentan una concentración de clorofilas acorde con su clasificación alta según resistencia a la clorosis férrica por UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro.

La evolución interanual de los valores de clorofilas muestra que hay mayor contenido de clorofila a en floración de 2017 que en floración de 2015 y que las menores concentraciones de clorofilas corresponden al año 2016 para la mayoría de portainjertos, como se aprecia con el SPAD, apoyando el posible efecto de la disolución del carbonato del suelo en las clorosis (Tagliavini y Rombolà, 2001). Se encuentran diferencias respecto al contenido en clorofilas para los portainjertos entre los diferentes años en floración, esto muestra que el análisis químico de las clorofilas que separa entre clorofila a y b es más preciso para comparaciones interanuales que el SPAD en floración que encontraban pocas diferencias, revelando el efecto de la fertilización en este estado fenológico. Sin embargo, en la evaluación anual su capacidad de discriminación entre portainjertos ha sido menor. Esto puede deberse en parte al aumento de la concentración de clorofila b en 2015 que también es detectado por el SPAD disminuyendo su capacidad de evaluación interanual, al mezclar años con diferentes niveles de clorofila b. Se aprecia, por tanto, que para analizar el efecto interanual de la fertilización sobre los portainjertos lo ideal sería el SPAD en un diseño experimental con un control sin abonado.

En cuanto al **vigor** del Tempranillo se aprecian diferencias significativas dependiendo del portainjerto (Hidalgo, 1993). En general, respecto a los valores de referencia establecidos para peso de poda (Martínez de Toda, 2008) los resultados en esta parcela son altos, conforme a la edad de la plantación del diseño experimental, en particular son muy altos para Gravesac, conforme a las observaciones de Yuste et al (2017) en Rueda para Sauvignon Blanc con Gravesac

y para 41B. El vigor es alto con 140Ru, 99R y 5C (UMT Géno-Vigne® INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009-2015). Los portainjertos Dog Ridge, 1613C y 161-49C presentan los menores pesos de poda. Esto está en línea con los dos mecanismos de la vid en respuesta a la clorosis inducida por carbonatos descritos por Bavaresco et al, (1994): uno adaptativo, típico de *V. berlandieri*, caracterizada por una alta tasa de crecimiento y gran sistema radicular y un mecanismo protector, caracterizado por una baja tasa de crecimiento y débil sistema radicular, típica de *V. champinii* según Bavaresco y que se extiende también según los resultados de esta investigación a los híbridos de *V. longii* y a 161-49C en los primeros años de implantación en estas condiciones calcáreas. El peso de poda es un parámetro altamente dependiente del suelo a estudio, y suelos arcillosos producen más madera que suelos con textura gruesa (Vidaurre, 2017), esto unido al elevado vigor que confieren algunos portainjertos hace que sea un factor de control mediante operaciones en verde en el viñedo. Los portainjertos más vigorosos se equilibran en superficie foliar expuesta mediante el despunte de la pared vegetativa. Los menos vigorosos 161-49C, 1613C, Dog Ridge y 1616C, no alcanzan los niveles establecidos como referencia de entre 8000-10000 m²/ha para SFE (Martínez de Toda, 2008), encontrándose el resto de los portainjertos estudiado dentro de los valores óptimos. El índice de Ravaz muestra diferencias significativas debidas a desequilibrios por exceso de vigor en los portainjertos 99R, Gravesac y 140Ru y por escasa producción en 1616C, sin embargo, el portainjerto 41B con una producción ajustada a su elevado vigor mantiene un índice Ravaz adecuado, aunque precisa de una mayor intervención para regular su producción y que afectaría sobre un estudio de costes/producción. Los portainjertos Gravesac, 41B, 140Ru, 99R, 5C y Salt Creek aportan un vigor alto al Tempranillo en estas condiciones edafoclimáticas mientras con Dog Ridge, 1613C, 161-49C y 1616C el Tempranillo adquiere un vigor por debajo del recomendado para una uva de calidad. El vigor tiene gran importancia en la obtención de uvas de calidad, siendo reportado como un mecanismo para el descenso del contenido fenólico en uvas (Downey et al, 2006). El vigor impacta sobre el contenido de taninos y la composición de la piel de la uva, en la que las proantocianidinas son mayores en viñas con escaso vigor, y aumenta la proporción de epigallocatequina y el tamaño de los polímeros de taninos (Cortell et al, 2007). No se conoce, sin embargo, si este cambio es un efecto directo del vigor o indirecto por los cambios producidos en la arquitectura de la superficie foliar de la cepa, lo que modificaría la exposición de los racimos (Downey et al, 2006). Los resultados de esta investigación son acordes con respecto al efecto del vigor en los taninos (figura 115a). Los índices de taninos más altos corresponden con los Tempranillos injertados sobre los portainjertos 1616C, 1613C, 110R en los taninos del hollejo. Sin embargo, el portainjerto 161-49C presenta menores contenidos en taninos en el hollejo, aunque altos los taninos de la pepita, y Tempranillos con alto vigor como los injertados sobre 99R y Salt Creek, no presentan bajas cantidades de taninos, encontrándose índices de correlación bajos entre estos parámetros. Por lo que se demuestra que el efecto del portainjerto influye también directamente en la cantidad de taninos de la uva, además de hacerlo mediante el vigor que confiere a la cepa.

5.4. PRODUCCIÓN

Se encuentran diferencias de **producción** en Tempranillo según el portainjerto en todos los parámetros estudiados. El portainjerto 41B es el más productivo en peso/cepa, peso de racimo, número de racimos y número de bayas por racimo acorde con numerosos estudios que le sitúan como uno de los portainjertos más productivos y solo es superado en peso de 100 bayas por Rupestris. Destaca sobre un grupo de portainjertos que dan una producción alta, compuesto por 1103P, 5C, Gravesac con más de 10000 kg/ha y que se diferencian significativamente de Dog Ridge y 1613C, con producciones bajas de 4500 kg/ha en estas condiciones experimentales. Estos resultados están en línea con los de otros autores (Yuste y Alburquerque, 2013; Yuste et al, 2017) en cuanto a la mayor productividad del 41B, pero no respecto al 110R ni Gravesac, portainjertos con una de las mayores y menores producciones, respectivamente, en Tempranillo la DO Toro (Yuste y Alburquerque, 2013) evidenciando la diferente respuesta de los portainjertos según las diferentes condiciones edafoclimáticas.

5.5. ESTUDIO CALIDAD UVA

En cuanto a la **maduración de la uva** de Tempranillo sobre los distintos portainjertos, se encuentran diferencias en todos los parámetros de la maduración excepto taninos y de pepitas, madurez de pepitas y extracción de antocianos. Los portainjertos que consiguen uvas de Tempranillo con mayores concentraciones de antocianos, intensidad colorante, polifenoles totales (IPT), grado, pH y potasio son, los portainjertos 1616C > 1613C > 110R y en la situación opuesta destacan Fercal con la menor maduración seguido de 161-49C, con mayores taninos de las pepitas y 41B determinado por su alta acidez total. También muy asociados a la acidez total con bajo índice de maduración destacan 1103P, Rupestris y Gravesac. Con alta maduración y baja acidez Dog Ridge y Salt Creek. Los portainjertos 5BB, 5C, Freedom, 99R producen uvas de Tempranillo con maduraciones medias respecto a la mayoría de estos parámetros. Esto es acorde con la mayor maduración fenólica encontrada por Azorín et al, (2016) para el portainjerto 110R con Monastrel, pero no respecto a 161-49C, ni 41B en los que encuentra mayor maduración fenólica, y, sin embargo, acorde con Yuste y Alburquerque, (2013) respecto a la mayor acidez y menores IPT de 41B y 140Ru.

5.6. ESTUDIO ENOLÓGICO

El **vino** de Tempranillo producido sobre los diferentes portainjertos también encuentra diferencias en todos los **parámetros analíticos**, excepto el índice de ionización de antocianos. El vino producido con 1616C es el que alcanza mayor grado y antocianos, pH y potasio y por el contrario baja acidez total. El vino procedente de 1613C es el siguiente en cuanto a grado, con alta intensidad colorante, polifenoles totales y catequinas, conservando un poco mejor la acidez que 1616C. Hay un grupo con alto grado y elevados polifenoles totales e intensidad colorante

que lo forman los vinos de 110R, Freedom, 5BB asociados a las catequinas y los vinos de 99R más asociado a antocianos. Los portainjertos Fercal seguido de 41B, Rupestris, Dog Ridge, Salt Creek y 161-49C producen vinos de Tempranillo con menor grado y color y mayor acidez total, especialmente el portainjerto 161-49C, lo que no ocurre en la variedad monastrell con los portainjertos 41B y 161-49C (Azorín et al, 2016) que obtienen vinos de alta maduración fenólica en Murcia.

Las valoraciones **organolépticas de los vinos** de Tempranillo de diferentes portainjertos presentan diferencias en todas las fases de la cata. Son peor valorados los vino de portainjertos con menor grado y carga fenólica coincidiendo con Azorín et al, (2016), especialmente los vinos de Salt Creek, Rupestris, Fercal, 161-49C y Dog Ridge. Sin embargo, no son los mejor valorados los vinos de portainjertos que mayores maduraciones fenólicas obtenían, sino los que con altas maduraciones fenólicas consiguen conservar acidez y armonía en boca, como 1613C, Gravesac, 5BB y 110R.

5.7. ESTUDIO AGRICULTURA PRECISIÓN

En el marco de la **agricultura de precisión**, el uso de nuevas herramientas analíticas como la teledetección, permite realizar un estudio de campo del comportamiento y de la respuesta de diferentes tipos de cubierta frente a la radiación electromagnética. Las firmas espectrales obtenidas a partir de los datos de radiometría permiten establecer un continuo entre los datos de campo y su posterior interpretación utilizando sensores sobre drones, vehículos aerotransportados y/o satélites (Campbell, 2012; Chuvieco, 2010). En viticultura son numerosos los autores que están identificando el estado nutricional, estado hídrico, estrés abiótico mediante el uso de la agricultura de precisión (Zarco-Tejada et al. 2005, Meggio et al, 2010, Rapaport et al., 2015, Serrano et al, 2010).

Los mejores **índices vegetativos radiométricos** seleccionados, obtenidos por radiometría hiperespectral de las hojas de Tempranillo con 16 portainjertos son MND750/705, reNDVI, NDVI705, CTR4, Maccioni, NDRE, LCI, Datt1, SR706_750, NDchl, D2, Vog1hyper, OSAVI2, MSR705, Datt2, DD, Vog2, MD734-747-715-720, SR860_708 y CHL, mediante las mejores correlaciones con la medida SPAD de la misma hoja y fecha. La mayoría de estos índices utilizan la zona del espectro electromagnético del Red Edge y NIR, longitudes de onda alrededor de 705 nm y 750 nm respectivamente. Este resultado es lógico, puesto que la zona del Red Edge es sensible a las diferencias en la estructura de la hoja y al contenido en clorofila; siendo útil para la evaluación de la concentración de clorofila de la planta y el índice de área foliar y, por lo tanto, el estado nutricional (Filella y Penuelas, 1994). Por su parte la zona del infrarrojo cercano (NIR) está relacionada con la estructura de la hoja, siendo útil en el análisis del estrés hídrico o contenido de biomasa (Chuvieco, 2010). Una aplicación de este resultado es que en futuros ensayos las mediciones con los radiómetros se pueden centrar en dichos valores, simplificando los trabajos.

De entre todos los índices radiométricos MND750_705 es el mejor en una mayoría de portainjertos, excepto en 1103P, 41B, 5BB y 99R cuyo índice óptimo parece ser NDRE, 161-49C

presenta un índice óptimo singular que no comparte con ningún otro portainjerto que es el D2, coincidiendo con su comportamiento vegetativo y nutricional diferenciado. El estudio de los índices vegetativos radiométricos MND 750_705, reNDVI, NDVI 705, NDRE y D2, que son los que mejor correlación presentan con el SPAD, calculados con medidas radiométricas de las hojas de Tempranillo, muestran los mejores valores con 5BB, 41B y Rupestris y los peores con los híbridos de *V. longii* x *V. riparia* 1616C y 1613C, creando referencias en estas condiciones para los diferentes portainjertos.

Las mejores **correlaciones** de los índices vegetativos radiométricos se obtienen con:

- parámetros cualitativos de la uva: en floración con el pH del mosto, lo cual indica que un mejor estado vegetativo en floración favorece el mantenimiento de la acidez de la uva vendimiada y el valor de estos índices con carácter pronóstico del pH de la uva. Se aprecian correlaciones medias con grado, volumen, potasio, antocianos y taninos del hollejo, siendo NDchl y LCI los mejores índices con estos parámetros. En envero se encuentra alta correlación con la acidez total, índice de maduración y el potasio en algunos índices y además respecto al IPT con MSR705. Estos resultados son acordes con los obtenidos por Meggio et al, (2010) para IVs hiperespectrales en viñedo.
- parámetros productivos: correlaciones medias bajas, en floración con peso de racimo y con número de bayas / racimo, indicando que buenos índices vegetativos en floración conducen a mejores pesos de racimo en vendimia y pueden favorecer un mejor cuajado, obteniendo correlaciones mucho menores que Meggio et al, (2010) para IVs hiperespectrales.
- parámetros vegetativos: correlaciones muy altas con el SPAD cada estado fenológico. La correlación entre la concentración de clorofila a de floración y la radiometría de envero es muy alta, con carácter predictivo, acorde con las conclusiones de Zarco-Tejada et al, (2005) y Martín et al, (2007) para el índice de vegetación TCARI/OSAVI ya que tiene en cuenta el factor suelo (OSAVI). Las correlaciones de los índices con la superficie foliar externa en floración y con SFE/Producción en envero son menores que las relacionadas con las determinaciones de clorofilas.
- parámetros nutricionales: con análisis peciolares del mismo estado y entre estados fenológicos como el nitrógeno y el potasio, especialmente en envero y en particular el boro con relaciones altas y persistentes tanto de floración y envero con los IV de envero, lo que indica que es un componente importante en el estado vegetativo de las vides en estos suelos calcáreos, cuyo papel merece ser investigado a la luz de estas conclusiones.

Se observa que todos índices vegetativos radiométricos seleccionados se correlacionan mejor con parámetros de calidad y producción de la uva que TCARI/OSAVI, NDVI, Gitelson u otros índices bien valorados para teledetección en viñedo (Meggio et al, 2010), sin embargo, en parámetros vegetativos y nutricionales el comportamiento es similar o inferior, por ejemplo, respecto al peso de poda y producción, lo cual revela la importancia de una selección adecuada de los índices y un estudio previo de sus aplicaciones vitícolas de la teledetección. Respecto a los **índices de vegetación** del Tempranillo EVI2, GDVI, CTVI, RDVI, GRNDVI y DVIMSS calculados mediante vuelo de **dron con cámara multiespectral**, se observa que EVI2

y GDVI son los que mayor capacidad de discernimiento entre portainjertos proporcionan, mientras GRNDVI el que menor. El portainjerto Gravesac muestra mayores índices en Tempranillo separándose de 161-49C con EVI2, GDVI, CTVI, RDVI, GRNDVI y DVIMSS. Además, Gravesac muestra mayor DVIMSS que 1613C, mayor CTVI que Dog Ridge, mayor RDVI que Dog Ridge y 1613C, mayor GDVI y EVI2 que Dog Ridge, 1613C y 1616C.

Las mayores **correlaciones** de los índices de vegetación de dron en envero se obtienen con:

- parámetros vegetativos: SFE/ha, madera de poda y SPAD de la misma fecha.
- parámetros productivos: peso/cepa, peso/racimo EVI2 y GDVI y número de racimo con GRNDVI.
- parámetros de maduración: acidez total, málico e índice de maduración y grado con DVIMSS y NDVI. Polifenoles con GDVI, CTVI y GRNDVI y taninos de pepitas CTVI y NDVI acorde con los resultados de Lamb et al, 2004 para NDVI.
- valores nutricionales de peciolares, especialmente los de envero, destacando N y P con todos los IVs y con respecto al Mg en el caso de EVI2 y DVIMSS.

En general, los índices de vegetación EVI2, GDVI, RDVI y GRNDVI obtenidos con imagen de dron presentan unas correlaciones más altas con los datos productivos que con el índice que se usa más habitualmente, el NDVI, siendo menor la diferencia con el resto de parámetros. Mejora mucho las correlaciones con los parámetros vegetativos y productivos respecto a los IVs radiométricos, encontrándose incluso mejores correlaciones que las obtenidas por Meggio et al, (2010) para índices de vegetación (IVs) hiperespectrales respecto a SFE y para madera de poda. La metodología de la determinación de IVs a partir de imágenes de dron parece más adecuada que la radiometría y al uso de imágenes hiperespectrales a estos efectos.

En cuanto a las correlaciones IVs dron dependiendo del portainjertos, se encuentran más correlaciones en 1613C y 1103P que en Rupestris y 1616C. Se encuentran correlaciones entre IVs y los contenidos de N, Mn, Zn y Fe en 1103P y 1613C, el contenido de P en 140Ru, el contenido de Mn en Dog Ridge; el SPAD en Gravesac, 1103P y Freedom; el peso de poda con 1613C; SFE y SFE/Producción en 140Ru. Los parámetros productivos obtienen buenas correlaciones con los IVs dron en Fercal, 5C, 41B y 1613C.

Los mismos IVs calculados mediante radiometría, logran mejores correlaciones con SPAD y clorofilas, y peor con los parámetros de vigor como SFE, peso poda y con los parámetros de producción, debido a la mejora que supone la aplicación de LAI y muestreo representativo que se utiliza en el procesado de la imagen de dron. Se mantienen las correlaciones con nutrientes, mejorando la del boro. En los aspectos cualitativos de la uva, se aprecian buenas correlaciones respecto a la acidez en todos los estados fenológicos y en envero aumentan las correlaciones con el grado, potasio, índice colorante y antocianos. La comparación entre las metodologías, indica que la radiometría de las hojas detecta la evolución de la vegetación en la fase madurativa, aspectos que pierden precisión en la teledetección con dron, aunque se mantienen las correlaciones con la acidez, muy vinculadas a la masa vegetativa de la planta. Respecto a los parámetros productivos las relaciones más significativas son más bajas y se obtienen con peso de racimo en guisante y envero, y particularmente con GDVI que además obtiene correlaciones

con la producción kg/ha y peso cepa en envero y GRNDVI, que obtiene correlaciones entre nº racimos y peso cepa y producción en envero también.

Destacan la buena **correlación entre IVs radiométricos**, de los 20 mejores IVs radiométricos seleccionados especialmente con los índices GRNDVI y CTVI calculados con radiometría en todos los estados fenológicos. El índice de vegetación GRNDVI es el que muestra mejores correlaciones calculado tanto a partir de la imagen de dron como a partir de las medidas radiométricas.

Estos resultados preliminares muestran las relaciones entre los índices de vegetación y los parámetros experimentales indicando la utilidad de estas tecnologías, como lo indican numerosas investigaciones (Meggio et al, 2010; Lamb et al, 2004; Bramley y Hamilton, 2007; Zarco-Tejada et al, 2005 y Martín et al, 2007). Sin embargo, es necesaria más investigación para aumentar el uso de la teledetección como herramienta para el manejo del viñedo.

5.8. ESTUDIO DE LA ADAPTACIÓN

La evaluación de la **adaptación** del Tempranillo sobre diferentes portainjertos en las condiciones edafoclimáticas a estudio, con parámetros de importancia productiva, vegetativa y cualitativa, y su categorización en función de los intereses vitícolas, permiten valorar la adaptación con:

- Prioridad Calidad (27% productivo: 27% vegetativo: 45% calidad): los portainjertos 5BB y 5C son los mejor adaptados seguidos de 140Ru, 99R, Freedom, Rupestris y 1103P.
- Prioridad Productiva (60% productivo: 20% vegetativo: 20% calidad) los portainjertos 41B y 5C son los mejor adaptados seguidos de 5BB, Fercal y 140Ru.
- Prioridad Vegetativa (20% productivo: 60% vegetativo: 20% calidad) los portainjertos 5C, 5BB, Rupestris y 41B son los mejor adaptados.

Estos resultados son acordes con los mecanismos adaptativos descritos por Bavaresco et al, (1994) para los híbridos de *V. berlandieri* en suelos calcáreos, que se caracterizan por una alta tasa de crecimiento y gran sistema radicular, siendo en todos los escenarios planteados principalmente híbridos de *V. berlandieri* los que mejores resultados ofrecen en estas condiciones edafoclimáticas, tal como describieron previamente Munson, (1909), García de los Salmones, (1915) y Azanza, (1919). En cuanto a las variedades de portainjerto más adaptadas a suelos calcáreos las selecciones de Téléki 5BB y Kober 5C parecen las más versátiles y destacadas en todos los escenarios estudiados. Teniendo en cuenta las valoraciones analíticas y sensoriales de los vinos, se puede concluir que 5BB es dentro de los portainjertos estudiados el que mejor adaptación enológica muestra en estos suelos calcáreos.

La metodología diseñada para la evaluación de la adaptación del Tempranillo sobre los 16 portainjertos en suelos calcáreos además de permitir hacer una selección multicriterio y establecer portainjertos prioritarios para este tipo de suelo según las fases valoradas, permite la

aplicación del uso de índices vegetativos que pueden ser calculados de manera más rápida y eficaz mediante agricultura de precisión, como el uso de LAI (índice de superficie foliar), el índice SPAD u otros índices vegetativos a partir de imágenes satélite o multiespectrales. Se propone, por tanto, una herramienta de evaluación del viñedo aplicable a la gestión en viticultura mediante el uso de la agricultura de precisión.

6

CONCLUSIONES



6. CONCLUSIONES

1. El suelo de la parcela en estudio se clasifica como Petrocalcic Palexeroll, franca fina, supercarbonática profunda, con una materia orgánica con predominio de humus tipo mull cálcico muy estable. El suelo a estudio presenta una gran homogeneidad tanto textural, química como nematológica, con niveles bajos de nematodos, y los distintos portainjertos no se ven influidos de por su distribución en la parcela, por lo que no se debe considerar como una variable a lo largo de la investigación.

La clasificación del suelo indica que el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial es el parámetro determinante para su clasificación. Este parámetro confiere unas propiedades físicas beneficiosas para el desarrollo radicular. Sin embargo, desde el punto de vista nutricional, la presencia de altas concentraciones de carbonatos y calcio hacen que los nutrientes tales como potasio y hierro, presenten una baja disponibilidad en el suelo, como indican los índices de diagnóstico nutricional en 2015 (RS, DOP y DRIS), infiriendo la necesidad de establecer un programa de fertilización con estas características.

2. Una adecuada fertilización se estima necesaria en suelos con estas características en todos los portainjertos, especialmente en lo que respecta al potasio y al hierro. El régimen de fertilización en viñedos sobre suelos calcáreos es eficaz incluyendo al menos:

- Abonado de invierno 6N-5P-18K a 200 Kg/ha
- Quelatos de hierro biodegradables IDHA/Fe³⁺ especialmente aplicados, vía foliar, previos a floración, a dosis por lo menos de 3,3 mM.
- Fertirrigación NPK durante todo el ciclo vegetativo 36N-18P-72K UF/ha.

Los efectos en los peciolares se muestran a partir de envero en nitrógeno, potasio y hierro, mientras en floración las mejoras solo aparecen en el hierro.

3. La valoración nutricional del Rango de Suficiencia (RS), Desviación del Optimo Porcentual (DOP) y Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico (DRIS) en las condiciones experimentales es:

- Potasio: muestra un balance negativo en todos los momentos fenológicos y a lo largo de toda la experimentación.
- Hierro: buena en 2016 y 2017, después de la aplicación de la fertilización

- Nitrógeno: deficiente en las floraciones y tiende a mejorar en los enveros, de forma más importante en 2017, como efecto de la fertirrigación aplicada ese año.
 - Fósforo la situación es peor que respecto al nitrógeno y no muestra tendencias claras ni mejoras debidas a la fertilización aplicada. Se observa la necesidad de aumentar las dosis.
 - El calcio y el magnesio están en exceso, acorde con las condiciones edáficas.
 - El zinc se encuentra en exceso y no es limitante en estas condiciones.
 - El boro pasa de una situación en exceso en 2015 a una situación de defecto en 2017 y se observa la necesidad de un estudio sobre su papel en estas condiciones.
4. La valoración del estado nutricional del viñedo mediante RS, DOP y DRIS ofrece una adecuada valoración con respecto a las referencias para la D.O.Ca. Rioja para Tempranillo sobre 110R para una producción moderada de entre 3800 a 10000 kg/ha. Los niveles de referencia parecen adecuados en la mayoría de los nutrientes, excepto en el caso del potasio, que no encuentra diferencias entre portainjertos, ni entre fertilizaciones y valora siempre situaciones muy bajas, que en estos suelos son habituales. Se estima conveniente revisar las referencias de este elemento para estas condiciones edafoclimáticas y seguir investigando en el programa de fertilización para la optimización del aporte de macronutrientes, tanto en dosis como hacia una vía de fertilización de K que sea más efectiva, posiblemente foliar para conseguir una fertilización equilibrada sobre el desarrollo vegetativo de la planta y el perfil enológico.
5. El comportamiento del Tempranillo respecto a la situación nutricional peciolar varía considerablemente dependiendo del portainjerto en el que se encuentre injertado. Las variedades de Champinii, Dog Ridge y Freedom tienden a una menor concentración de nitrógeno, acorde a su menor vigor, y a un aumento de la concentración de calcio, revelando su naturaleza calcícola. En cuanto al potasio, el portainjerto 140Ru acumula las menores cantidades en peciolo de Tempanillo, mientras el 1616C se comporta como el más potasófilo, condición que mantienen sus uvas y vinos. El contenido de nitrógeno, fósforo, manganeso y zinc aumentan con el vigor de la planta, siendo destacable el portainjerto Gravesac.

6. La teledetección, como herramienta dentro de la agricultura de precisión permite, mediante la determinación de índices vegetativos, su aplicación al manejo de viñedos, estableciendo correlaciones con factores productivos, vegetativos y de calidad de uva, destacando el uso de:
- Índices de vegetación radiométricos MND 750_705, reNDVI, NDVI, NDRE Y D2, con preferencia según el portainjerto utilizado en la plantación:
 - El índice de vegetación NDRE para los portainjertos 41B, 1103P, 5BB y 99R.
 - El índice de vegetación D2 para el portainjerto 161-49C.
 - El índice de vegetación MND750_705 para los portainjertos 110R, 140Ru, 1613C, 1616C, Dog Ridge, Fercal, Freedom, Gravesac, Salt Creek y 5C.
 - Los índices de vegetación a partir de la cámara multispectral sobre dron indica que los índices de vegetación EVI2 y GDVI son los que mayor capacidad discriminante muestran entre los portainjertos.
7. Las mejores correlaciones con parámetros productivos se obtienen con índices de vegetación obtenidos mediante cámaras multispectrales con imágenes de dron, especialmente con peso/cepa, peso racimo, madera de poda y SFE, mientras las mejores correlaciones de los IVs radiométricos se producen con:
- parámetros cualitativos de la uva: pH mosto con IVs floración; acidez total, IM, K e IPT con IVs envero.
 - parámetros vegetativos: clorofila a de floración con IVs envero
 - parámetros nutricionales: el nitrógeno y el potasio, especialmente en envero y en particular el boro con relaciones altas y persistentes tanto de floración y envero con los IVs de envero, indica que es un componente importante en el estado vegetativo de las vides en estos suelos calcáreos, cuyo papel merece ser investigado.
8. Los portainjertos son una herramienta eficaz para mejorar la adaptación del Tempranillo a suelos calcáreos, siendo los híbridos de *V. berlandieri* los preferentes mejorando el estado y equilibrio vegetativo, productivo y cualitativo del Tempranillo, lo que produce una mejor maduración de la uva y mejores vinos.

En las condiciones experimentales ensayadas y con la metodología utilizada, se diseña un sistema de decisión multicriterio y se valora que los portainjertos mejor adaptados son:

- los portainjertos 5C, 5BB, Rupestris y 41B con predominio del estado y equilibrio vegetativo.
- los portainjertos 41B y 5C con predominio aspectos productivos.
- los portainjertos 5BB y 5C con predominio aspectos cualitativos de la uva.

Las valoraciones analíticas y organolépticas de los vinos hacen que el portainjerto 5BB se muestre como el más versátil, así como el que mejores cualidades enológicas presenta.

9. Esta investigación sobre el comportamiento de los portainjertos estudiados en suelos calcáreos, aporta una valoración sobre la resistencia a la clorosis férrica y una valoración enológica de la adaptación de los portainjertos que se resume en la tabla 57.

Tabla 57. Características de adaptación al medio de los portainjertos del diseño experimental. Los superíndices indican el origen de la referencia. Con el número 10 las aportaciones de esta investigación.

Porta injerto	Adaptación al estrés hídrico ¹	Tolerancia salinidad ¹	Afinidad al injerto ²	Resistencia				Adaptación enológica a suelos Calcáreos ¹⁰
				Filoxera ¹	Meloi-dogyne ⁶	Xiphinema index ⁶	Clorosis férrica ⁷	
Rupestris	++	++ ²	+++	+++	-	+	+++	+++
5BB	++	++	+++	+++	++	+	+++	++++
5C	++	++ ⁵	++++	+++	-	+	++	+++
161-49C	++	+ ³	++	+++	-	++	+++	++
1616C	++	++++	+	+++	+++	+	+	+
1613C	++	++	+++	+	+	+++	+ ¹⁰	+
41B	++	-	++++	+++	+++ ⁷	+ ⁸	++++	+++
Fercal	++	+++ ⁴	+	++	- ⁷		++++	++
Gravesac	++		++	+++	++ ⁷		+	++
99R	+++	++	++	+++	+	+	+++	+++
110R	++++	+++	+++	+++	-	+	++	++
140Ru	++++	++++	+++	+++	++	+	+++	+++
1103P	+++	++	++++	+++	+	+	++	+++
Dog Ridge	++	++++	++	+++	++++	++	++++ ⁹	++
Salt Creek	+++	++++	++	+++	++++	++	++++ ¹⁰	++
Freedom	++	++ ⁵	+++	++	++++	++++	++ ¹⁰	+++

Leyenda: - Muy baja + Baja ++ Media +++ Alta ++++ Muy alta

¹Ollat et al., 2016; ² Cibriain et al., 2015; ³Pongracz, 1983; ⁴ Stevens et al., 2011; ⁵WineAustralia, 2019; ⁶Nicol et al., 1999; ⁷Plantgrape,2019; ⁸Gutiérrez-Gutiérrez et al., 2011; ⁹Munson, 1909. En caso de referencias diferentes se establece referencia mediante la media. Para sp o compatibilidades concretas consultar bibliografía.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aballay, E., Benavides, F., Vieira, A., 1998. Resistencia de algunos portainjertos a una población chilena de *Xiphinema index*. *Nematología mediterránea* 26, 185–188.
- Alonso, C., Moreno, V., 1999. Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. Una sencilla práctica de introducción a la teledetección, en: *Teledetección. Avances y aplicaciones VIII Congreso Nacional de Teledetección*. Albacete, p. 442-432
- Alsina, M.M., Smart, D.R., Bauerle, T., de Herralde, F., Biel, C., Stockert, C., Negron, C., Save, R., 2011. Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. *Journal of Experimental Botany* 62, 99–109. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq247>
- Amezqueta, Esperanza, 1999. Problemática relacionada con la Salinidad del Suelo en Navarra. Departamento Agricultura, Ganadería y Alimentación Gobierno de Navarra
- Arnon, D.I., Whatley, F.R., 1949. Is Chloride a Coenzyme of Photosynthesis? *Science* 110, 554–556.
- Audeguin, L., Boursiquot, J.-M., Charmont, S., 2007. Description des variétés de portegreffes, in: *Catalogue Des Variétés et Clones de Vigne Cultivés En France*. France, pp. 327–359.
- Azanza, Apolinar, 1919. La filoxera en los viñedos reconstituidos de Navarra. Pamplona.
- Azanza, Apolinar, 1910. La Filoxera y el Murdriervo x Rupestris 1202. Diaria de Navarra.
- Azorín, P.R., Fernández, J.I.F., Ordaz, P.B., Acosta, J.M.N., 2016. Efecto del portainjerto de vid en la calidad fenólica de la uva y su relación con las propiedades organolépticas del vino del cv. Monastrell, in: *II Jornadas de Viticultura: comunicaciones técnicas: Madrid, 3-4 de noviembre de 2016*, 2016, ISBN 978-84-617-6515-7, págs. 69-74
- Baggiolini, M., 1952. Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue romande d'agriculture, viticulture et d'arboriculture* 8, 4–6.
- Bartolini, G., Pestell, P., Toponiz, M., 1996. Rooting and carbohydrate availability in 140 Ruggeri stem cuttings. *Vitis* 35, 11–14.
- Basoi, L, Hopmans, J, de Castro Jorge, L, Miranda de Alencar, C., J. Moura e Silva, 2003. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. *Sci. Agric.* 60.
- Basso, L.H., Grangeiro, L.C., SILVA, J.A.M.E., SILVA, E.E.G.D., 2002. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24, 35–38.
- Bauerle, T.L., Smart, D.R., Bauerle, W.L., Stockert, C., Eissenstat, D.M., 2008. Root foraging in response to heterogeneous soil moisture in two grapevines that differ in potential growth rate. *New Phytologist* 179, 857–866. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02489.x>
- Bavaresco, L, Fregoni, M., Perino, A, 1994. Physiological aspects of lime-induced chlorosis in some *Vitis* species I. Pot trial on calcareous soil. *Vitis* 33, 123–126.
- Beaufils, E.R., 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin, University of Natal, Pietermaritzburg. South Africa* 1, 1–132.
- Bellini, C, Pacurar, D.I, Perrone, I, 2014. Adventitious roots and lateral roots: similarities and differences. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65 (1), 639–666. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035645>.
- Benheim, D., Rochfort, S., Robertson, E., Potter, I. d., Powell, K. s., 2012. Grape phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae*) – a review of potential detection and alternative management options. *Ann Appl Biol* 161, 91–115. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00561.x>
- Benito, A., Romero, I., Domínguez, N., García, C., Villar, M.T., Lorenzo, I., Ibáñez, S., 2015. Estudio comparativo del diagnóstico nutricional de la vid (*Vitis vinifera* L.) en las variedades Tempranillo y Garnacha tinta. *Actas del congreso SECH*
- Bermejo, A.B., 2015. Utilización del análisis de limbo y pecíolo para el diagnóstico nutricional del cv. Garnacha tinta (*Vitis vinifera* L.) Tesis doctoral Universidad de La Rioja - ICSV
- Blanco, J., Terrón, J.M., Pérez, F., Galea, F., Salgado, J.A., Moral, F.J., Marques da Silva, J.R., Silva, L.L., 2013. Variabilidad espacial y temporal del vigor vegetativo en viñedo sin restricciones hídricas en

- la demanda evapotranspirativa [WWW Document]. URL <http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/8767>
- Bloodworth, P.J., Nesbitt, W.B. and Barker, K.R., 1980. Resistance to root-knot nematodes in *Euvitis* × *Muscadinia* hybrids, in: Proceedings Third International Symposium on Grape Breeding. University of California, Davis, pp. 275–292.
- Boubals, D., 1992. Au sujet de la résistance à l'anguillule de la vigne. *Le Progrès Agricole et Viticole Année 109*, 118.
- Boubals, D., 1979. Situation des porte-greffes résistants aux nématodes ravageurs directs. *Bulletin de l'OIV* 52, 263-271.
- Boubals, D., 1954. Les nématodes parasites de la vigne. *Progrès Agricole et Viticole* 141, 173–182.
- Boubals, D. and Pistre, R., 1978. Résistance de certaines Vitacées et des porte-greffes usuels en viticulture au nématode *Xiphinema index* et à l'inoculation par le virus du court-noué (GFLV). In: Proceedings Second International Symposium on Grapevine Genetics and Breeding (INRA: Bordeaux, France) pp. 199-208.
- Bouquet, A. and Dalmasso, A., 1976. Comportement d'une collection de porte-greffes de vigne en présence d'une population de nématodes (*Meloidogyne* sp.) originaire du sud-ouest de la France. *Connaissance de la Vigne et du Vin* 10, 160-174.
- Bramley, R.G.V., Hamilton, R.P., 2007. Terroir and precision viticulture: are they compatible ? *OENO One* 41, 1. <https://doi.org/10.20870/oenone.2007.41.1.855>
- Branas J, Vergnes, A, 1957. Morphologie du système racinaire. *Progrès Agricole et Viticole*. 1, 3–13.
- Briat, J.-F., Dubos, C., Gaymard, F., 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science* 20, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005>
- Cadahia, C., 2000. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*, 2ª. ed. Mundi-Prensa.
- Canisius, F., Fernandes, R., 2012. Evaluation of the information content of Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) data for regional leaf area index assessment. *Remote Sensing of Environment* 119, 301–314. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.013>
- Carbonneau, A., 1985. The Early Selection of Grapevine Rootstocks for Resistance to Drought Conditions. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 195–198.
- Chatonnet, P., 2005. *Gestión del pH en el vino de calidad*. Fundación para la cultura del vino.
- Chen, Y., Barak, P., 1982. Iron Nutrition of Plants in Calcareous Soils, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 217–240. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60326-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60326-0)
- Chitambar, J.J. and Raski, D.J., 1984. Reactions of grape rootstocks to *Pratylenchus vulnus* and *Meloidogyne* spp. *Journal of Nematology* 16, 166-170.
- Chuvieco, E., 2010. *Teledetección Ambiental*, 3a edición. ed. Ariel S.A., Barcelona España.
- Cibriain, Sagüés, A, Caminero, L, Oria, I, Subirats, I, Arrondo, C, 2013. Injertos de la Vid. Viabilidad de diferentes portainjertos en Chardonnay y Tempranillo. *Navarra Agraria* 40–46.
- Cirami, R., Furkaliev, J., Radford, R., 1994. Summer drought and vine rootstocks. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*, 366A (June), 145.
- Cirami, R., McCarthy, M., Glenn, T., 1984. Comparison of the effects of rootstock on crop, juice and wine composition in a replanted nematode-infested Barossa Valley vineyard. *Aust. J. Exp. Agric.* 24, 283–289.
- Cirami, R.M., 1994. The J stocks –two nematode-resistant rootstocks, which feature low pH and low potassium with satisfactory yield. *Australian Grapegrower & Winemaker* No. 366A, 126-127.
- Coiro, M.I., Tylor, C.E., Borgo, M. and Lamberti, F., 1990. Resistance of grapevine rootstocks to *Xiphinema index*. *Nematologia Mediterranea* 18,199-121.
- Comas, L.H., Bauerle, T.L., Eissenstat, D.M., 2010. Biological and environmental factors controlling root dynamics and function: effects of root ageing and soil moisture. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16, 131–137. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00078.x>
- Cordeau, J, 2002. Création d'un vignoble, in *Greffage de la Vigne et Porte-greffes. Élimination des Maladies à Virus*. Féret, Bourdeaux, France.

- Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T.L., Kennedy, J.A., 2007. Influence of Vine Vigor on Grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) Anthocyanins. 1. Anthocyanin Concentration and Composition in Fruit. *J. Agric. Food Chem.* 55, 6575–6584. <https://doi.org/10.1021/jf070195v>
- Cousins, P., 2005. Evolution, genetics, and breeding: viticultural applications of the origins of our rootstocks, in: *Grapevine Rootstocks: Current Use, Research and Application*. Proceedings of the 2005 Rootstock Symposium. P Cousins and R.K. Striegler, Missouri, USA, pp. 1–7.
- Covarrubias, J.I., Pisi, A., Rombolà, A.D., 2014. Evaluation of sustainable management techniques for preventing iron chlorosis in the grapevine: Sustainable prevention of grapevine iron chlorosis. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20, 149–159. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12055>
- Covarrubias JI, Rombolà AD, 2013. Physiological and biochemical responses of the iron chlorosis tolerant grapevine rootstock 140 Ruggeri to iron deficiency and bicarbonate. *Plant Soil* 370, 305–315.
- Dalmasso, A. and Cuani, A., 1976. Résistance des porte-greffes de vigne à différentes populations du nématode *Meloidogyne hapla*. *Progrès Agricole et Viticole* 93, 800-807.
- Dardeniz A, Muftuoglu NM, Gokbayrak Z, Firat M, 2007. Assessment of morphological changes and determination of best cane collection time for 140 Ru and 5 BB. *Sci Hortic* 113, 87–89.
- De Herralde, F., Alsina, MM, Aranda, X, Save, V, Biel, C, 2006. Effects of rootstock and irrigation regime on hydraulic architecture of *Vitis Vinifera* L.cv Tempranillo. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 40, 133–139.
- De Herralde, F., Grau, B., Biel, C., Savé, R., Aranda, X., de Montbui, B., 2014. Producción y tasa de recambio de raíces en cepas jóvenes. I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH - Retos Actuales de I+D en Viticultura.
- De Herralde, F., Savé, R., Aranda, X., Biel, C., 2010. Grapevine Roots and Soil Environment: Growth, Distribution and Function, in: Delrot, S., Medrano, H., Or, E., Bavaresco, L., Grando, S. (Eds.), *Methodologies and Results in Grapevine Research*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–20. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9283-0_1
- Del Valle Lersundi, J., 2011. Estudio de suelos de la parcela de Baretón en Olite. DRMAyAL. Gobierno de Navarra, Pamplona.
- Del Valle Leguizamón, G., Gonzalez Leon, A., Baez Sañudo, R., 2005. Antocianinas en uva (*Vitis vinifera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28, 359–368.
- Delas, J.J., 1992. Criteria used for rootstocks selection in France, in: *Proc. Rootstock Seminar: A Worldwide Perspective*. American Society for Enology and Viticulture, pp. 1–14.
- Diago, M.P., Fernandes, A.M., Millan, B., Tardaguila, J., Melo-Pinto, P., 2013. Identification of grapevine varieties using leaf spectroscopy and partial least squares. *Computers and Electronics in Agriculture* 99, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.021>
- DOC Rioja, 2018. Pliego de condiciones de la DOC Rioja
- Dominguez, N., Garcia Escudero, E., Romero, I., Benito, A., Martín, I., 2015. Leaf blade and petiole nutritional evaluation and variability throughout the crop season for *Vitis vinifera* L. cv. Graciano. *Spanish Journal of Agricultural Research* 13, 1–17.
- Doncel Unanua, A., Herrero, J.I., Legaz, R.M.V., 1994. Relationship between soluble boron content and some soil properties and environmental factors in soils of Navarre (Spain). *Aranzadi* 18.
- 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 12.
- Downton, W.J.S., 1977. Chloride accumulation in different species of grapevine. *Scientia Horticulturae* 7, 249–253. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(77\)90021-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(77)90021-8)
- Downton, W.J.S., Loveys, B.R., Grant, W.J.R., 1990. Salinity effects on the stomatal behaviour of grapevine. *New phytologist* 116, 499–503.
- Dry, N., 2007. *Grapevine Rootstocks: Selection and Management for South Australian Vineyards*, Lythrum Press, Adelaide, South Australia.
- Düring, H., 1990. Stomatal adaptation of grapevine leaves to water stress. *Vitis*, 29, 366–370.
- Düring, H., n.d. Photosynthesis of ungrafted and grafted grapevines: effects of rootstocks genotype and plant age. *American Journal of Enology and Viticulture* 45 (3), 297–299.

- Edwards, J., Norng, S., Powell, K.S., Granett, J., 2007. Relationships between grape phylloxera abundance, fungal interactions and grapevine decline. *Acta Horticulturae* 151–157. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.733.16>
- Edwards, M., 1989. Resistance and tolerance of grapevine rootstocks to plant parasitic nematodes in vineyards in North-East Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29, 129-131.
- Edwards, M., 1988. Effect of type of rootstock on yields of Carina grapevines (*Vitis vinifera*) and levels of citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans* Cobb). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28, 283-286.
- ESA – European Space Agency. HeHome [WWW Document], n.d. URL <http://www.esa.int/> (accessed 10.28.19).
- EVENA, 2008. Evaluación de clones comerciales de seis variedades de vid en Navarra 1995-2002, Investigación Agraria - Gobierno de Navarra.
- Ferris, H., Schneider, S.M. and Stuth, M.C., 1982. Probability of penetration and infection by root-knot nematode, *Meloidogyne arenaria*, in grape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture* 33, 31-35.
- Filella, I., Penuelas, J., 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing* 15, 1459–1470. <https://doi.org/10.1080/01431169408954177>
- Follett, R.H., Follett, R.F., Halvorson, A.D., 1992. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23, 687–697. <https://doi.org/10.1080/00103629209368619>
- Forneck, A., Huber, L., 2009. (A)sexual reproduction - a review of life cycles of grape phylloxera, *Daktulosphaira vitifoliae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 131, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00811.x>
- Foundation Plant Services, n.d. Grape Variety: Salt Creek [WWW Document]. Foundation Plant Services Grapes. URL <http://www.ngr.ucdavis.edu/fgrdetails.cfm?varietyid=1334> (accessed 10.14.19).
- Fregoni, M., 1977. Irrigation des Vignobles. *Problems de physiologie, de biochimie, de genetique, d'agronomie, de technologie et d'economie*. *Bulletin de l'O.I.V.* 50 (551), 3-19.
- Fregoni, M., Barvaresco, L., 1984. Reserches sur la nutrition de la vigne dans les sols acides en Italic. *Progres Agricole et Viticole* 101, 64–72.
- Fregoni, M., Scienza, A. and Miravalle, R. (1978), 1978. Évaluation précoce de la résistance des portegreffes à la sécheresse, in: *Ile Symposium International Sur l'Amélioration de La Vigne*, Bourdeaux 14-18 June 1977. Institut National de la Recherche Agronomiqu INRA, Paris, pp. 287–295.
- Galet, P., 1998. Grape Varieties and Rootstock Varieties. *Oenoplurimedia*, Chaintré, France.
- Galet, P., 1988. Cépages et Vignobles de France. Tomo 1: Les vignes Américaines, Dehán. ed. Montpellier.
- Gárate, A, Meyer, B, 1983. A study of different manures and their relationship with boron. *Agrochimica* 27, 431–438.
- García de los Salmones, Nicolas, 1921. El momento actual de la viticultura, 1921 ed, Servicios de la Estación Ampelográfica Central. Palma.
- García de los Salmones, Nicolas, 1915. “Apuntes de Viticultura y Enología.” Aramburu, Pamplona.
- García de los Salmones, Nicolas, 1912. Congreso Nacional de Viticultura. Memorias del Congreso y ponencias presentadas. Pamplona.
- García Escudero, Enrique., 1991. Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral en la vid (v. *Vinifera* I). Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Garcia Escudero, Enrique., Zaballa, O, Gonzalez, G, Villar, MT, Arroyo MC, 2002. Variación de la composición mineral de hojas de cv. Tempranillo según el organo analizado y la epoca de muestreo, in: *III Foro Mundial Del Vino Rioja III Milenio*. Gobierno de La Rioja, La Rioja, pp. 15–24.

- García, M., C. Daverede, P. Gallego and M. Toumi., 1999. Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically. *J. Pl. Nutr.* 22, 417–425.
- García-Escudero, E., Romero, I., Benito, A., Domínguez, N., Martín, I., 2013. Reference Levels for Leaf Nutrient Diagnosis of cv. Tempranillo Grapevine in the Rioja Appellation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44, 645–654. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.745385>
- Garris, Amanda, Cousin, Peter, Ramming, David, Baldo, Angela, 2009. Parentage analysis of freedom rootstock. *American Journal of Enology and Viticulture* 60, 357–361.
- Geisenheim 5C [WWW Document], s.f. . Geisenheimer Rebsorten und Klone (Geisenheim variedades de uva y clones. URL https://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/redaktion/FORSCHUNG/Institut_fuer_Rebenzuechtung/Ueberblick_Institut_fuer_Rebenzuechtung/Unterlagen/5C.pdf
- Glories, Yves, 1984. La couleur des vins rouges. 2e. Partie: Mesure, origine et interpretation. *Connaissance de la Vigne et du Vin* 18, 253–271.
- Granett, J., Omer, A.D., Pessereau, P., Walker, M.A., 1998. Fungal infections of grapevine roots in phylloxera-infested vineyards. *Vitis* 37, 39–42.
- Granett, J., Walker, M.A., Kocsis, L., Omer, A.D., 2001. Biology and management of grape phylloxera. *Annu. Rev. Entomol.* 46, 387–412. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.387>
- Guillon, J.M., 1905. Étude générale de la vigne: Historique les vignobles et les crus anatomie et pHysiologie, sol et climat. Mason, Paris.
- Gutiérrez-Gutiérrez, C., Palomares-Rius, J.E., Jiménez-Díaz, R.M., Castillo, P., 2011. Host suitability of Vitis rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and the dagger nematode *Xiphinema* index, and plant damage caused by infections: *Meloidogyne* spp. and *Xiphinema* index on Vitis rootstocks. *Plant Pathology* 60, 575–585. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02404.x>
- Hajdu, E., 1998. Climate tolerance in the background of reliable vine yield. *Acta Horticulturae* 473, 83–91.
- Hänsch, R., Mendel, R.R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12, 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
- Harris, A.R, 1983b. Resistance of some Vitis rootstocks to *Xiphinema* index. *Journal of Nematology* 15, 405-409.
- Helwi, P., Thibon, C., Habran, A., Hilbert, G., Guillaumie, S., Delrot, S., Darriet, P., Leeuwen, C. van, 2015. Effect of vine nitrogen status, grapevine variety and rootstock on the levels of berry S-glutathionylated and S-cysteinylylated precursors of 3-sulfanylhexas-1-ol. 1 49, 253–265. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2015.49.4.40>
- Henrich, V., Jung, A., Götze, C., Sandow, C., Thürkow, D., Gläßer, C., 2009. Development of an online índices database: Motivation, concept and implementation. in: 6th EARSeL Imaging Spectroscopy SIG Workshop Innovative Tool for Scientific and Commercial Environment Applications. Tel Aviv, Israel.
- Henrich, V., Krauss, G., Götze, C., Sandow, C., 2012. IDB - www.indexdatabase.de, Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungsindizes. *AK Fernerkundung*, Bochum, 4.-5. 10. 2012.
- Hidalgo, 1974. Primeras noticias del injerto en Viticultura. *Agricultura Revista Agropecuaria* 427–428.
- Hidalgo, L., 1993. Tratado de viticultura general. Ediciones Mundi-Prensa.
- Hidalgo Torres, J., 2006. La calidad del vino desde el viñedo. Mundi-Prensa, Madrid.
- Himmelrick, D.G., 1991. Growth and nutritional responses of nine grape cultivars to low soil pH. *HortScience* 26, 269–271.
- Honorio, F., 2016. Caracterización y zonificación vitícola de España Mediante Análisis Multivariante de variables bioclimáticas.
- Hunt, E.R. y Daughtry, C.S.T, n.d. Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Soil Fertility & Crop Nutrition. Agronomy Journal* 103, 1090–1099.
- Huglin, P., Schneider, C. 1998. Biologie et écologie de la vigne. Tec & Doc Lavoisier, Paris.
- Imas, Patricia, 2000. Integrated Nutrient Management for sustaining crop yields in calcareous soils.

- INRA - IFV - Montpellier SupAgro, 2009. PI @ ntGrape, el catálogo de vides cultivadas en Francia, © UMT Géno-Vigne®.
- INRA - IFV - Montpellier SupAgro, n.d. Porte-Greffes [WWW Document]. URL <http://plantgrape.plantnet-project.org/en/porte-greffes> (accessed 7.4.19).
- Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura IICA/PROCISUR, 2014. Manual de agricultura de precisión. Montevideo.
- IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, FAO. ed, World Soil Resources Reports. Rome.
- Jones, T.H., Cullis, B.R., Clingeleffer, P.R., Rühl, E.H., 2009. Effects of novel hybrid and traditional rootstocks on vigour and yield components of Shiraz grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 15, 284–292. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00061.x>
- Julius Kühn-Institut - Federal Research Centre for Cultivated Plants (JKI) „ Institute for Grapevine Breeding - Geilweilerhof (ZR), n.d. Vitis International Variety Catalogue VIVC [WWW Document]. <http://www.vivc.de/>. URL <http://www.vivc.de/>
- Juste, J, Alburquerque, M.V, 2013. Influencia de 10 portainjertos de vid sobre el desarrollo productivo y vegetativo y la calidad de la uva de cv. Tempranillo en la DO Toro. *Enoviticultura*.
- Keller, M., 2010. Chapter 7 - Environmental Constraints and Stress Physiology, in: Keller, M. (Ed.), *The Science of Grapevines*. Academic Press, San Diego, pp. 227–310. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374881-2.00007-6>
- Keller, M., Kummer, M., Vasconcelos, M.C., 2001. Soil nitrogen utilisation for growth and gas exchange by grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 7, 2–11. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2001.tb00187.x>
- Kellow, A.V., McDonald, G., Corrie, A.M., Heeswijck, R., 2002. In vitro assessment of grapevine resistance to two populations of phylloxera from Australian vineyards. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8, 109–116.
- Kennedy, J.A., Saucier, C., Glories, Y., 2006. *Grape and Wine Phenolics: History and Perspective* 10.
- Kliwer, W.M., 1991. Methods for determining nitrogen status of vineyards, in: *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*. American Society for Enology and Viticulture, Seattle, Washington, USA.
- Kocsis, L., Varga, Z. and Pernes, G.Y. (2009) Introduction of a lime and drought tolerant rootstock variety. *Acta Horticulturae*, 827, 465–470., 2009. Introduction of a lime and drought tolerant rootstock variety. *Acta Horticulturae* 827, 465–470.
- Kocsis, L., Lehoczy, E, Bakonyi, L., Szoke, L, Szabó, L, 1998. New lime and drought tolerant grape rootstock variety. *Acta Horticulturae* 75–82.
- Kodur, S., Tisdall, J.M., Tang, C., Walker, R.R., 2010. Accumulation of potassium in grapevine rootstocks (Vitis) grafted to ‘Shiraz’ as affected by growth, root-traits and transpiration. *Vitis* 49, 7–13.
- Korosi, G.A., Powell K.S., Smith B.P., Clingeleffer P.R., Walker, R.R., Wood, J., 2011. New hybrid rootstock resistance screening for phylloxera under laboratory conditions. *Acta Horticulturae* 904, 53–58.
- 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 7805–7813. <https://doi.org/10.1021/jf901063a>
- Kunde, R.M., Lider, L.A. and Schmitt, R.V., 1968. A test of Vitis resistance to Xiphinema index. *American Journal of Enology and Viticulture* 19, 30-36.
- Laboratorio Enológico de Navarra, 2018. *Oferta Analítica Laboratorio Enológico de Navarra.pdf*.
- Laboratorio Regional Rioja, 2016. *images.pdf* [WWW Document]. URL <https://www.larioja.org/larioja-client/cm/laboratorio-regional/images?idMmedia=729885> (accessed 12.22.18).
- Lamb, D.W., Weedon, M.M., Bramley, R.G.V., 2004. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine

- phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10, 46–54. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00007.x>
- Trabajo, técnica y mercado en la viticultura navarra: los viñedos del Marqués de San Adrián en Monteagudo durante el siglo XIX.
- Legros, J.-P., Argelès, J., 1994. L'invasion du vignoble par le phylloxère. *Académie des sciences et lettres*.
- Legué, V., Rigal, A., Bhalerao, R.P., 2014. Adventitious root formation in tree species: involvement of transcription factors. *Physiologia Plantarum* 151, 192–198. <https://doi.org/10.1111/ppl.12197>
- Lehrer, A., Moore, P., Komor, E., n.d. Impact of sugarcane yellow leaf virus (scylv) on the carbohydrate status of sugarcane: comparison of virus-free plants with symptomatic and asymptomatic virus-infected plants. *Physiology and Molecular Plant Pathology* 70, 180–188.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans* 11, 591. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Lider, L.A., 1960. Vineyard trials in California with nematode-resistant grape rootstocks. *Hilgardia* 30, 123-152.
- Loidi, J., Bascones, J.C., 1995. Memoria del mapa de series de vegetación de Navarra E 1:200.000. Gobierno de Navarra.
- Loubser, J.T. and Meyer, A.J., 1987. Resistance of grapevine rootstocks to *Meloidogyne incognita* under field conditions. *South African Journal for Enology and Viticulture* 8, 70-74.
- Lovisolo, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., Schubert, A., 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biology* 37, 98. <https://doi.org/10.1071/FP09191>
- Lovisolo, C., Perrone, I., Hartung, W., Schubert, A., 2008. An abscisic acid-related reduced transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. *New Phytologist* 180, 642–651. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02592.x>
- Lucena, J., 2006. Synthetic Iron Chelates to Correct Iron Deficiency in Plants, in: *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*. pp. 103–128. https://doi.org/10.1007/1-4020-4743-6_5
- Maigre, D., Epard, S., 1998. Influence de la durée et de la température de stratification sur le taux de réussite au greffage de la vigne. *Rev Suisse Vitic Arboric Horti* 30, 137–141.
- MAPA, 2004. Portada del libro *Los parásitos de la vid. Estrategias de protección razonada*, 5th ed. Mundi-Prensa.
- Marguerit, E., Brendel, O., Lebon, E., Van Leeuwen, C., Ollat, N., 2012. Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. *New Phytologist* 194, 416–429. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04059.x>
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press, London.
- Martín, P., Zarco-Tejada, P.J., González, M.R., Berjón, A., 2005. Using hyperspectral remote sensing to map grape quality in “Tempranillo” vineyards affected by iron deficiency chlorosis. *Remote Sensing of Environment* 99, 271–287.
- Martinez de Toda, Fernando, 2008. *Claves de la viticultura de calidad. Nuevas técnicas de estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo*, Mundi-Prensa.
- Martinez de Toda, Fernando, 2002. *Viticultura de calidad: factores que afectan al contenido de compuestos fenólicos* [WWW Document]. URL http://www.acenologia.com/ciencia59_1.htm (accessed 11.8.18).
- Mattick, L.R., Shaulis, N.J., Moyer, J.C., 1972. The Effect of Potassium Fertilization on The Acid Content of ‘Concord’ Grape Juice. *Am. J. Enol. Vitic.* 23, 26.
- May, P., 1994. *Using grapevine rootstocks. The Australian perspective*. Winetitles, Cowandilla SA, Australia.
- McCarthy, M.G., Cirami, R.M., 1990. The Effect of Rootstocks on the Performance of Chardonnay from a Nematode-Infested Barossa Valley Vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* 41, 126.

- McKenry, M.V., 1992a. Nematodes. In: 'Grape Pest Management'. Second Edition. Eds D.L. Flaherty, L.P. Christensen, W.T. Lanini, J.J. Marois, P.A. Phillips and L.T. Wilson (University of California: Oakland).
- McKenry, M.V., 1992b. Nematodes. In: 'Grape Pest Management'. Second Edition. Eds D.L. Flaherty, L.P. Christensen, W.T. Lanini, J.J. Marois, P.A. Phillips and L.T. Wilson (University of California: Oakland).
- McKenry, M.V. and Kretsch, J.O., 1995. It is a long road from the finding of a new rootstock to the replacement of a soil fumigant. In: Proceedings Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions' (Methyl Bromide Alternatives, US Environment Protection Agency and US Department of Agriculture) pp. 32/1-32/3.
- McKenry, M.V., Anwar, S.A., 2006. Nematode and grape rootstock interactions including an improved understanding of tolerance. *Journal of nematology* 38, 312.
- Meggio, F., Zarco-Tejada, P.J., Núñez, L.C., Sepulcre-Cantó, G., González, M.R., Martín, P., 2010. Grape quality assessment in vineyards affected by iron deficiency chlorosis using narrow-band physiological remote sensing indices. *Remote Sensing of Environment* 114, 1968–1986. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.004>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación MAPA, 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Madrid.
- Ministerio Medio Ambiente, 2001. Programa de Acción Nacional Contra la Desertificación (Borrador de Trabajo). Madrid.
- Montañés, L., Heras, L., Abadía, J., Sanz, M., 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: Deviation from optimum percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition* 16, 1289–1308. <https://doi.org/10.1080/01904169309364613>
- Morlat, R, Jaquet, 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis* 35–42.
- Munson, Thomas Volney, 1909. Foundations of American grapes culture. Orange Judd Company, New York.
- Nagarajah, S., 1987. Effects of soil texture on the rooting patterns of Thompson Seedless vines on own roots and on Ramsey rootstock in irrigated. *American Journal of Enology and Viticulture* 38, 54–59.
- Nasertic, 2016. Nasertic – portfolio _ laboratorio.pdf [WWW Document]. URL https://www.nasertic.es/images/documentos/nasertic-portfolio_laboratorio.pdf (accessed 12.22.18).
- Navarro, S., León, M., Roca-Pérez, L., Boluda, R., García-Ferriz, L., Pérez-Bermúdez, P., Gavidia, I., 2008. Characterisation of Bobal and Crujidera grape cultivars, in comparison with Tempranillo and Cabernet Sauvignon: Evolution of leaf macronutrients and berry composition during grape ripening. *Food Chemistry* 108, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.060>
- Navarro, S, Navarro, G, 2003. *Química Agrícola*, Mundiprensa. ed. Madrid (España).
- Nicol, J.M., Stirling, G.R., Rose, B.J., May, P., Heeswijck, R., 1999a. Impact of nematodes on grapevine growth and productivity: current knowledge and future directions, with special reference to Australian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 5, 109–127. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1999.tb00295.x>
- Nombela, G, Bello, A, 1983. Modificaciones al método de extracción de nematodos fitoparásitos por centrifugación en azúcar. *Boletín Servicio Plagas* 183–189.
- OIV, 2019. Aspectos de la coyuntura mundial. Situación del sector en 2018. Abril de 2019.
- OIV, 2009a. Actualización del compendio de los métodos internacionales de análisis de los vinos y los mostos de la OIV- Clasificación de los métodos (No. OIV/OENO/377-2009).
- OIV, 2009b. Norma OIV de los concursos internacionales de vinos y bebidas espirituosas de origen vitícola, RESOLUCIÓN 332A/2009.
- OIV, 2000. Compendium of international methods of wine and must analysis. Paris.

- Ollat, N., Cookson, S.J., Lauvergeat, V., Marguerit, E., Barrieu, F., Gambetta, G., Goutouly, J.-P., Tandonnet, J.-P., Vivin, P., Delrot, S., 2017. Grapevine roots: the dark side. *Acta Horticulturae* 213–226. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.28>
- Ollat, N., Peccoux, A., Papura, D., Esmenjaud, D., Marguerit, E., Tandonnet, J.-P., Bordenave, L., Cookson, S.J., Barrieu, F., Rossdeutsch, L., Lecourt, J., Lauvergeat, V., Vivin, P., Bert, P.-F., Delrot, S., 2016. Rootstocks as a component of adaptation to environment, in: Gerós, H., Chaves, M.M., Gil, H.M., Delrot, S. (Eds.), *Grapevine in a Changing Environment*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 68–108. <https://doi.org/10.1002/9781118735985.ch4>
- Omer, A.D., Granett, J., De Benedictis, J.A., Walker, M.A., 1995. Effects of fungal root infections on the vigor of grapevines infested by root-feeding grape phylloxera. *Vitis* 34, 165–170.
- OpenStax CNX, 2013. The Light-Dependent Reactions of Photosynthesis.
- Parejo, J, 1991. Evolución durante el ciclo vegetativo, del contenido peciolar en elementos minerales en distintas variedades de *Vitis vinifera* L. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid (España).
- Pearson R.C. and Goheen, A.C., 1996. *Compendium of grape diseases*, American Phytopathology Society Press. St. Paul, Minn.
- Pérez Batolomé, Anunciación, 2002. Densidad de plantación y riego: Aspectos ecofisiológicos, agronómicos y calidad de la uva en cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.). Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León ITACyL, Madrid.
- Pérez Marin, Jose Luis, n.d. *Plagas y enfermedades del viñedo en La Rioja*, Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. ed.
- Pinochet, J., Verdejo, S., Soler, A. and Canals, J., 1992. Host range of a population of *Pratylenchus vulnus* in commercial fruit, nut, citrus and grape rootstocks in Spain. *Journal of Nematology* 24, 693–698.
- Piqueras Haba, J., 2005. La filoxera en España y su difusión espacial: 1878-1926. *Cuad. de Geogr.* 77, 101–136.
- Piqueras Haba, Juan, 2005. Filoxera en España y su difusión espacial: 1878-1926. *Cuadernos de Geografía* 77, 101–136.
- Pompei, C., Peri, C., 1971. Determination of catechins in wines. *Vitis* 9, 312–316.
- Pongrácz, D.P., 1983. Pongrácz, D.P. (1983). *Rootstocks for grapevines* (David Philip Publisher: Cape Town, South Africa). David Philip, Cape Town, South Africa.
- Porta, J, López-Acevedo, M, Roquero, C., 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, tercera. ed. Mundi-Prensa.
- Pouget, Roger, 2015. *Le Phylloxéra et les maladies de la vigne: La lutte victorieuse des savants et des vigneronns français (1850-1900)*, Editions Edilivre. ed. Saint Denis.
- Powell, K.S., 2012. A Holistic Approach to Future Management of Grapevine Phylloxera, in: Bostanian, N.J., Vincent, C., Isaacs, R. (Eds.), *Arthropod Management in Vineyards*: Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 219–251. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4032-7_10
- RAC Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1996. *Vocabulario Científico y Técnico*, Tercera Edición. ed. Espasa, Madrid.
- Rapaport, T., Hochberg, U., Shoshany, M., Karnieli, A., Rachmilevitch, S., 2015. Combining leaf physiology, hyperspectral imaging and partial least squares-regression (PLS-R) for grapevine water status assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 109, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.09.003>
- Raski, D.J., 1986. Grapes. In: 'Plant Parasitic Nematodes of Bananas, Citrus, Coffee, Grapes and Tobacco'. (Union Carbide Agricultural Products Company Inc.: Research Triangle Park, NC, USA).
- Raski, D.J., Hart, W.H. and Kasimatis, A.N., 1973. *Nematodes and their control in vineyards (revised)*. California Agricultural Experiment Station Extension Circular 533.
- Ravaz, L, 1903. Sur la brunissure de la vigne. *Sur la brunissure de la vigne* 136, 1276–1278.
- Renfro, R., McLeRoy, 2008. *Grape Man of Texas: Thomas Volney Munson and the origins of American viticulture*. Board and Bench Publishing.
- Reynier, A., 2002. *Manual de viticultura*. Mundi-Prensa, Madrid (España).
- Reynolds, Andrew G., 2015. *Grapevine Breeding Programs for the Wine Industry*. Elsevier.

- Ribéreau-Gayon, P., Stonestreet, E., 1965. Determination of anthocyanins in red wine. *Bulletin de la Societe chimique de France* 9, 2649–2652.
- Romero Laibarra, I.R., 2015. Análisis de limbo y pecíolo para el diagnóstico nutricional de la vid (*Vitis vinifera* L.), cv. Tempranillo. Tesis Doctoral Universidad de la Rioja ICVV
- Rossddeutsch L, Edwards E, Cookson SJ, Barrieu F, Gambetta GA, Delrot S, Ollat N, 2016. ABA-mediated responses to water deficit separate grapevine genotypes by their genetic background. *BMC Plant Biol* 16:1.
- Saint Cricq, N., Vivas, N., Glories, Yves, 1998. Apports récents à la interprétation des critères de la qualité des vins rouges. *Revue Française d'Oenologie* 169, 19–25.
- Samson, C., Castéran, P., 1971. Technique de multiplication de la vigne, in: *Sciences et Techniques de La Vigne*. Dunod, Paris, pp. 4–34.
- Sauer, 1968. Effects of vine rootstocks on chloride concentration in Sultana scions. *Vitis* 7, 223–226.
- Sauer, M.R., 1977. Nematode resistant grape rootstocks. *Australian Dried Fruits News* NS 5, 10-14.
- Sauer, M.R., 1967. Root knot tolerance in some grape vine rootstocks. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 7, 580-583.
- Schmid, J., Manty, F., Huber, L., Porten, M., Rühl, E.H., 2005. Experience with rootstock varieties in Germany, in: *Grapevine Rootstocks: Current Use, Research and Application*. Proceedings of the 2005 Rootstock Symposium. P Cousins and R.K. Striegler, Missouri, USA, pp. 1–7.
- Schmid, J., Manty, F., Rühl, E.H., 2003a. Experience with phylloxera tolerant and resistant rootstocks at different vineyard sites. *Acta Horticulturae* 617, 85–93.
- Schmid, J., Manty, F., Rühl, E.H., 2003b. Utilizing the complete phylloxera resistance of *Vitis cinerea* Arnold in rootstock breeding. *Acta Horticulturae* 603, 393–400.
- Schmid, J., Sopp, E., Rühl, E.H., 1998. Breeding rootstock varieties with complete phylloxera resistance. *Acta Horticulturae* 473, 131–138. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.473.13>
- Sepúlveda, G., Kliewer, W.M., 1986. Effect of High Temperature on Grapevines (*Vitis vinifera* L.). II. Distribution of Soluble Sugars. *Am. J. Enol. Vitic.* 37, 20.
- Serrano, L., González-Flor, C., Gorchs, G., 2010. Assessing vineyard water status using the reflectance based Water Index. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139, 490–499. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.007>
- Shaffer, R., Sampaio, T.L., Pinkerton, J., Vasconcelos, M.C., 2004. Grapevine Rootstocks for Oregon Vineyard. Oregon State University 11.
- Skinkis, P., Vance, Amanda J., 2013. Understanding Vine Balance. Oregon State University 10.
- Smart, D. R, Schwass, E, Lakso, A, Morano, 2006. Grapevine rooting patterns: a comprehensive analysis and review. *American Journal of Enology and Viticulture* 57, 89–104.
- Smith, B.P., Wheal, M.S., Jones, T.H., Morales, N.B., Clingeleffer, P.R., 2013. Heritability of adventitious rooting of grapevine dormant canes. *Tree Genetics & Genomes* 9, 467–474. <https://doi.org/10.1007/s11295-012-0570-z>
- Smith, J.P., 2004. Investigations into the mechanisms underlying grapevine rootstocks effects on scion growth and yield. Charles Sturt University, Waga Waga University.
- Snyder, E., 1936. Susceptibility of grape rootstocks to root-knot nematodes. United States Department of Agriculture Circular 405.
- Soar C, Speirs J, Maffei S, Loveys B, 2004. Gradients in stomatal conductance, xylem sap ABA and bulk leaf ABA along canes of *Vitis vinifera* cv. Shiraz: molecular and physiological studies investigating their source. *Funct Plant Biol* 659–669.
- Soar, C.J., Dry, P.R., Loveys, B.R., 2006. Scion photosynthesis and leaf gas exchange in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: mediation of rootstock effects via xylem sap ABA. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12, 82–96.
- Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Sotés, Vicente, 2004. Alteraciones no parasitarias, in: *Los Parásitos de La Vid*. Estrategias de Protección Razonada, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa.

- Sotés, Vicente, Gómez-Miguel, Vicente, 1992. Criterios de diferenciación y delimitación de comarcas y regiones vitivinícolas. *Viticultura* 29–39.
- Southey, J.M., 1992. Grapevine rootstocks performance under diverse conditions in South Africa, in: *Rootstock Seminar: A Worldwide Perspective* (Eds J.A.Wolpert, M.A. Walker and E. Weber). American Society for Enology and Viticulture, pp. 27–51.
- Stevens, R., Pitt, T., 2011. Salt tolerant rootstocks for long-term sustainability in the Limestone Coast. South Australian Research and Development Institute Sustainable Systems.
- Stirling, G.R. and Cirami, R.M., 1984. Resistance and tolerance of grape rootstocks to South Australian populations of root-knot nematode. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 24, 277-282.
- Suarez, D.L., Celis, N., Anderson, R.G., Sandhu, D., 2019. Grape Rootstock Response to Salinity, Water and Combined Salinity and Water Stresses. *Agronomy* 9, 321. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060321>
- Tagliavini, M., Rombolà, A.D., 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy* 15, 71–92.
- Tesic, D., Woolley, D.J., Hewett, E.W., Martin, D.J., 2002. 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, 15–26. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2002.tb00207.x>
- The American Phytopathological Society, 1996. *Plagas y enfermedades de la vid*. Mundi-Prensa.
- Tóth, H., Kocsis, L., 2003. Level of phylloxera resistance of two new rootstocks hybrids: Georgikon 28 and Georgikon 121. *Acta Horticulturae* 603, 739–743.
- Tudó, J.L.A., 2008. Influencia de los fenómenos de copigmentación sobre la calidad fenólica 28.
- UC Davis Division of Agriculture and Natural Resources, 2003. Rootstocks selection, in: *Wine Grape Varieties in California*.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., Pleijel, H., 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth Res* 91, 37–46. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>
- Unanua, A.J.D., Herrero, J.I., Legaz, R.M.V., n.d. Relationship between soluble boron content and some soil properties and environmental factors in soils of Navarre UNE-EN, 2005. ISO 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- UNE_EN, 2010. ISO 8589:2010 Analisis Sensorial. Guía general para el diseño de una sala de cata. (Spain). Aranzadi 18.
- Vallotton, R. and Perrier, J.-J., 1990. Les nématodes vecteurs de virus dans le vignoble de Suisse Romande et du Tessin. *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture* 22, 53-58.
- Vandeleur, R.K., Mayo, G., Shelden, M.C., Gilliam, M., Kaiser, B.N., Tyerman, S.D., 2009. The Role of Plasma Membrane Intrinsic Protein Aquaporins in Water Transport through Roots: Diurnal and Drought Stress Responses Reveal Different Strategies between Isohydric and Anisohydric Cultivars of Grapevine. *PLANT PHYSIOLOGY* 149, 445–460. <https://doi.org/10.1104/pp.108.128645>
- Vannozzi, A., Donnini, S., Vigani, G., Corso, M., Valle, G., Vitulo, N., Bonghi, C., Zocchi, G., Lucchin, M., 2017. Transcriptional Characterization of a Widely-Used Grapevine Rootstock Genotype under Different Iron-Limited Conditions. *Front. Plant Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01994>
- Viala, P., Ravaz, L., 1903. *American vines (resistant stock): Their adaptation, culture, grafting and propagation*. Press of Freygang-Leary Company.
- Viala, Pierre, Vermorel, Victor, 1909. *Ampélographie Traité Général de viticulture*, Jeanne Laffitte. ed. Paris.
- Vidaurre, J.M.M., 2017. 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. Universidad de la Rioja, España.
- Wachtel, M.F., 1986. Resistance and tolerance of grapevine rootstocks to citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 26, 517-521.

- Walker, G.E., 1995. Nematodes associated with grapevine foundation planting at Loxton. *Australian Grapegrower & Winemaker* 34–40.
- Walker, M.A., Ferris, H. and Eyre, M., 1994. Resistance in *Vitis* and *Muscadinia* species to *Meloidogyne incognita*. *Plant Disease* 78, 1055- 1058.
- Walker, R.R., Blackmore, D.H., Clingeleffer, P.R., Correll, R.L., 2002. Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana): 1. Yield and vigour inter-relationships. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8, 3–14.
- Walworth, J.L., Sumner, M.E., 1987. The diagnosis and recommendation Integrated System (DRIS). *Advances in Soil Science* 149–188.
- Whiting, J.R., 2005. Grapevine rootstocks, in: *Viticulture, Volume 1- Resources*. Winetitles, Ashford, Australia, pp. 167–188.
- Wine Australia, n.d. References » Rootstock Selector [WWW Document]. URL <https://grapevinerootstock.com/references/> (accessed 7.4.19).
- Wolf, Tony, 2007. Vine nutrition, in: *The North Carolina Winegrape Grower's Guide*. College of Agriculture and Life Sciences of the State University, Raleigh, NC, USA.
- Wolper, J, Smart, D. R, Anderso, M, 2005. Lower Petiole Potassium Concentration at Boom in Rootstocks with *Vitis Berlandieri* Genetic Backgrounds. *American Journal of Enology and Viticulture* 56:2, 163–169.
- Yunta, 2012. Thermodynamic Database Update to Model Synthetic Chelating Agents in Soil Systems. *J. Appl. Sol. Chem. Model.* <https://doi.org/10.6000/1929-5030.2012.01.01.6>
- Yuste, J, Alburquerque, M.V, 2013. Influencia de 10 portainjertos de vid sobre el desarrollo productivo y vegetativo y la calidad de la uva de cv. Tempranillo en la D.O. Toro (España). *Enoviticultura* 22, 6–15.
- Yuste, J., Vicente, A., Barajas, E., Alburquerque, M., 2017. Diez portainjertos de vid: Efectos sobre el crecimiento, la producción y la composición de la uva del cv. Sauvignon blanc en la denominación de origen rueda (España). *BIO Web Conf.* 9. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170901009>
- Zamora Marín, Fernando, 2003. *Elaboración y Crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos*. Mundi-Prensa.
- Zarco- Tejada, P., Berjon, A., Lopezlozano, R., Miller, J., Martin, P., Cachorro, V., Gonzalez, M., Defrutos, A., 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral índices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment* 99, 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.002>
- Zhang, L., Marguerit, E., Rossdeutsch, L., Ollat, N., Gambetta, G.A., 2016. The influence of grapevine rootstocks on scion growth and drought resistance. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 28, 143–157. <https://doi.org/10.1007/s40626-016-0070-x>

8. ANEXOS

Tabla 58. Valores medios de SPAD de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos en distintos estados fenológicos año **2015**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * \leq 0.05; ** \leq 0.01; *** \leq 0.001).

2015	FLORACION		FLOR+15D		GUISANTE		ENVERO	
1616C	13	b	9	d	21	b	24	c
1613C	19	ab	14	cd	25	ab	29	bc
110R	21	ab	21	abc	27	ab	31	abc
140Ru	24	ab	25	ab	29	ab	30	bc
Freedom	24	ab	26	ab	28	ab	33	ab
1103P	24	ab	27	ab	31	a	32	abc
16149C	25	a	27	ab	28	ab	31	abc
5C	25	a	22	abc	31	a	36	ab
Dog Ridge	26	a	24	ab	29	ab	32	abc
Rupestris	26	a	25	ab	28	ab	32	abc
Gravesac	26	a	27	ab	26	ab	35	ab
99R	26	a	19	bc	28	ab	29	bc
41B	26	a	28	ab	31	a	37	ab
5BB	27	a	25	ab	27	ab	39	a
Fercal	28	a	28	a	29	ab	31	abc
Salt Creek	29	a	24	ab	26	ab	30	bc
Sig		***		***		*		***

Tabla 59. Valores medios de SPAD de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos en distintos estados fenológicos año **2016**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * \leq 0.05; ** \leq 0.01; *** \leq 0.001).

2016	FLOR		FLOR+15d		GUISANTE		ENVERO	
1616C	6	c	16	b	17	c	18	b
1613C	12	bc	27	ab	31	ab	30	ab
Gravesac	15	abc	24	ab	26	ab	28	ab
99R	17	abc	24	ab	30	ab	31	a
5C	18	abc	25	ab	29	ab	30	ab
5BB	20	ab	27	ab	35	a	30	ab
1103P	20	ab	25	ab	29	ab	30	ab
16149C	21	ab	26	ab	27	ab	26	ab
110R	21	ab	20	ab	24	bc	27	ab
Freedom	21	ab	24	ab	30	ab	26	ab
41B	23	ab	25	ab	32	ab	28	ab
Salt Creek	24	ab	24	ab	28	ab	27	ab
140Ru	24	ab	28	a	30	ab	25	ab
Dog Ridge	24	ab	27	ab	31	ab	31	a
Rupestris	25	ab	26	ab	33	ab	29	ab
Fercal	26	a	28	a	32	ab	27	ab
Sig		***		**		***		*

Tabla 60. Valores medios de SPAD de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos en distintos estados fenológicos año 2017. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * \leq 0.05; ** \leq 0.01; *** \leq 0.001).

2017	FLOR		FLOR+15d		GUISANTE		ENVERO	
1616C	8	d	13	c	19	d	34	bc
Gravesac	10	cd	24	bc	28	bcd	40	abc
5C	19	bc	24	bc	31	abcd	44	ab
99R	19	bc	28	ab	37	abc	41	abc
1613C	19	bc	25	bc	25	cd	40	abc
16149C	25	ab	24	bc	26	cd	31	c
110R	25	ab	27	ab	30	abcd	42	ab
Freedom	25	ab	29	ab	34	abc	41	abc
Dog Ridge	26	ab	32	ab	37	abc	44	ab
5BB	27	ab	37	ab	42	ab	48	a
1103P	27	ab	29	ab	35	abc	44	ab
41B	28	ab	36	ab	41	ab	44	ab
Salt Creek	28	ab	35	ab	42	ab	41	abc
140Ru	29	a	32	ab	41	ab	45	a
Rupestris	31	a	37	ab	43	a	46	a
Fercal	32	a	38	a	44	a	46	a
Sig.		***		***		***		***

Tabla 61. Valores medios de las desviaciones medias de SPAD de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos en distintos estados fenológicos años 2015, 2016 y 2017. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * \leq 0.05; ** \leq 0.01; *** \leq 0.001).

	FLORACIÓN		FLOR+15		GUISANTE		ENVERO	
1616C	-13,7	d	-13,2	e	-11,8	d	-8,6	c
1613C	-5,7	c	-3,8	d	-3,3	bc	-0,6	ab
Grave sac	-5,4	c	-0,9	abcd	-3,8	c	0,3	ab
5C	-1,9	bc	-2,3	bcd	-0,1	abc	2,8	a
99R	-1,8	bc	-2,4	bcd	0,8	abc	0,1	ab
110R	-0,3	abc	-3,2	cd	-3,6	c	-0,4	ab
161-49C	0,7	abc	-0,3	abcd	-3,5	c	-4,5	bc
Freedom	0,9	abc	0,6	abcd	0,2	abc	-0,5	ab
1103P	1,0	abc	0,9	abcd	1,1	abc	1,4	ab
5BB	1,9	ab	4,1	ab	4,1	a	5,1	a
140Ru	2,9	ab	2,7	abcd	2,9	abc	-0,7	ab
Dog Ridge	3,0	ab	1,7	abcd	1,9	abc	1,6	ab
41B	3,1	ab	3,9	ab	4,2	a	2,3	a
Salt Creek	4,3	ab	2,0	abcd	1,6	abc	-1,1	ab
Rupestris	4,6	ab	3,6	abc	4,0	ab	1,7	ab
Fercal	6,2	a	5,8	a	4,3	a	0,9	ab
Sig.		***		***		***		***

Tabla 62. Diferencias significativas de SPAD entre los años **2015, 2016 y 2017** para de hojas de Tempranillo sobre 16 portainjertos en distintos estados fenológicos. Se indican las medias y al lado los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey.

	Año	1613C	1616C	161-49C	41B	Dog Ridge	Freedom	5BB	99R	Rupestris	Salt Creek	5C	1103P	Fercal	Gravesac	110R	140Ru
SPAD FLOR	2015	19	13	25	26	26	24	27	26a	26	29	25	24ab	28	26a	21	24
	2016	12	6	21	23	24	21	20	17b	25	24	18	20b	26	15b	21	24
	2017	19	8	25	28	26	25	27	19ab	31	28	19	27a	32	10b	25	29
SPAD FLOR+15d	2015	14b	9	27	28b	24b	26	25	19	25b	24b	22	27	28b	27	21	25b
	2016	27a	16	26	25b	27ab	24	27	24	26b	24b	25	25	28b	24	20	28ab
	2017	25ab	13	24	36a	32a	29	37	28	37a	35a	24	29	38a	24	27	32a
SPAD GUISANTE	2015	25	21	28	31b	29b	28	27c	28b	28b	26b	31	31	29b	26	27	29b
	2016	31	17	27	32b	31ab	30	35b	30b	33b	28b	29	29	32b	26	24	30b
	2017	25	19	26	41a	37a	34	42a	37a	43a	42a	31	35	44a	28	30	41a
SPAD ENVERO	2015	29b	24b	31	37ab	32b	33a	39b	29	32b	30b	36b	32b	31b	35b	31b	30b
	2016	30b	18b	26	28b	31b	26b	30b	31	29b	27b	30b	30b	27b	28b	27b	25c
	2017	40a	34a	31	44a	44a	41a	48a	41	46a	41a	44a	44a	46a	40a	42a	45a

Tabla 63. Los 208 Índices de vegetación seleccionados para radiometría y su expresión matemática

ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
ARI	Anthocyanin reflectance index	$\frac{1}{550nm} - \frac{1}{700nm}$	mSR	Modified Simple Ratio	$\frac{800nm - 445nm}{680nm - 445nm}$
AR750/850	Average reflectance 750 to 850	Average reflectance between 750nm and 850nm	MSR670	Modified Simple Ratio 670,800	$\frac{800nm}{670nm} - 1$
ChI	Chlorophyll	$30,605 \cdot \ln(TCARI/OSAVI)$	MSR705	Modified Simple Ratio 705,750	$\frac{750nm}{705nm} - 1$
CARI2	Chlorophyll Absorption Ratio Index 2	$\left(\frac{(a \cdot [670] + [670] + b)}{(a^2 + 1)^{0.5}}\right) \cdot \left(\frac{[700]}{[670]}\right)$	MSR705/445	Modified Simple Ratio 705/445	$\frac{750nm - 445nm}{705nm - 445nm}$
Cirededge710	Chlorophyll Index RedEdge 710	$\frac{750nm}{710nm} - 1$	MTVI1	Modified Triangular Vegetation Index 1	$1.2(1.2(800nm - 550nm) - 2.5(670nm - 550nm))$
CRi550	CRi550	$[510]^{-1} - [550]^{-1}$	MTVI2	Modified Triangular Vegetation Index 2	$(1.5 \frac{1.2(800nm-550nm)-2.5(670nm-550nm)}{\sqrt{(2800nm+1)^2 - (6800nm-5\sqrt{670nm}) - 0.5}})$
CRi700	CRi700	$[510]^{-1} - [700]^{-1}$	mSR2	mSR2	$\left(\frac{750nm}{705nm}\right) - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{750nm}{705nm}\right) + 1}}$
CI	Curvative Index	$675nm \cdot (690nm/683nm^2)$	DDn	new Double Difference Index	$860nm / (550nm \cdot 708nm)$
Datt1	Datt1	$\frac{850nm - 710nm}{850nm - 680nm}$	NPQI	Normalized Difference 415/435 Normalized Phaeophytinization Index , Normalized difference pigment index NDPI	$\frac{415nm - 435nm}{415nm + 435nm}$
Datt4	Datt4	$\frac{672nm}{550nm \cdot 708nm}$	PRi528/567	Normalized Difference 528/587 Photochemical Reflectance Index	$\frac{528nm - 567nm}{528nm + 567nm}$
Datt6	Datt6	$\frac{860nm}{550nm \cdot 708nm}$	PRi531/570	Normalized Difference 531/570 Photochemical Reflectance Index	$\frac{531nm - 570nm}{531nm + 570nm}$
D678/500	Difference 678/500	$678nm - 500nm$	PPR	Normalized Difference 550/450 Plant pigment ratio	$\frac{550nm - 450nm}{550nm + 450nm}$
D800/550	Difference 800/550	$800nm - 550nm$	PRi550/530	Normalized Difference 550/530 Physiological reflectance index	$\frac{550nm - 530nm}{550nm + 530nm}$
D800/680	Difference 800/680	$800nm - 680nm$	ND550/531	Normalized Difference 550/531	$\frac{550nm - 531nm}{550nm + 531nm}$
D833/658	Difference 833/658	$833nm - 658nm$	PRi570/531	Normalized Difference 570/531 Photochemical Reflectance Index	$\frac{570nm - 531nm}{570nm + 531nm}$
DD	Double Difference Index	$(749nm - 720nm) - (701nm - 672nm)$	ND570/539	Normalized Difference 570/539	$\frac{570nm - 539nm}{570nm + 539nm}$
DPI	Double Peak Index	$\frac{688nm + 710nm}{697nm^2}$	ND774/677	Normalized Difference 774/677	$\frac{774nm - 677nm}{774nm + 677nm}$
Gitelson2	Gitelson2	$\left(\frac{750nm - 800nm}{695nm - 740nm}\right) - 1$	GNDVIhyper	Normalized Difference 780/550 Green NDVI hyper	$\frac{780nm - 550nm}{780nm + 550nm}$
IR550	Inverse reflectance	$550nm^{-1}$	ND782/666	Normalized Difference 782/666	$\frac{782nm - 666nm}{782nm + 666nm}$
IR700	Inverse reflectance 700	$700nm^{-1}$	ND790/670	Normalized Difference 790/670	$\frac{790nm - 670nm}{790nm + 670nm}$
LCI	Leaf Chlorophyll Index	$\frac{[850] - [710]}{[850] + [680]}$	NDRE	Normalized Difference 790/720 Normalized difference red edge index	$\frac{790nm - 720nm}{790nm + 720nm}$
Maccioni	Maccioni	$\frac{780nm - 710nm}{780nm - 680nm}$	PSNDc2	Normalized Difference 800/470 Pigment specific normalised difference C2	$\frac{800nm - 470nm}{800nm + 470nm}$
MCARI/OSAVI	MCARI/OSAVI	$\frac{(750nm - 705nm) - 0.2(750nm - 550nm) \cdot \left(\frac{750nm}{705nm}\right)}{(1 + 0.16) \cdot \frac{750nm - 705nm}{750nm + 705nm + 0.16}}$			
MCARI/OSAVI 2	MCARI/OSAVI750	$\frac{(750nm - 705nm) - 0.2(750nm - 550nm) \cdot \left(\frac{750nm}{705nm}\right)}{(1 + 0.16) \cdot \frac{750nm - 705nm}{750nm + 705nm + 0.16}}$			
MTCI	MERIS Terrestrial chlorophyll index	$\frac{754nm - 709nm}{709nm - 681nm}$			
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index	$((700nm - 670nm) - 0.2(700nm - 550nm)) \cdot \left(\frac{700nm}{670nm}\right)$			
MCARI1	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 1	$1.2(2.5(800nm - 670nm)) - 1.3(800nm - 550nm))$			
MCARI705	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 705,750	$((750nm - 705nm) - 0.2(750nm - 550nm)) \cdot \left(\frac{750nm}{705}\right)$			
MCARI710	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 710	$((750nm - 710nm) - 0.2(750nm - 550nm)) \cdot \left(\frac{750nm}{710}\right)$			
mNDVI	Modified NDVI	$\frac{800nm - 680nm}{800nm + 680nm - 2 * 445nm}$			
Vog2	Modified Normalised Difference 734/747/715/726 Vogelmann indices 2	$\frac{734nm - 747nm}{715nm + 726nm}$			
MND750/705	Modified Normalised Difference 750/705	$\frac{750nm - 705nm}{750nm + 705nm - 2 * 445nm}$			
MD734/747/715/726	Modified Normalized Difference 734/747/715/720	$\frac{734nm - 747nm}{715nm - 720nm}$			

ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
PSNDc1	Normalized Difference 800/500 Pigment specific normalised difference C1	$\frac{800nm - 500nm}{800nm + 500nm}$	OSAVI2	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index 2	$(1 + 0.16) \frac{750nm - 705nm}{750nm + 705nm + 0.16}$
GNDVIhyper2	Normalized Difference 800/550 Green NDVI hyper 2	$\frac{800nm - 550nm}{800nm + 550nm}$	PSRI	Plant Senescence Reflectance Index	$\frac{678nm - 500nm}{750nm}$
PSNDb2	Normalized Difference 800/635 Pigment specific normalised difference B2	$\frac{800nm - 635nm}{800nm - 635nm}$	R675/700/650	Ratio 675/700/650	$\frac{675nm}{700nm \cdot 650nm}$
PSNDb1	Normalized Difference 800/650 Pigment specific normalised difference B1	$\frac{800nm - 650nm}{800nm + 650nm}$	WI/ND750	Ratio of WI and Normalised Difference 750/660	$\frac{900nm}{970nm} \frac{750nm - 705nm}{750nm + 705nm}$
PSNDa1	Normalized Difference 800/675 Pigment specific normalised difference A1	$\frac{800nm - 675nm}{800nm + 675nm}$	RDVI	RDVI	$\frac{800nm - 670nm}{(800nm + 670nm)^{0.5}}$
ND800/680	Normalized Difference 800/680 Pigment specific normalised difference A2, Lichtenthaler indices 1, NDVIhyper	$\frac{800nm - 680nm}{800nm + 680nm}$	RDVI2	RDVI2	$\frac{833nm - 658nm}{\sqrt{833nm + 658nm}}$
PSNDc1	Normalized Difference 800/500 Pigment specific normalised difference C1	$\frac{800nm - 500nm}{800nm + 500nm}$	REIP1	Red-Edge Inflection Point 1	$700 + 40 \left(\frac{670nm + 780nm}{2} - 700nm \right) / (740nm - 700nm)$
GNDVIhyper2	Normalized Difference 800/550 Green NDVI hyper 2	$\frac{800nm - 550nm}{800nm + 550nm}$	REIP2	Red-Edge Inflection Point 2	$702 + 40 \left(\frac{667nm + 782nm}{2} - 702nm \right) / (742nm - 702nm)$
PSNDb2	Normalized Difference 800/635 Pigment specific normalised difference B2	$\frac{800nm - 635nm}{800nm - 635nm}$	REIP3	Red-Edge Inflection Point 3	$705 + 35 \left(\frac{665nm + 783nm}{2} - 705nm \right) / (740nm - 705nm)$
PSNDb1	Normalized Difference 800/650 Pigment specific normalised difference B1	$\frac{800nm - 650nm}{800nm + 650nm}$	REP	Red-Edge Position Linear Interpolation	$700 + 40 \left(\frac{670nm + 780nm}{2} - 700nm \right) / (740nm - 700nm)$
PSNDa1	Normalized Difference 800/675 Pigment specific normalised difference A1	$\frac{800nm - 675nm}{800nm + 675nm}$	RVSI'	Red-Edge Stress Vegetation Index	$\frac{718nm + 748nm}{2} - 733nm$
ND800/680	Normalized Difference 800/680 Pigment specific normalised difference A2, Lichtenthaler indices 1, NDVIhyper	$\frac{800nm - 680nm}{800nm + 680nm}$	Rre	Reflectance at the inflexion point	$\frac{[670] + [780]}{2}$
ND827/668	Normalized Difference 827/668	$\frac{827nm - 668nm}{827nm + 668nm}$	RVSI	RVSI	$\frac{714nm + 752nm}{2} - 733nm$
ND833/658	Normalized Difference 833/658	$\frac{833nm - 658nm}{833nm + 658nm}$	SR430/680	Simple Ratio 430/680 SRPI	$\frac{430nm}{680nm}$
ND895/675	Normalized Difference 895/675	$\frac{895nm - 675nm}{895nm + 675nm}$	Lic2	Simple Ratio 440/690 Lichtenthaler indices 2	$\frac{440nm}{690nm}$
ND900/680	Normalized Difference 900/680	$\frac{900nm - 680nm}{900nm + 680nm}$	SR440/740	Simple Ratio 440/740	$\frac{440nm}{740nm}$
NDchl	Normalized Difference 925/710 Normalized Difference Chlorophyll	$\frac{925nm - 710nm}{925nm + 710nm}$	BGI	Simple Ratio 450/550 Blue green pigment index	$\frac{440nm}{550nm}$
NDVI	Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI - CDVI	$(842nm - 665nm) / (842nm + 665nm)$	BRI	Simple Ratio 450/690 Blue red pigment index	$\frac{450nm}{690nm}$
OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	$(1 + Y) \frac{800nm - 670nm}{800nm + 670nm + Y}$	SR520/420	Simple Ratio 520/420	$\frac{520nm}{420nm}$
			SR520/670	Simple Ratio 520/670	$\frac{520nm}{670nm}$
			SR520/760	Simple Ratio 520/760	$\frac{520nm}{760nm}$
			SR542/750	Simple Ratio 542/750 Chl	$\frac{542nm}{750nm}$
			Ctr6	Simple Ratio 550/420 Carter6	$\frac{550nm}{420nm}$
			SR550/670	Simple Ratio 550/670	$\frac{550nm}{670nm}$
			SR550/760	Simple Ratio 550/760	$\frac{550nm}{760nm}$
			SR550/800	Simple Ratio 550/800	$\frac{550nm}{800nm}$
			GI	Simple Ratio 554/677 Greenness Index	$\frac{554nm}{667nm}$
			SR556/750	Simple Ratio 556/750 Chl-b	$\frac{556nm}{750nm}$

ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
SR560/658	Simple Ratio 560/658 GRVIhyper	$\frac{560nm}{658nm}$	SR750/555	Simple Ratio 750/555	$\frac{750nm}{555nm}$
SR605/420	Simple Ratio 605/420	$\frac{605nm}{420nm}$	SR750/700	Simple Ratio 750/700 Gitelson and Merzlyak 2	$\frac{750nm}{700nm}$
SR605/670	Simple Ratio 605/670	$\frac{605nm}{670nm}$	SR750/705	Simple Ratio 750/705	$\frac{750nm}{705nm}$
Ctr3	Simple Ratio 605/760 Carter3	$\frac{605nm}{760nm}$	SR750/710	Simple Ratio 750/710 Zarco-Tejada & Miller (ZM)	$\frac{750nm}{710nm}$
SR672/550	Simple Ratio 672/550 Datt5	$\frac{440nm}{740nm}$	SR752/690	Simple Ratio 752/690	$\frac{752nm}{690nm}$
SR672/708	Simple Ratio 672/708	$\frac{672nm}{708nm}$	Datt3	Simple Ratio 754/704 Datt3	$\frac{754nm}{704nm}$
SR674/553	Simple Ratio 674/553	$\frac{674nm}{553nm}$	RARS	Simple Ratio 760/500 Ratio Analysis of Reflectance Spectra	$\frac{760nm}{500nm}$
SR675/555	Simple Ratio 675/555	$\frac{675nm}{555nm}$	SR760/695	Simple Ratio 760/695	$\frac{760nm}{695nm}$
SR675/700	Simple Ratio 675/700	$\frac{675nm}{700nm}$	SR774/677	Simple Ratio 774/677	$\frac{774nm}{677nm}$
SR675/705	Simple Ratio 675/705	$\frac{675nm}{705nm}$	PSSRc2	Simple Ratio 800/470 Pigment specific simple ratio C2	$\frac{800nm}{470nm}$
SR678/750	Simple Ratio 678/750	$\frac{678nm}{750nm}$	PSSRc1	Simple Ratio 800/500 Pigment specific simple ratio C1	$\frac{800nm}{500nm}$
SR683/510	Simple Ratio 683/510	$\frac{683nm}{510nm}$	SR800/550	Simple Ratio 800/550	$\frac{800nm}{550nm}$
SR685/735	Simple Ratio 685/735	$\frac{685nm}{735nm}$	SR800/600	Simple Ratio 800/600	$\frac{800nm}{600nm}$
FR	Simple Ratio 690/735 Fluorescence ratio	$\frac{690nm}{735nm}$	SR800/635	Simple Ratio 800/635 Pigment Specific Simple Ratio (Cholophyll b) (PSSRb)	$\frac{800nm}{635nm}$
FR2	Simple Ratio 690/740 Fluorescence ratio 2	$\frac{690nm}{740nm}$	PSSRb1	Simple Ratio 800/650 Pigment specific simple ratio B1	$\frac{800nm}{650nm}$
SR694/840	Simple Ratio 694/840	$\frac{694nm}{840nm}$	RVI	Simple Ratio 800/670 Ratio Vegetation Index	$\frac{800nm}{650nm}$
Ctr1	Simple Ratio 695/420 Carter1	$\frac{695nm}{420nm}$	PSSRa1	Simple Ratio 800/675 Pigment specific simple ratio A1	$\frac{800nm}{675nm}$
Ctr5	Simple Ratio 695/670 Carter5	$\frac{605nm}{760nm}$	SR800/680	Simple Ratio 800/680 Pigment Specific Simple Ratio (Cholophyll a) (PSSRa)	$\frac{800nm}{680nm}$
Ctr2	Simple Ratio 695/760 Carter2	$[510]^{(-1)} - [700]^{(-1)}$	SR800/960	Simple Ratio 800/960	$\frac{800nm}{960nm}$
SR695/800	Simple Ratio 695/800	$\frac{695nm}{800nm}$	SR801/550	Simple Ratio 801/550 NIR/Green	$\frac{801nm}{550nm}$
SR700	Simple Ratio 700	$\frac{1}{700nm}$	SR801/670	Simple Ratio 801/670 NIR/Red	$\frac{801nm}{670nm}$
SR700/670	Simple Ratio 700/670	$\frac{700nm}{670nm}$	PBI	Simple Ratio 810/560 Plant biochemical index	$\frac{810nm}{560nm}$
D2	Simple Ratio 705/722	$\frac{705nm}{722nm}$	SR833/658	Simple Ratio 833/658	$\frac{833nm}{658nm}$
SR706/750	Simple Ratio 706/750 Chl-a	$\frac{706nm}{750nm}$	Datt2	Simple Ratio 850/710 Datt2	$\frac{850nm}{710nm}$
SR710/420	Simple Ratio 710/420	$\frac{710nm}{420nm}$	SR860/550	Simple Ratio 860/550	$\frac{860nm}{550nm}$
SR710/670	Simple Ratio 710/670	$\frac{710nm}{670nm}$	SR860/708	Simple Ratio 860/708	$\frac{860nm}{708nm}$
Ctr4	Simple Ratio 710/760 Carter4	$\frac{710nm}{760nm}$	WBI4	Simple Ratio 895/972 Water band index 4	$\frac{895nm}{972nm}$
Vog3	Simple Ratio 715/705 Vogelmann indices 3	$\frac{715nm}{705nm}$	SR900/680	Simple Ratio 900/680	$\frac{900nm}{680nm}$
D1	Simple Ratio 730/706	$\frac{730nm}{706nm}$	WBI3	Simple Ratio 950/900 Water band index	$\frac{950nm}{900nm}$
Vog1hyper	Simple Ratio 740/720 hyper Vogelmann indices 1	$\frac{740nm}{720nm}$			
SR750/550	Simple Ratio 750/550 Gitelson and Merzlyak 1	$\frac{750nm}{550nm}$			

ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
PWI	Simple Ratio 970/900 Plant Water Index, Water Band Index (WBI), Water Index (WI)	$\frac{970\text{nm}}{900\text{nm}}$
WBI	Simple Ratio 970/902 Water band index	$\frac{970\text{nm}}{902\text{nm}}$
SR860/550	Simple Ratio 860/550	$\frac{860\text{nm}}{550\text{nm}}$
SR860/708	Simple Ratio 860/708	$\frac{860\text{nm}}{708\text{nm}}$
WBI4	Simple Ratio 895/972 Water band index 4	$\frac{895\text{nm}}{972\text{nm}}$
SR900/680	Simple Ratio 900/680	$\frac{900\text{nm}}{680\text{nm}}$
WBI3	Simple Ratio 950/900 Water band index	$\frac{950\text{nm}}{900\text{nm}}$
PWI	Simple Ratio 970/900 Plant Water Index, Water Band Index (WBI), Water Index (WI)	$\frac{970\text{nm}}{900\text{nm}}$
WBI	Simple Ratio 970/902 Water band index	$\frac{970\text{nm}}{902\text{nm}}$
SRPI	Simple Ratio Pigment Index	$\frac{430\text{nm}}{680\text{nm}}$
SB1020	Single Band 1020	1020nm
SB1040	Single Band 1040	1040nm
SB430	Single Band 430	430nm
SB460	Single Band 460	460nm
BB3	Single Band 470 Blackburn3	470nm
SR495	Single Band 495	495nm
SB550	Single Band 550	550nm
SB555	Single Band 555	555nm
BB2	Single Band 635 Blackburn2	635nm
SB640	Single Band 640	640nm
SB655	Single Band 655	655nm
SB660	Single Band 660	660nm
SB670	Single Band 670	670nm
SB675	Single Band 675	675nm
BB1	Single Band 680 Blackburn1	680nm
SB700	Single Band 700	700nm
SB703	Single Band 703 Boochs	703nm
SB705	Single Band 705	705nm
SB720	Single Band 720 Boochs2	720nm
SB735	Single Band 735	735nm
SB801	Single Band 801	801nm

ABREVIATURA	ÍNDICE DE VEGETACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
SB850	Single Band 850	850nm
SB885	Single Band 885	885nm
SB910	Single Band 910	910nm
SB930	Single Band 930	930nm
SB970	Single Band 970	970nm
SB990	Single Band 990	990nm
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$\frac{800\text{nm} - 670\text{nm}}{800\text{nm} + 670\text{nm} + L} (1 + L)$
SAVI3	Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index 3	$(1 + 0.5) \frac{833\text{nm} - 658\text{nm}}{833\text{nm} + 658\text{nm} + 0.5}$
SPVI	Spectral Polygon Vegetation Index	$0.4(3.7(800\text{nm} - 670\text{nm}) - 1.2(530\text{nm} - 670\text{nm}))$
SIPI1	Structure Intensive Pigment Index 1	$\frac{800\text{nm} - 445\text{nm}}{800\text{nm} - 680\text{nm}}$
SIPI2	Structure Intensive Pigment Index 2	$\frac{800\text{nm} - 505\text{nm}}{800\text{nm} - 690\text{nm}}$
SIPI3	Structure Intensive Pigment Index 3	$\frac{800\text{nm} - 470\text{nm}}{800\text{nm} - 680\text{nm}}$
TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI	$\frac{3(700\text{nm} - 670\text{nm}) - 0.2(700\text{nm} - 550\text{nm}) \frac{700\text{nm}}{670\text{nm}}}{(1 + 0.16) \frac{800\text{nm} - 670\text{nm}}{800\text{nm} + 670\text{nm} + 0.16}}$
TCARI/OSAVI705	TCARI/OSAVI 705,750	$\frac{3(750\text{nm} - 705\text{nm}) - 0.2(750\text{nm} - 550\text{nm}) \frac{750\text{nm}}{705\text{nm}}}{(1 + 0.16) \frac{750\text{nm} - 705\text{nm}}{750\text{nm} + 705\text{nm} + 0.16}}$
TCARI	Transformed Chlorophyll Absorbtion Ratio	$3((700\text{nm} - 670\text{nm}) - 0.2(700\text{nm} - 550\text{nm}) \frac{700\text{nm}}{670\text{nm}})$
TCARI2	Transformed Chlorophyll Absorbtion Ratio 2	$3((750\text{nm} - 705\text{nm}) - 0.2(750\text{nm} - 550\text{nm}) \frac{750\text{nm}}{705\text{nm}})$
TCI	Triangular chlorophyll index	$1.2(700\text{nm} - 550\text{nm}) - 1.5(670\text{nm} - 550\text{nm}) \cdot \sqrt{\frac{700\text{nm}}{670\text{nm}}}$
TVI'	Triangular Vegetation Index	$0.5(120(750\text{nm} - 550\text{nm}) - 200(670\text{nm} - 550\text{nm}))$
WI/NDVI	WI/NDVI	$\frac{900\text{nm}}{970\text{nm}} \frac{800\text{nm} - 680\text{nm}}{800\text{nm} + 680\text{nm}}$
YI	Yellowness index	$-10 \frac{580\text{nm} - 2624\text{nm} + 668\text{nm}}{44\text{nm}^2}$

Tabla 64. Resumen de los resultados de análisis peciolares de floración de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2015. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	B mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg
161-49C	,64	,16	,22 b	1,9 c	1,0 b	52 bc	35	48	12
140Ru	,73	,23	,22 b	2,4 abc	1,3 a	58 bc	42	42	14
Salt Creek	,73	,17	,23 b	2,4 abc	1,1 ab	55 bc	56	39	13
1613C	,69	,17	,23 b	2,3 abc	1,1 ab	60 abc	49	36	13
Fercal	,67	,21	,23 b	2,6 ab	1,2 ab	60 abc	59	36	13
Gravesac	,77	,22	,24 b	2,4 abc	1,2 ab	55 bc	71	64	14
110R	,69	,22	,25 b	2,2 abc	1,2 ab	54 bc	43	51	12
Freedom	,69	,17	,25 b	2,6 ab	1,3 ab	63 ab	52	43	14
Rupestris	,70	,23	,26 b	2,4 abc	1,2 ab	59 bc	59	43	14
1103P	,67	,21	,27 ab	2,1 abc	1,1 ab	59 bc	54	43	12
5C	,69	,20	,27 ab	2,2 abc	1,1 ab	54 bc	44	49	18
Dog Ridge	,72	,17	,28 ab	2,7 a	1,3 a	60 abc	41	40	17
99R	,68	,22	,28 ab	2,0 bc	1,2 ab	55 bc	41	50	14
5BB	,68	,18	,28 ab	2,3 abc	1,1 ab	53 bc	52	47	11
41B	,70	,19	,30 ab	1,8 c	1,1 ab	50 c	31	49	13
1616C	,71	,20	,35 a	2,4 abc	1,0 ab	71 a	35	52	11
	n.s.	ns.	***	***	**	n.s.	***	n.s.	ns.

Tabla 65. Resumen de los resultados de análisis peciolares de envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2015. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg	Fe mg/kg
Dog Ridge	0,4 c	0,1	0,2 b	3,4 ab	1,7	140 ab	38 b	43	21
5BB	0,4 bc	0,1	0,2 ab	2,4 ab	1,5	144 ab	53 ab	39	19
110R	0,4 abc	0,2	0,2 b	2,7 ab	1,7	169 ab	33 b	48	22
Freedom	0,5 abc	0,1	0,2 b	3,2 ab	1,8	183 ab	41 ab	45	19
5C	0,5 abc	0,1	0,2 ab	2,5 ab	1,5	114 ab	50 ab	40	18
1103P	0,5 abc	0,1	0,2 b	2,0 b	1,4	120 ab	36 b	39	18
1613C	0,5 abc	0,2	0,2 b	3,8 a	1,6	220 ab	64 ab	53	25
99R	0,5 abc	0,2	0,2 ab	2,4 ab	1,7	133 ab	87 a	50	31
Rupestris	0,5 abc	0,1	0,1 b	2,4 ab	1,6	130 ab	47 ab	37	18
1616C	0,5 abc	0,1	0,2 a	3,1 ab	1,6	105 b	57 ab	51	22
Fercal	0,5 abc	0,2	0,2 b	3,0 ab	1,6	237 a	38 b	40	24
140Ru	0,5 abc	0,2	0,2 b	2,3 ab	1,8	157 ab	49 ab	43	23
41B	0,5 abc	0,1	0,2 ab	1,7 b	1,7	107 ab	63 ab	39	20
161-49C	0,5 abc	0,1	0,2 b	2,1 b	1,3	103 b	47 ab	37	22
Salt Creek	0,5 ab	0,1	0,2 b	2,5 ab	1,3	138 ab	41 ab	39	21
Gravesac	0,6 a	0,1	0,2 b	2,5 ab	1,7	196 ab	63 ab	42	20
	**	n.s.	***	**	n.s.	*	*	n.s.	n.s.

Tabla 66. Resumen de los resultados de análisis peciolares de floración de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2016. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	B mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg
161-49C	0,8 c	0,2 d	0,3	2,1 ab	1,0 b	47 b	33 b	24	18
Freedom	0,9 bc	0,2 bcd	0,3	2,4 ab	1,4 a	52 ab	45 ab	20	21
Fercal	0,9 bc	0,3 abcd	0,3	2,5 ab	1,3 ab	51 ab	59 ab	19	18
Dog Ridge	0,9 bc	0,2 cd	0,3	2,4 ab	1,4 a	52 ab	44 ab	23	16
41B	0,9 bc	0,2 bcd	0,3	2,0 b	1,4 a	45 b	43 ab	25	24
1613C	1,0 abc	0,3 abcd	0,4	2,4 ab	1,1 ab	56 ab	52 ab	19	19
Salt Creek	1,0 abc	0,2 abcd	0,3	2,3 ab	1,3 ab	49 b	54 ab	24	21
Rupestis	1,0 abc	0,3 abc	0,3	2,3 ab	1,4 a	51 b	67 a	23	18
5C	1,0 abc	0,3 abc	0,3	2,3 ab	1,2 ab	49 b	43 ab	28	19
99R	1,0 abc	0,3 abc	0,4	2,2 ab	1,3 ab	50 b	41 ab	23	18
140Ru	1,0 abc	0,3 abc	0,3	2,4 ab	1,5 a	52 ab	50 ab	23	19
1103P	1,0 abc	0,3 abc	0,3	2,1 b	1,4 a	50 b	51 ab	20	17
110R	1,0 ab	0,3 ab	0,3	2,2 ab	1,4 a	52 ab	42 ab	21	20
1616C	1,1 ab	0,3 abcd	0,5	2,6 a	1,4 a	65 a	38 ab	21	18
5BB	1,1 ab	0,3 abc	0,4	2,4 ab	1,3 ab	48 b	51 ab	24	18
Gravesac	1,2 a	0,3 a	0,3	2,5 ab	1,5 a	52 ab	61 ab	21	20
Sig.	**	***	n.s.	**	**	**	**	n.s.	n.s.

Tabla 67. Resumen de los resultados de análisis peciolares de envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2016. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg	Fe mg/kg
161-49C	,5	,1 c	,1	2,5 abc	1,2 b	77	41	40	39
1616C	,5	,1 bc	,1	3,3 ab	1,8 ab	98	39	44	29
Freedom	,5	,1 bc	,1	3,3 ab	1,8 a	94	36	41	27
Dog Ridge	,5	,1 bc	,1	3,2 ab	1,7 ab	94	38	38	29
Salt Creek	,5	,1 bc	,1	2,9 abc	1,6 ab	78	41	38	34
5BB	,4	,1 bc	,1	2,8 abc	1,7 ab	75	49	39	29
5C	,5	,1 bc	,1	2,6 abc	1,5 ab	53	54	37	28
41B	,5	,2 abc	,1	2,3 bc	1,9 a	80	37	36	32
Fercal	,5	,2 abc	,1	2,9 abc	1,6 ab	117	38	39	29
1613C	,5	,2 abc	,1	3,4 a	1,5 ab	133	34	43	35
99R	,4	,2 abc	,1	2,2 c	1,6 ab	48	45	38	35
Rupestis	,5	,2 abc	,1	2,5 abc	1,7 ab	75	64	38	28
1103P	,5	,2 abc	,1	2,4 bc	1,7 ab	86	44	38	33
Gravesac	,5	,2 abc	,1	2,7 abc	1,9 a	115	59	39	31
110R	,5	,2 ab	,1	2,8 abc	1,8 a	90	32	41	33
140Ru	,5	,2 a	,1	2,6 abc	1,9 a	90	34	39	31
Sig.	n.s.	***	n.s.	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 68. Análisis peciolares de floración de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N%	P %	K %	Ca %	Mg %	Na mg/kg	B mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg
Freedom	,8 c	,1 c	,2	2,6	1,2 ab	359	35 bcd	61	20	29
161-49C	,8 bc	,1 c	,3	2,4	1,1 ab	442	37 abcd	56	25	31
1613C	,9 abc	,1 bc	,3	2,6	,9 b	469	33 bcd	59	21	51
Dog Ridge	,8 bc	,1 bc	,3	3,0	1,3 a	378	38 abcd	66	21	28
Fercal	,8 bc	,1 abc	,3	2,5	1,1 ab	317	36 bcd	75	20	36
Salt Creek	,9 abc	,1 abc	,3	2,6	1,1 ab	334	34 bcd	61	28	22
41B	,9 abc	,2 abc	,3	2,1	1,3 a	398	35 bcd	71	28	30
Rupestris	,9 abc	,2 abc	,3	2,2	1,1 ab	322	33 bcd	67	20	19
140Ru	1,0 abc	,2 abc	,2	2,1	1,2 ab	302	30 d	46	22	17
1616C	,9 abc	,2 abc	,4	2,8	1,2 ab	473	45 a	54	26	45
110R	,9 abc	,2 abc	,2	2,1	1,0 ab	301	32 cd	46	24	22
5BB	,9 abc	,2 abc	,4	2,7	1,2 ab	352	36 bcd	66	24	24
5C	,9 abc	,2 abc	,3	2,3	1,1 ab	312	34 bcd	49	26	23
99R	1,0 ab	,2 abc	,4	2,3	1,2 ab	402	38 abcd	49	24	27
Gravesac	1,1 a	,2 ab	,3	2,7	1,4 a	344	41 ab	79	27	21
1103P	,9 abc	,2 a	,3	2,5	1,3 a	365	40 abc	68	23	19
Sig.	**	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 69. Resumen de los resultados de análisis peciolares de envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año 2017. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *≤0.05; **≤0.01; ***≤0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca; mg/kg = mg/Kg sms

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg	Fe mg/kg
161-49C	,6 b	,09 bc	,3 ab	3,3 bc	1,5	178	36	27	43
Fercal	,6 b	,10 abc	,2 ab	3,6 abc	1,8	214	53	32	31
Freedom	,6 b	,09 c	,3 ab	3,7 abc	1,9	181	47	30	32
Dog Ridge	,6 b	,09 bc	,4 ab	4,2 a	1,8	178	51	28	41
1103P	,6 b	,14 a	,2 b	3,1 bc	1,8	169	45	30	33
1616C	,6 b	,10 abc	,4 ab	3,8 ab	1,8	164	58	33	35
Rupestris	,6 b	,12 abc	,3 ab	3,1 bc	1,8	155	36	30	33
Salt Creek	,6 b	,10 abc	,3 ab	3,4 bc	1,6	156	50	28	37
5BB	,6 b	,11 abc	,3 ab	3,7 abc	1,8	146	45	28	43
1613C	,6 ab	,11 abc	,4 ab	3,6 abc	1,5	181	45	30	25
140Ru	,6 ab	,13 abc	,2 b	3,1 bc	1,9	143	46	27	28
99R	,6 ab	,12 abc	,4 ab	3,1 c	1,7	117	50	27	38
110R	,6 ab	,12 abc	,2 b	3,2 bc	1,8	175	41	28	34
41B	,6 ab	,14 ab	,3 ab	3,1 bc	2,0	190	46	27	49
5C	,7 ab	,11 abc	,3 a	3,5 bc	1,7	132	45	28	34
Gravesac	,8 a	,14 abc	,2 ab	3,4 bc	1,9	203	60	29	32
Sig.	***	***	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 70. Resumen de las desviaciones medias de los análisis peciolares de macronutrientes floración de Tempranillo sobre 16 portainjertos en **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *** \leq 0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca

	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
161-49C	-12	d	-06	f	-04	bcd	-21	cd	-19	d
Freedom	-07	cd	-05	ef	-03	bcd	,18	abc	,08	abc
Fercal	-07	cd	,00	abcde	-03	bcd	,17	abc	-,01	abcd
Dog Ridge	-04	bcd	-04	def	,00	bcd	,32	a	,13	ab
41B	-02	bcd	-03	bcdef	,02	abcd	-,38	d	,09	abc
1613C	-02	bcd	-02	bcdef	,01	abcd	,07	abc	-,19	d
5C	,00	bcd	,02	abc	,00	bcd	-,07	abcd	-,08	cd
Rupestris	,00	bcd	,01	abcd	-,01	bcd	-,07	abcd	-,01	abcd
Salt Creek	,01	bcd	-,03	cdef	-,03	bcd	,04	abc	-,05	bcd
1616C	,02	bc	,00	abcde	,10	a	,22	ab	-,02	abcd
1103P	,02	bc	,04	a	,00	bcd	-,16	bcd	,05	abc
5BB	,02	bc	,01	abcde	,05	abc	,10	abc	-,03	abcd
110R	,02	bc	,03	abc	-,04	cd	-,21	cd	-,03	abcd
99R	,04	abc	,03	ab	,06	ab	-,19	cd	,00	abcd
140Ru	,06	ab	,03	abc	-,06	d	-,08	abcd	,09	abc
Gravesac	,16	a	,06	a	-,01	bcd	,19	abc	,16	a
	***		***		***		***		***	

Tabla 71. Resumen de las desviaciones medias de los análisis peciolares de micronutrientes en floración de Tempranillo sobre 16 portainjertos en **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. ** \leq 0.01; *** \leq 0.001; n.s.= no significativo). Unidades mg/kg = mg/Kg sms

	Mn mg/kg		Zn mg/kg		B mg/kg		Fe mg/kg	
161-49C	-11,2	c	1,6	ab	-3,0	b	-0,9	
1616C	-9,9	c	2,7	ab	11,8	a	-0,9	
110R	-9,0	c	1,3	ab	-2,0	b	0	
99R	-8,7	c	1,8	ab	-0,6	b	5,2	
5C	-7,0	c	2,6	ab	-2,6	b	-2,8	
140Ru	-6,4	bc	-1,5	ab	-1,5	b	-2,8	
41B	-4,1	bc	3,3	ab	-5,0	b	4	
Dog Ridge	-2,2	bc	-2,5	ab	1,6	b	1	
Freedom	0,1	abc	-3,1	ab	1,4	b	-3	
1613C	0,9	abc	-5,3	b	1,4	b	0	
5BB	3,6	abc	1,3	ab	-2,5	b	-0,2	
Salt Creek	4,6	abc	-0,5	ab	-2,4	b	1,2	
1103P	5,2	abc	-2,1	ab	1,3	b	-1,6	
Rupestris	11,5	ab	-2,7	ab	-0,7	b	-3,1	
Fercal	11,6	ab	-5,4	b	0,8	b	-1,4	
Gravesac	17,9	a	9,1	a	1,2	b	-2,0	
	***		**		***		n.s.	

Tabla 72. Resumen de las desviaciones medias de los análisis peciolares de macronutrientes en envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos en **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *** \leq 0.001). Unidades % sms= % sobre materia seca

	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
Dog Ridge	-,04	c	-,02	bc	,03	ab	,67	a	,07	ab
Freedom	-,03	bc	-,02	bc	-,01	b	,46	ab	,17	a
Fercal	-,02	bc	,00	abc	-,02	b	,20	abc	-,03	abc
5BB	-,02	bc	-,01	abc	,02	ab	,02	bcd	-,03	ab
1103P	-,02	bc	,01	abc	-,02	b	-,42	cd	-,03	abc
Rupestris	-,01	bc	,01	abc	-,02	b	-,25	cd	,01	ab
99R	-,01	bc	,03	a	,03	ab	-,39	cd	-,01	ab
1616C	-,01	bc	-,02	bc	,06	a	,43	ab	,06	ab
5C	,00	bc	-,01	abc	,00	ab	-,11	bcd	-,12	abc
110R	,00	bc	,02	ab	-,02	b	-,07	bcd	,11	ab
1613C	,01	bc	,01	abc	,04	ab	,68	a	-,15	bc
161-49C	,01	bc	-,03	c	-,01	ab	-,33	cd	-,32	c
140Ru	,02	abc	,03	a	-,03	b	-,24	cd	,17	a
41B	,02	abc	,01	abc	,00	ab	-,55	d	,15	a
Salt Creek	,03	ab	-,02	bc	-,02	b	-,01	bcd	-,17	bc
Gravesac	,08	a	,02	abc	-,03	b	-,10	bcd	,16	a
Sig.		**		***		***		***		***

Tabla 73. Resumen de las desviaciones medias de los análisis peciolares de micronutrientes en envero de Tempranillo sobre 16 portainjertos en **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * \leq 0.05; ** \leq 0.01; *** \leq 0.001; n.s.= no significativo). Unidades mg/kg = mg/Kg sms

	Mn mg/kg		Zn mg/kg		B pm		Fe mg/kg
99R	-36	c	14	a	1	abc	2
5C	-35	c	2	ab	-2	abc	16
161-49C	-15	bc	-6	ab	-2	bc	2
Rupestris	-14	bc	2	ab	-2	abc	-7
5BB	-13	bc	2	ab	-2	abc	9
1616C	-12	bc	4	ab	6	a	3
Salt Creek	-11	bc	-3	ab	-2	abc	-2
1103P	-10	bc	-5	ab	-1	abc	-5
41B	-9	bc	2	ab	-3	c	1
140Ru	-5	abc	-4	ab	0	abc	-6
Dog Ridge	2	abc	-5	ab	-1	abc	-3
110R	10	abc	-12	b	2	abc	-3
Freedom	18	abc	-6	ab	1	abc	-7
Gravesac	36	ab	14	a	0	abc	-6
1613C	44	ab	1	ab	5	ab	11
Fercal	54	a	-4	ab	0	abc	-5
Sig.		***		*		**	n.s.

Tabla 74. Interpretación de Rangos de DOP calculados para macro y micronutrientes en peciolo de *Vitis vinifera* L cv. Tempranillo sobre 110R en los estados fenológicos de floración y envero en DOCa Rioja (Romero, 2015)

Nutrientes	Floración			Envero			
	Macro	Bajo	Normal	Alto	Bajo	Normal	Alto
N	<-24,7	-7,1_8,2	>25,2	<-12,3	-4,2_4,0	>14,4	
P	<-22,9	-6,8_6,8	>22,9	<-40,2	-14,6_17,4	>61,6	
K	<-37,6	-15,1_13,2	>52,2	<-49,7	-19,1_19,6	>68,0	
Ca	<-13,6	-4,3_4,4	>15,8	<-15,8	-6,0_5,6	>19,8	
Mg	<-22,3	-7,2_7,8	>28,7	<-29,0	-9,7_10,7	>40,8	
Micro	Bajo	Normal	Alto	Bajo	Normal	Alto	
Fe	<-24,6	-8,3_7,3	>30,4	<-21,1	-7,4_9,8	>33,3	
Mn	<-32,1	-10,0_13,0	>49,3	<-58,1	-21,9_30,8	>146	
Zn	<-34,1	-10,6_10,6	>45,9	<-31,2	-10,3_10,2	>38,7	
B	>-10,9	-2,9_3,6	>13,3	<13,6	-3,7_4,8	>19,6	

Tabla 75. Resumen de la **maduración tecnológica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2015**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001).

	GP (% vol)		pH		ATT (g/l)		A. málico (g/l)		IM	
41B	13,3	b	3,36	d	5,2	a	2,5	a	43	c
Fercal	13,5	ab	3,41	cd	4,2	bc	1,8	bc	55	abc
161-49C	13,6	ab	3,45	bcd	3,6	bc	1,4	c	64	ab
Rupestris	13,8	ab	3,43	bcd	4,3	abc	1,9	abc	55	abc
Salt Creek	13,8	ab	3,52	abc	3,7	bc	1,7	bc	64	ab
Dog Ridge	13,9	ab	3,46	bcd	3,5	bc	1,4	c	67	ab
Freedom	13,9	ab	3,42	cd	4,4	abc	1,8	bc	54	abc
99R	14,0	ab	3,50	abcd	4,2	bc	1,8	bc	58	abc
Gravesac	14,0	ab	3,47	abcd	4,5	ab	2,1	ab	54	bc
5BB	14,1	ab	3,45	bcd	4,2	bc	1,7	bc	57	abc
140Ru	14,1	ab	3,45	bcd	4,2	bc	1,8	bc	58	abc
5C	14,2	ab	3,50	abcd	3,9	bc	1,7	bc	63	abc
1613C	14,7	ab	3,59	ab	3,4	c	1,5	bc	74	a
1103P	14,7	ab	3,42	cd	4,5	ab	1,9	abc	56	abc
110R	14,8	a	3,50	abcd	3,7	bc	1,6	bc	68	ab
1616C	14,8	a	3,62	a	3,9	bc	2,1	ab	65	ab
Sig.		*		***		***		***		**

Tabla 76. Resumen de la **maduración tecnológica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2016**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001)

	GP (%vol)		pH		ATT (g/l)		A.málico (g/l)		I.M.	
161-49C	12,1	c	3,49	b	2,5	c	,6	b	84	ab
Fercal	12,7	bc	3,46	b	3,4	ab	1,0	ab	65	bc
41B	12,9	bc	3,42	b	3,6	ab	1,2	ab	60	c
Rupestris	12,9	bc	3,49	b	3,4	ab	1,1	ab	65	bc
Salt Creek	13,1	bc	3,54	ab	3,2	abc	1,2	ab	70	abc
99R	13,3	bc	3,50	b	3,4	ab	1,1	ab	67	bc
5BB	13,4	b	3,49	b	3,5	ab	1,1	ab	65	c
140Ru	13,4	b	3,50	b	3,3	ab	1,1	ab	69	abc
5C	13,4	b	3,45	b	3,8	a	1,3	a	60	c
DogRidge	13,6	ab	3,46	b	3,1	abc	,9	ab	74	abc
Gravesac	13,6	ab	3,53	ab	3,5	ab	1,2	ab	66	bc
1613C	13,6	ab	3,52	ab	3,1	abc	,9	ab	76	abc
1103P	13,6	ab	3,46	b	3,8	a	1,3	a	62	c
Freedom	13,6	ab	3,49	b	3,2	abc	1,0	ab	73	abc
110R	13,9	ab	3,49	b	3,4	ab	1,1	ab	69	abc
1616C	14,7	a	3,71	a	2,9	bc	1,3	a	86	a
Sig.		***		**		***		*		***

Tabla 77. Resumen de la **maduración tecnológica** del Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001).

	GP (%vol)		pH		ATT (g/l)		A.málico (g/l)		IM	
Fercal	13,7	d	3,48	c	4,4	ab	1,8	ab	53	bc
161-49C	13,8	cd	3,53	bc	3,5	c	1,3	b	68	a
41B	14,2	bcd	3,48	c	4,9	a	2,2	a	49	c
99R	14,2	bcd	3,58	bc	4,5	ab	2,0	a	54	bc
SaltCreek	14,3	abcd	3,59	ab	4,1	bc	1,9	ab	59	abc
DogRidge	14,4	abcd	3,59	ab	4,2	abc	2,0	a	58	abc
5C	14,4	abcd	3,56	bc	4,3	abc	1,9	ab	58	abc
5BB	14,5	abcd	3,55	bc	4,6	ab	2,1	a	54	bc
Gravesac	14,5	abc	3,55	bc	4,4	ab	1,8	ab	56	abc
Rupestris	14,6	abc	3,56	bc	4,6	ab	2,2	a	54	bc
140Ru	14,6	abc	3,56	bc	4,6	ab	2,1	a	54	bc
Freedom	14,6	ab	3,57	bc	4,2	abc	1,8	ab	59	abc
1103P	14,7	ab	3,54	bc	4,6	ab	2,0	a	55	bc
110R	14,8	ab	3,55	bc	4,3	ab	2,0	a	59	abc
1616C	15,0	ab	3,63	ab	4,1	bc	1,8	ab	63	ab
1613C	15,1	a	3,68	a	4,0	bc	1,9	ab	65	ab
Sig.		***		***		***		**		***

Tabla 78. Resumen de la **maduración tecnológica** del Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. *** \leq 0.001; n.s.= no significativo).

	GP (%vol)		pH		ATT (g/l)		A.málico (g/l)		IM	
161-49C	13,2	c	3,49	bcd	3,2	c	1,1	b	72	ab
Fercal	13,3	c	3,45	cd	4,0	abc	1,6	ab	58	cd
41B	13,5	bc	3,42	d	4,6	a	2,0	a	51	d
SaltCreek	13,7	bc	3,55	bc	3,6	bc	1,6	ab	65	abc
Rupestris	13,7	bc	3,50	bcd	4,1	abc	1,7	ab	58	cd
99R	13,8	abc	3,53	bc	4,0	abc	1,6	ab	60	abcd
DogRidge	13,9	abc	3,50	bcd	3,6	bc	1,4	ab	66	abc
5BB	14,0	abc	3,50	bcd	4,1	abc	1,6	ab	59	abcd
5C	14,0	abc	3,51	bcd	4,0	abc	1,6	ab	60	abcd
Gravesac	14,0	abc	3,51	bcd	4,1	ab	1,7	ab	58	bcd
Freedom	14,0	abc	3,49	bcd	3,9	abc	1,5	ab	62	abcd
140Ru	14,1	abc	3,50	bcd	4,0	abc	1,7	ab	60	abcd
1103P	14,4	ab	3,47	bcd	4,3	ab	1,7	ab	57	cd
1613C	14,4	ab	3,58	ab	3,5	bc	1,4	ab	71	abc
110R	14,5	ab	3,51	bcd	3,8	abc	1,5	ab	65	abc
1616C	14,9	a	3,67	a	3,6	bc	1,8	ab	72	a
Sig.	***		***		***		n.s.		***	

Tabla 79. Resumen de las **desviaciones de la maduración tecnológica** del Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015-2016-2017**. Se indican las medias de las desviaciones al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test de Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. ***= $<$ 0.001).

	GP (%vol)		pH		ATT (g/l)		A. málico (g/l)		IM	
161-49C	-0,8	g	-0,02	cde	-0,7	f	-0,5	d	10	ab
Fercal	-0,7	fg	-0,06	de	0,1	bcde	0,0	bc	-4	cd
41B	-0,5	efg	-0,09	e	0,7	a	0,4	a	-11	d
Salt Creek	-0,2	defg	0,04	bc	-0,3	cdef	0,0	bc	3	abc
Rupestris	-0,2	cdefg	-0,01	bcde	0,2	abcd	0,1	abc	-4	cd
99R	-0,1	bcdefg	0,02	bcd	0,1	bcde	0,0	abc	-2	cd
Dog Ridge	0,0	bcdef	-0,01	bcd	-0,3	cdef	-0,2	bcd	5	abc
5BB	0,0	bcde	-0,02	bcde	0,2	bcd	0,0	abc	-3	cd
5C	0,1	bcde	-0,01	bcd	0,1	bcde	0,0	abc	-2	cd
Gravesac	0,1	bcde	0,00	bcd	0,2	abc	0,1	abc	-3	cd
Freedom	0,1	bcde	-0,02	cde	0,0	bcde	-0,1	bc	0	bc
140Ru	0,1	bcde	-0,01	bcd	0,1	bcde	0,1	abc	-1	cd
1103P	0,4	abcd	-0,04	cde	0,4	ab	0,1	abc	-4	cd
1613C	0,5	abc	0,07	b	-0,4	ef	-0,2	cd	9	ab
110R	0,5	ab	0,00	bcd	-0,1	bcde	-0,1	bc	4	abc
1616C	0,9	a	0,16	a	-0,3	def	0,2	ab	10	a
Sig.	***		***		***		***		***	

Tabla 80. Resumen de los parámetros de la **maduración fenólica** de Tempranillo sobre 15 portainjertos en el año **2015**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; n.s.= no significativo).

	AP (mg/l)	AFE (mg/l)	K (mg/l)	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep
140Ru	1591 b	832	1128 ab	11,6	30	18	11	44	36
161-49C	1623 b	769	855 b	9,5	29	17	12	53	40
Rupestris	1662 b	1098	1077 ab	13,2	36	24	5	31	20
Fercal	1721 ab	805	953 ab	10,6	31	18	14	52	44
110R	1992 ab	1292	1425 a	14,7	30	28	2	32	5
Freedom	2007 ab	1129	940 ab	13,6	30	25	7	44	22
5C	2056 ab	962	1372 ab	14,0	35	21	12	53	36
1103P	2061 ab	1001	1209 ab	12,6	30	22	8	52	25
5BB	2095 ab	1024	1088 ab	13,3	33	23	13	50	37
41B	2184 ab	1146	1103 ab	11,3	36	25	4	48	15
Dog Ridge	2248 ab	1112	1042 ab	16,4	31	24	13	51	34
99R	2347 ab	1007	1052 ab	12,5	37	22	13	56	38
Gravesac	2350 ab	1090	1276 ab	12,8	29	24	6	54	19
Salt Creek	2366 ab	1214	1167 ab	14,3	40	27	9	48	25
1613C	2878 ab	1558	1329 ab	19,0	40	34	6	46	12
1616C	3035 a	1563	1366 ab	17,6	29	34	6	49	11
Sig.	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 81. Parámetros de la **maduración fenólica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2016**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001 ; n.s.= no significativo).

	AP (mg/l)	AFE (mg/l)	K (mg/l)	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep
Fercal	1213 b	483 b	738 b	7,4 b	20 b	11 b	10	60	47
41B	1294 ab	546 b	869 ab	8,2 b	21 b	12 b	9	58	42
110R	1323 ab	609 b	786 b	8,7 b	24 ab	13 b	11	54	44
5C	1336 ab	566 b	842 ab	6,9 b	23 b	12 b	10	56	45
5BB	1420 ab	575 b	845 ab	7,8 b	23 b	13 b	10	59	44
Freedom	1436 ab	486 b	879 ab	7,9 b	22 b	11 b	12	65	53
161-49C	1493 ab	675 ab	734 b	10,3 ab	26 ab	15 ab	11	54	42
DogRidge	1535 ab	626 b	881 ab	9,1 ab	25 ab	14 b	11	59	44
SaltCreek	1578 ab	684 ab	798 b	8,7 b	24 ab	15 ab	9	55	35
140Ru	1586 ab	557 b	832 ab	8,4 b	24 ab	12 b	11	64	48
Gravesac	1599 ab	541 b	866 ab	8,3 b	22 b	12 b	10	65	47
Rupestris	1631 ab	562 b	765 b	7,7 b	21 b	12 b	9	65	41
99R	1670 ab	637 b	850 ab	8,8 ab	23 b	14 b	9	62	38
1613C	1848 ab	752 ab	860 ab	10,7 ab	27 ab	16 ab	11	57	39
1103P	1876 ab	686 ab	847 ab	9,2 ab	25 ab	15 ab	10	64	40
1616C	2063 a	1000 a	1177 a	15,3 a	31 a	22 a	9	51	29
Sig	*	***	*	*	**	***	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 82. Resumen de los parámetros de la **maduración fenólica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en el año **2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (* ≤ 0.05 ; *** ≤ 0.001 ; n.s.= no significativo).

	AP (mg/l)	AFE (mg/l)	K (mg/l)	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep
Fercal	1554 b	757 c	1158 bc	12,9	29	17 c	13	50	43
41B	1576 ab	800 bc	1343 abc	14,0	33	17 bc	15	48	46
Salt Creek	1933 ab	838 bc	1271 bc	14,2	33	18 bc	15	56	45
1103P	2235 ab	856 bc	1363 abc	12,5	33	19 bc	14	62	43
161-49C	1680 ab	866 bc	1104 c	10,7	39	19 bc	20	47	51
140Ru	2300 ab	909 abc	1352 abc	13,6	33	20 abc	13	60	40
Rupestris	2211 ab	935 abc	1389 abc	14,9	33	20 abc	13	58	38
Dog Ridge	2013 ab	1011 abc	1479 ab	11,7	34	22 abc	12	49	35
Gravesac	1891 ab	1027 abc	1227 bc	15,4	34	22 abc	12	45	34
Freedom	1882 ab	1049 abc	1385 abc	17,2	39	23 abc	16	43	41
5BB	2170 ab	1092 abc	1396 abc	13,3	35	24 abc	11	49	31
1616C	2088 ab	1114 ab	1498 ab	17,0	39	24 ab	15	46	38
110R	2241 ab	1140 ab	1255 bc	17,3	41	25 ab	16	49	39
5C	2491 a	1140 ab	1276 bc	13,6	35	25 ab	10	54	28
1613C	2342 ab	1234 a	1658 a	16,3	40	27 a	13	47	32
99R	2157 ab	1249 a	1417 abc	15,4	40	27 a	13	40	31
Sig	*	***	***	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 83. Resumen de los parámetros de la **maduración fenólica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; n.s.= no significativo).

	AP (mg/l)	AFE (mg/l)	K (mg/l)	IC	IPT	dTpell	dTpep	EA	Mpep
Fercal	1496 c	682 b	950 b	10,3	27	15 b	12	54	45
161-49C	1599 bc	770 b	898 b	10,2	31	17 b	14	51	44
41B	1685 bc	831 ab	1105 ab	11,2	28	18 ab	9	51	34
Freedom	1775 abc	888 ab	1068 ab	12,9	31	19 ab	12	51	39
140Ru	1826 abc	766 b	1104 ab	11,2	29	17 b	12	56	41
Rupestris	1835 abc	865 ab	1077 ab	11,9	28	19 ab	9	51	33
110R	1852 abc	1014 ab	1155 ab	13,6	32	22 ab	9	45	29
5BB	1895 abc	897 ab	1110 ab	11,5	31	20 ab	11	52	37
Dog Ridge	1932 abc	916 ab	1134 ab	12,4	32	20 ab	12	53	37
Gravesac	1946 abc	886 ab	1123 ab	12,1	29	19 ab	9	55	33
Salt Creek	1959 abc	912 ab	1079 ab	12,4	31	20 ab	11	53	35
5C	1961 abc	889 ab	1163 ab	11,5	30	20 ab	11	54	36
1103P	2057 abc	848 ab	1140 ab	11,5	29	19 ab	11	59	36
99R	2058 abc	964 ab	1106 ab	12,2	33	21 ab	12	53	36
1613C	2271 ab	1142 ab	1229 ab	15,6	35	25 ab	10	50	30
1616C	2480 a	1266 a	1400 a	16,4	37	28 a	9	49	24
Sig	**	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 84. Resumen de las **desviaciones de los parámetros de la maduración fenólica** de Tempranillo sobre 16 portainjertos en los años **2015-2016-2017**. Se indican las medias al lado de cada portainjerto y los subconjuntos para alfa 0.05 según el test Tukey. Se indican los niveles de significación del ANOVA (Sig. ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001 ; n.s.= no significativo).

	AP (mg/l)	AFE (mg/l)	K (mg/l)	IC	IPT	dpell	dpep	EA	Mpep
Fercal	-419 c	-225 d	-164 cd	-2,1 b	-4 c	-5 d	1	2	9
161-49C	-317 c	-136 cd	-216 d	-0,7 ab	1 abc	-3 cd	4	-1	9
41B	-231 bc	-76 bcd	-9 bcd	-1,2 ab	-3 c	-2 bcd	-2	-2	-2
Freedom	-141 bc	-18 bcd	-46 bcd	0,5 ab	0 abc	0 bcd	1	-2	3
140Ru	-90 bc	-140 cd	-10 bcd	-1,2 ab	-2 c	-3 cd	1	4	6
Rupestris	-81 bc	-41 bcd	-37 bcd	-0,5 ab	-3 c	-1 bcd	-2	-1	-3
110R	-63 bc	107 abc	41 abc	1,2 ab	1 abc	2 abc	-2	-8	-6
5BB	-21 abc	-9 bcd	-4 bcd	-0,9 ab	0 abc	0 bcd	0	0	2
Dog Ridge	16 abc	10 bcd	20 bcd	0,0 ab	1 abc	0 bcd	1	0	2
Gravesac	31 abc	-20 bcd	9 bcd	-0,2 ab	-2 bc	0 bcd	-2	2	-2
Salt Creek	43 abc	6 bcd	-36 bcd	0,0 ab	0 abc	0 bcd	0	1	-1
5C	46 abc	-17 bcd	49 abc	-0,9 ab	0 bc	0 bcd	0	2	1
1103P	142 abc	-58 bcd	25 bcd	-0,9 ab	-2 bc	-1 bcd	0	7	0
99R	143 abc	58 abcd	-8 bcd	-0,1 ab	2 abc	1 abcd	1	0	0
1613C	356 ab	235 ab	115 ab	3,2 a	5 ab	5 ab	0	-3	-6
1616C	564 a	360 a	286 a	4,0 a	6 a	8 a	-2	-4	-12
Sig.	***	***	***	**	***	***	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla 84b. Parámetros analíticos de control de los vinos de Tempranillo sobre 16 portainjertos en 2015, 2016 y 2017.

	2015					2016					2017				
	Volatil g/l acético	Sulfuro so libre mg/l	Sulfuro so total mg/l	Azucar es reduc tores	Acido L málico g/L	Volatil g/l acético	Sulfuro so libre mg/l	Sulfuro so total mg/l	Azucar es reduc tores	Acido L málico g/L	Volatil g/l acético	Sulfuro so libre mg/l	Sulfuro so total mg/l	Azucar es reduc tores	Acido L málico g/L
1103 P	0,43	33	53	<1	<0,2	0,51	22	67	<1	<0,2	0,5	29	41	1,2	<0,2
110 R	0,45	24	39	<1	<0,2	0,48	22	69	<1	<0,2	0,55	26	44	1,1	<0,2
140 Ru	0,53	33	52	<1	<0,2	0,49	21	64	<1	<0,2	0,6	20	47	1	<0,2
1613 C	0,53	32	45	<1	<0,2	0,49	25	70	<1	<0,2	0,52	34	40	1,3	<0,2
161-49 C	0,43	20	45	<1	<0,2	0,56	17	61	<1	<0,2	0,4	21	45	1,1	<0,2
1616C	0,44	33	46	<1	<0,2	0,58	31	61	<1	<0,2	0,61	22	35	1,1	<0,2
41-B	0,41	30	55	<1	<0,2	0,39	20	78	<1	<0,2	0,51	20	44	1	<0,2
5 BB	0,51	29	38	<1	<0,2	0,46	24	63	<1	<0,2	0,52	33	50	1,2	<0,2
5 C	0,44	20	48	<1	<0,2	0,53	25	64	<1	<0,2	0,6	20	42	1,2	<0,2
99 R	0,46	31	50	<1	<0,2	0,48	23	72	<1	<0,2	0,5	25	41	1,1	<0,2
Dog Ridge	0,5	24	38	<1	<0,2	0,53	15	74	<1	<0,2	0,52	13	32	1	<0,2
Fercal	0,47	24	45	<1	<0,2	0,53	13	52	<1	<0,2	0,55	11	48	1	<0,2
Freedom	0,42	24	47	<1	<0,2	0,44	21	59	<1	<0,2	0,47	28	34	1,2	<0,2
Gravesac	0,48	28	44	<1	<0,2	0,52	25	60	<1	<0,2	0,53	34	47	1,2	<0,2
Rupestris	0,48	24	45	<1	<0,2	0,5	21	65	<1	<0,2	0,49	30	41	1,3	<0,2
Salt Creek	0,48	18	45	<1	<0,2	0,59	23	67	<1	<0,2	0,59	<10	15	1	<0,2

Tabla 85. Gráfico global correlaciones de Pearson entre parámetros vitícolas, nutricionales e IV radiométricos

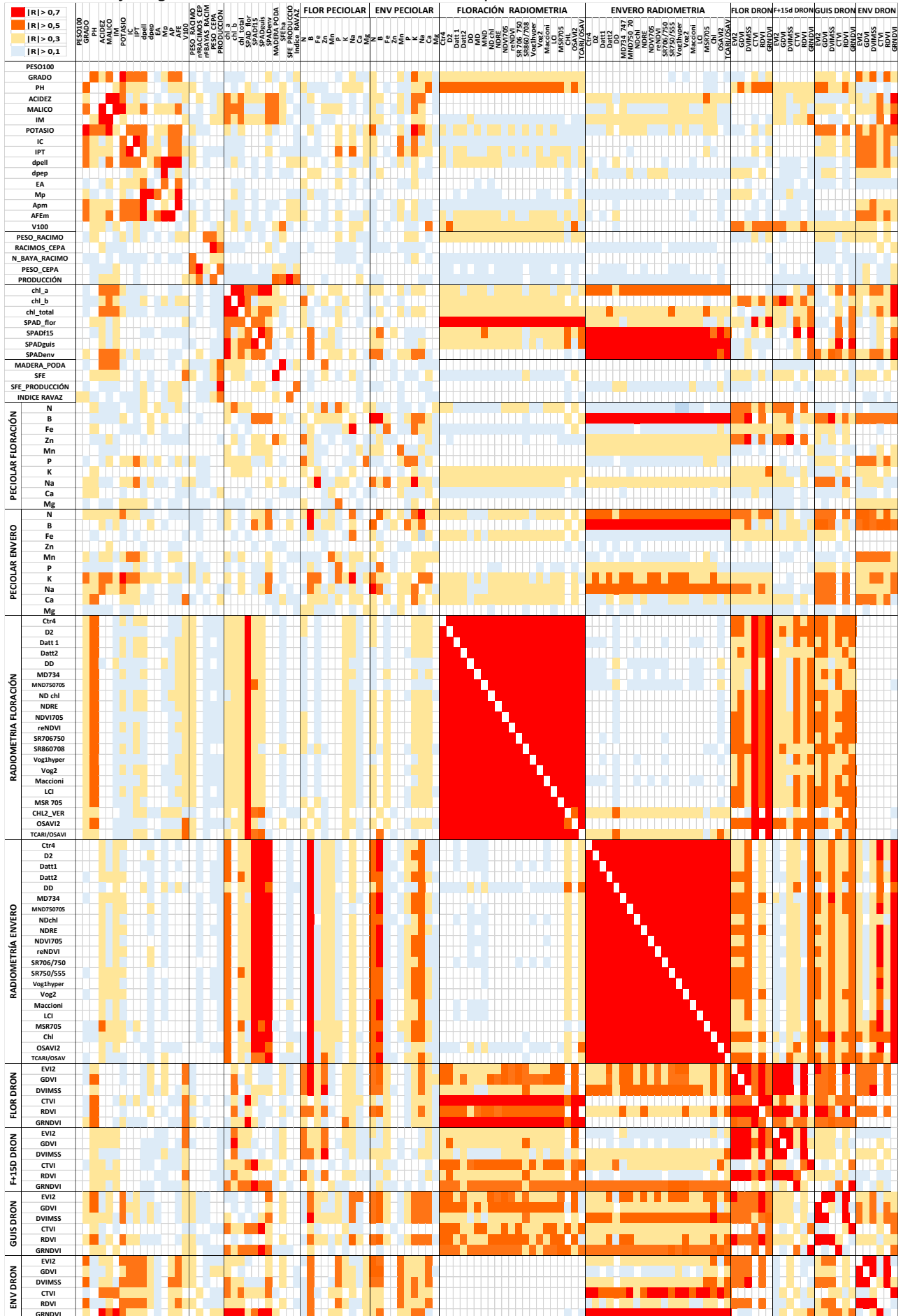


Figura 139. Gráficas de las firmas espectrales de Tempranillo sobre 16 portainjertos en diferentes meses de la evolución del viñedo experimental

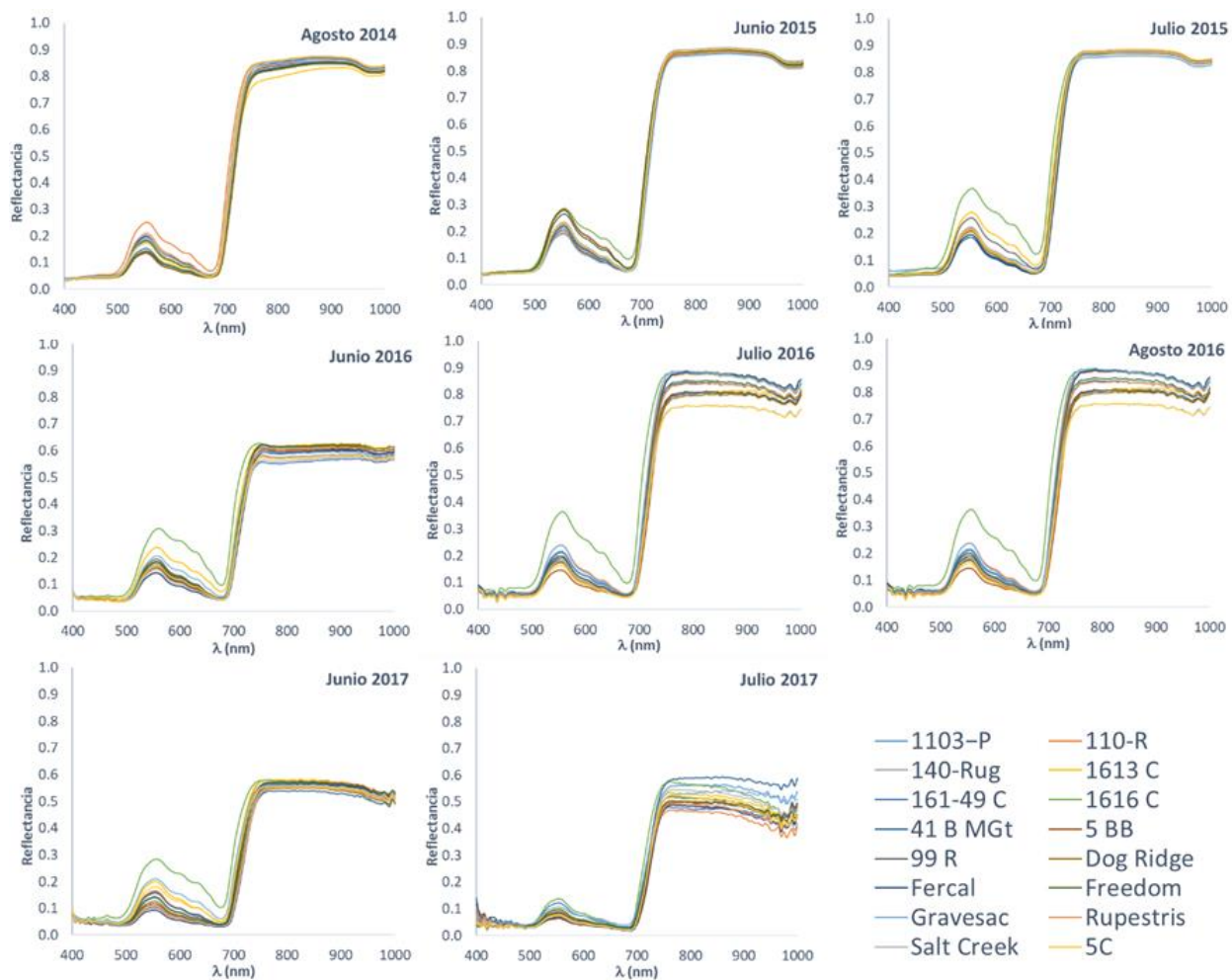


Figura 140. Gráficas de la evolución temporal de las firmas espectrales de Tempranillo sobre 16 portainjertos

