



**universidad
de león**

TESIS DOCTORAL

**INFLUENCIA DEL RÉGIMEN HÍDRICO EN EL
COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO, AGRONÓMICO Y
DE CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN EN CULTIVOS
MEDITERRÁNEOS**

David Santos Barreales

Programa de Doctorado en Ingeniería de Biosistemas

Tutora:

Alicia Lorenzana de la Varga

Dirigida por:

Dr. António Castro Ribeiro

Dr. Pedro António Casquero Luelmo

Dr. Albino António Bento

León, 2023



**universidad
de león**

TESIS DOCTORAL

**WATER REGIME INFLUENCE ON THE
PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC BEHAVIOR AND
PRODUCTION QUALITY OF MEDITERRANEAN CROPS**

David Santos Barreales

Programa de Doctorado en Ingeniería de Biosistemas

Tutora:

Alicia Lorenzana de la Varga

Dirigida por:

Dr. António Castro Ribeiro

Dr. Pedro António Casquero Luelmo

Dr. Albino António Bento

León, 2023

«El éxito es la capacidad de ir de fracaso en fracaso sin perder el entusiasmo.»

(Winston Churchill)





UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



Centro de Investigação de Montanha



Associate Laboratory for Sustainability and Technology in Mountain Regions



universidad de león



David Santos Barreales received financial support through the Ph.D. grant SFRH/BD/139393/2018 and COVID/BD/152770/2023 by the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal). The facilities, logistical, and financial supports were supported by the FCT for financial support by national funds FCT/MCTES to CIMO (UIDB/00690/2020) unit and to the Associate Laboratory SusTEC (LA/P/0007/2020); and to the research projects: PDR2020-101-030987 “EGIS: Estratégias para uma gestão integrada do solo e da água em espécies produtoras de frutos secos”; PDR2020-101-031481; “*VitisHidri*: Estratégias para a gestão do stress hídrico da vinha no Douro Superior” and PTDC/AAG-MAA/3335/2014 *DOUROZONE*: Ozone risk for Douro’s vineyards in present and future climates.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincera gratitud y aprecio a todas las personas que de una u otra forma me tienen ayudado en la investigación y realización de esta tesis:

En primer lugar quisiera agradecer al orientador principal, el Dr. António Castro Ribeiro, por su apoyo, sus conocimientos transmitidos, paciencia y total confianza tanto en los trabajos de campo y laboratorio como en la redacción de los artículos y la tesis.

En segundo lugar a mis otros dos orientadores, Dr. Albino Bento y Dr. Pedro Casquero por su apoyo y ayuda constante.

A todos los coautores que figuran en alguno de los artículos de esta tesis: Dr. José Alberto Pereira, Dra. Susana Casal, Dra. Rebeca Cruz, Dra. Lillian Barros, Dra. Ângela Fernandes, Dr. Ricardo Malheiro, Dr. João Verdial y Susana Capitão. Muchas gracias a todos por haber dedicado tiempo, trabajo y esfuerzo para que esta tesis fuese realizada.

A amigos y compañeros de trabajo que me han ayudado y transmitido todo su apoyo continuamente: Jacinto Benhadi-Marín, Ana Santos, Pedro Esteves, Ana Paula Gonçalves, Filipe Lema, Paulo Ferro, Nuno Moredo, Manuel Ângelo Rodrigues, Elsa Ramalhosa, Soraia Raimundo, Juan Ángel Robles Llamazares, José Ferrero, Derizan Oliveira, Renan Lack, Tino Pinheiro,...y un gran etc.

Agradecer también a la Quinta do Romeu (Soc. Clemente Menéres Lda.) y a la Cooperativa Agrícola de Alfândega da Fé, Crl., por prestar sus campos y apoyarnos en la realización de los experimentos.

Finalmente, agradezco de forma especial a mis padres, a mi hermano y a mis abuelos por su empeño en hacerme cruzar las puertas necesarias para convertirme en lo que soy, por enseñarme que lo imposible no existe y que con esfuerzo y dedicación todo se consigue. A Luana, a minha namorada, por ter toda a paciência do mundo comigo e dar-me o seu apoio, dedicação, amor e carinho. Ao Bernardo, que chegou a minha vida faz poucos meses mas deu um grande cambio a tudo o que sou.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XVII
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	XX
CHAPTER 1.....	1
Presentación, organización y objetivos.....	1
1.1. Presentación, organización y objetivos de la tesis	2
1.1.1. Revisión bibliográfica	2
1.1.2. Respuesta fisiológica y agronómica del almendro al riego deficitario regulado y a la aplicación foliar de caolino.....	2
1.1.3. Efectos del riego deficitario regulado, del riego deficitario sostenido y de la aplicación foliar de caolino sobre la composición físico química de la almendra....	3
1.1.4. Efecto del riego deficitario sobre la composición bioquímica y la capacidad antioxidante de hojas de vid, y sobre la composición química de semillas de uva... 3	
1.1.5. Integración de los resultados, conclusiones generales y perspectivas futuras	4
1.2. Resumen de las publicaciones	5
CHAPTER 2.....	7
Introducción general	7
2.1. Importancia del cultivo del almendro	8
2.2. Importancia del cultivo de la vid	9
2.3. Desafíos de la agricultura mediterránea en la actualidad.....	12
2.4. Alteraciones climáticas	14
2.5. Estrategias para prevenir y mitigar los efectos del estrés estival.....	15
2.6. Riego deficitario	19
2.6.1. Introducción	19
2.6.2. Particularidades del riego deficitario en almendro.....	20

2.6.3. Efectos del riego deficitario en la productividad y la calidad de almendra ..	24
2.6.4. Particularidades del riego deficitario en viñedo.....	28
2.6.5. Efectos del riego deficitario en la productividad y la calidad de la uva.....	32
2.7. Caolino.....	33
2.7.1. Introducción	33
2.7.2. Efectos del caolino en el estado hídrico y la actividad fisiológica.....	34
2.7.3. Efectos del caolino en la productividad y la calidad de los frutos	36
2.8. Subproductos vitivinícolas.....	37
2.8.1. Introducción	37
2.8.2. Tipos y usos.....	38
2.8.3. Efectos del régimen hídrico sobre la composición química y la bioactividad de los subproductos vitivinícolas	43
CHAPTER 3.....	47
Adapting almond production to climate change through deficit irrigation and foliar kaolin application in Mediterranean climate.....	47
CHAPTER 4.....	50
Effects of regulated deficit irrigation and kaolin foliar application on nut quality parameters of almond [<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) DA Webb]	50
CHAPTER 5.....	53
Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition.....	53
CHAPTER 6.....	56
Response of irrigation and collected moment on grapevine leaf (<i>Vitis vinifera</i> L. var. Touriga Nacional): evaluation of phytochemical composition and antioxidant properties.....	56
CHAPTER 7.....	59
Effects of deficit irrigation on the chemical composition of grapevine seeds.....	59
CHAPTER 8.....	62

Conclusiones y perspectivas futuras	62
8.1. Conclusiones	63
8.2. Conclusions.....	66
8.3. Perspectivas futuras	69
REFERENCES	73

RESUMEN

El almendro [*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb] y la vid (*Vitis vinifera* L.) son dos de los cultivos perennes más importantes de la cuenca mediterránea, sobre todo en los dos países que forman la Península Ibérica, España y Portugal. Estos dos cultivos suponen un gran valor económico en las regiones rurales donde están implantados y al mismo tiempo la transformación de su producción, bien sea del tratamiento industrial de las almendras o de la elaboración de vino, genera una importante actividad económica, asociada a numerosos puestos de trabajo de forma directa e indirecta. Aunque tanto el almendro como la vid están perfectamente adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la región Mediterránea, en los últimos años las alteraciones climáticas han supuesto un nuevo hándicap para la rentabilidad de ambos y las predicciones de cambio climático para un futuro cercano no son favorables, dado que se prevé una disminución de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas. Por lo tanto, en la actualidad se están buscando e implementando estrategias para mitigar los efectos negativos del estrés hídrico, las elevadas temperaturas y la alta radiación solar de los veranos mediterráneos. El riego es una de las mejores estrategias para mitigar los problemas asociados al clima estival, pero la escasez de agua y el elevado coste de las infraestructuras para la implantación del mismo hacen que su utilización sea limitada. Por este motivo, otras estrategias de mitigación como la aplicación foliar de reflectantes como el caolino están siendo investigadas.

Los principales objetivos de esta tesis fueron evaluar los efectos de diferentes estrategias de riego deficitario y de la aplicación foliar de caolino sobre la actividad fisiológica y la productividad en almendros cultivados en el noreste de Portugal y al mismo tiempo evaluar la influencia de estas técnicas de riego deficitario en diferentes parámetros de calidad de las almendras producidas. Así, estas estrategias de riego deficitario y aplicación foliar de caolino fueron aplicadas en tres cvs. de almendro diferentes, Ferragnès, Vario y Constantí, en dos experimentos de campo distintos, para poder estudiar también las diferencias de comportamiento entre ellas.

En lo que respecta al viñedo, como ya existen multitud de estudios que han evaluado los efectos del riego deficitario sobre la fisiología de la vid y la calidad de las

uvas y vinos, se centró el foco en el aprovechamiento de los sub-productos del sector vitivinícola para fomentar la sustentabilidad y al mismo tiempo buscar un valor añadido. Como el riego deficitario es una técnica bastante extendida durante los últimos años en la viticultura de la Península Ibérica, es importante conocer los efectos de diferentes regímenes hídricos sobre la composición fisicoquímica y bioquímica, así como la capacidad antioxidante de los sub-productos. Por lo tanto, fueron evaluados los efectos de diferentes regímenes hídricos sobre dos sub-productos, las hojas de vid y las semillas de uva. Para ello se realizaron dos experimentos de campo diferentes situados en la Región Demarcada del Duero (Portugal).

Los almendros bajo riego deficitario regulado durante la fase de llenado del grano presentaron un mayor nivel de estrés hídrico pero con bajas repercusiones sobre su actividad fisiológica. En cuanto a la productividad acumulada durante tres años de experimento, los dos cv. evaluados mostraron diferente respuesta. Por un lado, el cv. Constantí no presentó reducción significativa de su productividad cuando se aplicó riego deficitario regulado frente al tratamiento de riego pleno, por el contrario, el cv. Vairo sí que presentó una reducción significativa. Como era de esperar el riego deficitario sostenido mejoró la productividad del cv Ferragnès en comparación con almendros en secano y no presentó reducciones de productividad significativas cuando la reducción del riego deficitario fue moderada (70% ETc). La aplicación foliar de caolino no mostró efectos en la productividad ni en la actividad fisiológica en los dos experimentos de campo en los que fue evaluado. De forma general, los parámetros de calidad de las almendras que fueron evaluados (características morfológicas, color, composición nutricional, composición de ácidos grasos, tocoferoles, tocotrienoles y composición volátil) no se vieron negativamente afectados cuando se aplicaron diferentes estrategias de riego deficitario ni caolino.

Las hojas de vid presentaron una elevada concentración de compuestos fenólicos lo que se correlacionó con alta capacidad antioxidante. En este sentido, el aumento de la cantidad de agua aportada por el riego deficitario provocó una disminución en la concentración de este tipo de compuestos. Las hojas recogidas durante el estado fenológico de envero fueron las que presentaron una riqueza mayor en compuestos fenólicos. El riego deficitario provocó una reducción del porcentaje en peso de semillas dentro del peso total de las uvas. Las semillas de uva presentaron un elevado contenido

en aceite con altos contenidos en ácidos grasos polinsaturados, tocoferoles y tocotrienoles, destacando que el riego deficitario aumento la concentración de los tocoferoles totales y disminuyó la de tocotrienoles.

En conclusión, las diferentes estrategias de riego deficitario implementadas en los experimentos de almendro dieron resultados favorables, en cuanto a la respuesta fisiológica, al aumento de la productividad cuando fueron comparadas con almendros en secano y produjeron un ahorro de agua importante sin perjudicar significativamente a la productividad cuando se evaluaron con almendros bajo riego pleno. La calidad de las almendras no se vio reducida por la aplicación de riego deficitario ni caolino, incluso mejoró para algunos parámetros, como los tocoferoles y la concentración de compuestos volátiles. Las hojas y semillas de vid pueden ser dos sub-productos de la industria vitivinícola con valor añadido en los cuales el régimen hídrico tiene gran influencia sobre su composición física, química y bioquímica.

Palabras clave: riego deficitario, caolino, *Prunus dulcis* Mill, *Vitis vinifera* L., valorización de subproductos.

ABSTRACT

The almond tree [*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb] and the grapevine (*Vitis vinifera* L.) are two of the most important perennial crops in the Mediterranean basin, especially in the two countries that make up the Iberian Peninsula, Spain and Portugal. These two crops represent great economic value in the rural regions where they are established, and the transformation industries (e.g. almonds products and wine) generate important economic activity associated with numerous direct and indirect jobs. The almond tree and the grapevine perfectly adapt to the edaphoclimatic conditions of the Mediterranean region. However, in the last years, climatic changes have been a new handicap for the profitability of both crops. Moreover, the predictions of climate change for the near future, a decrease in precipitation and an increase in temperatures will not be favorable for these crops. In this order, strategies are currently being found and implemented to mitigate the negative effects of water stress, high temperatures and high radiation in Mediterranean summers. Irrigation is one of the best strategies to mitigate the problems associated with adverse climatic summer conditions. However, water scarcity and the high cost of irrigation infrastructure are limiting factors for its use. For this reason, other mitigation strategies, such as foliar application of reflector substances such as kaolin, are being investigated.

The main objectives of this thesis were to study the effects of different deficit irrigation strategies and kaolin foliar application on the physiological activity and yield in almond trees cultivated in the northeast of Portugal and, at the same time, evaluate the influence of these deficit irrigation techniques in different almond quality parameters. Thus, these strategies were applied to three almond cultivars, namely Ferragnès, Vario and Constantí, to evaluate the differences in behavior between them.

Regarding the vineyard, there are already many studies that have evaluated the effects of deficit irrigation on the physiology of the grapevine and the quality of the grapes and wines. Thus, the present work was focused on the use of the sector's by-products wine industry to promote sustainability and, at the same time, to increase their added value. As deficit irrigation has been a widespread technique in recent years in viticulture in the Iberian Peninsula, it is important to know the effects of different water

regimes on the physicochemical and biochemical composition, as well as the antioxidant capacity of the by-products. Therefore, the effects of different water regimes on two by-products, vine leaves and grape seeds, were evaluated. To this purpose, two experimental field studies were carried out in two different vineyards in the Douro Demarcated Region (Portugal).

Almond trees under regulated deficit irrigation during the grain filling phase presented a higher level of water stress but with few effects on their physiological activity. Regarding the accumulated productivity during three years of experiment, the two cultivars evaluated showed different responses. On the one hand, the cultivar (cv.) Constantí did not present a significant reduction in its productivity when regulated deficit irrigation was applied compared to the full irrigation treatment; on the contrary, the cv. Vairo showed a significant reduction. As expected, sustained deficit irrigation improved the productivity of cv. Ferragnès compared to rainfed almond trees and did not present significant productivity reductions when the reduction in deficit irrigation was moderate (70% ETc). The foliar application of kaolin did not show effects on productivity or physiological activity in the two field experiments in which it was evaluated. In general, the quality parameters of the almonds (morphological characteristics, color, nutritional composition, fatty acid composition, tocopherols, tocotrienols and volatile composition) did not show a reduction when different deficit or kaoline irrigation strategies were applied.

Grapevine leaves had a high concentration of phenolic compounds, which was correlated with high antioxidant capacity. In this sense, the increase in the amount of water provided by deficit irrigation caused a decrease in the concentration of this type of compounds. The leaves collected during the phenological stage of veraison were those with a significantly higher richness in phenolic compounds. Deficient irrigation caused a reduction in the weight percentage of seeds within the total weight of the grapes. Grape seeds had a high oil content with high polyunsaturated fatty acids, tocopherols and tocotrienols, highlighting that deficit irrigation increased the concentration of total tocopherols and decreased that of tocotrienols.

In conclusion, the different deficit irrigation strategies implemented in the almond tree experiments obtained favorable results in terms of physiological response

and yield when compared to the rainfed almond trees. Furthermore, these strategies also contributed to saving water without affecting the yield when compared to almond trees under full irrigation. The quality of the almonds was not reduced by the application of deficit irrigation or kaolin; it even improved some of these parameters, such as tocopherols and volatile compounds concentration. Grapevine leaves and seeds can be two by-products of the wine industry with added value in which the water regime greatly influences their physical, chemical and biochemical composition.

Keywords: deficit irrigation, kaolino, *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb., *Vitis vinifera* L., byproducts valorization.

LISTADO DE ABREVIATURAS

A – Net photosynthetic rate

A/gs – Intrinsic water-use efficiency

ABA – Absisic acid

ABTS – 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)diammonium salt

ADPPH – Absorbance of the DPPH solution

ANOVA – Analysis of variance

AS – Absorbance of the solution

ATP – Adenosine triphosphate

BHT – 2,6-di-tert-butyl-4-methylpheno

CAE – Caffeic acid equivalents

C_i – Intercellular CO₂ concentration

cm² – Square centimeter

Cv – Cultivar

Cvs – Cultivars

D – Density of the leaf tissue

DI – Deficit irrigation

DOY – Day of year

DPPH – 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical

DW – Dry weight

E – Transpiration rate

EC₅₀ – Half maximal effective concentration

Er – Irrigation Efficiency

ET_o – Reference evapotranspiration

ET_c – Crop evapotranspiration

FAO – Food and Agriculture Organization

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database

FM – Fresh mass

FI – Full irrigation

FID – Flame ionization detector

FW – Fresh weight

GAE – Gallic acid equivalent

GC/MS – Gas-chromatography-mass spectrometry

g_s – Stomatal conductance

ha – Hectare

HAD – Hydroxycinnamic acid derivatives

HSD – Honestly significant difference

HS-SPME – Headspace solid-phase microextraction

HPLC – High performance liquid chromatography

INE – Instituto Nacional de Estadística

IR – Infrared Radiation

IRGA – Infrared Gas Analyser System

K_c – Crop coefficient

kg – Kilogram

L – Litre

LA – Leaf Area

LDL-C – Low density lipoprotein cholesterol

LMA – Leaf Mass per Area

LRI – Linear retention index

Mha – Mil hectáreas

Mill. ha – Millones de hectáreas

MPa – MegaPascal

MUFA – Monounsaturated fatty acid

NADPH – Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate

NI – Non-Irrigation

NIST – National Institute of Standards and Technology

Nm – Nanometer

OIV – Organización Internacional de la Viña y el Vino // International Organisation of
Vine and Wine

PAR – Photosynthetically Active Radiation

P_{ann} – Annual precipitation

PCA – Principal Component Analysis

PCR – polymerase chain reaction

PCS – Principal Component Score

P_{eff} – Effective Precipitation

PUFA – Polyunsaturated fatty acid

PRD – Partial root zone drying

QE – Quercetin equivalents

RDI – Regulated Deficit Irrigation

ROS – Reactive Oxygen Species

RP – Reducing power

RWC – Relative Water Content

S – Succulence

SA – Salicylic Acid

SDI – Sustained Deficit Irrigation

SDI35 – Sustained Deficit Irrigation with 35% ETc

SDI75 – Sustained Deficit Irrigation with 75% ETc

SFA – Saturated fatty acids

TF – Touriga Franca

TN – Touriga Nacional

Ton – Toneladas

TPC – Total phenols content

TSS – Total Soluble Solids

TW – Weight at full turgor

USDA – Agricultural Marketing Service of the U.S. Dept. of Agriculture

UV – Ultraviolet radiation

VPD – Vapour pressure deficit

WCS – Water content at saturation

WSD – Water saturation deficit

WUE – Water use efficiency

LISTADO DE SÍMBOLOS

Ψ_{PLWP} – Predawn leaf water potential

Ψ_{MSWP} – Midday stem water potential

μg – Microgram

μl – Microlitre

λ – Absorbance



CHAPTER 1

Presentación, organización y objetivos

1.1. Presentación, organización y objetivos de la tesis

La presente tesis de doctorado ha sido realizada mediante compendio de publicaciones. Todas las publicaciones pertenecen a revistas indexadas en el Journal Citation Reports y en ellas se estudian diferentes aspectos sobre la aplicación de estrategias para reducir el estrés hídrico en el almendro y la vid. Dentro de las diferentes técnicas que podemos encontrar en la actualidad para combatir los efectos negativos del estrés hídrico, la presente tesis se centra en el estudio del riego deficitario y la aplicación foliar de caolino. En consecuencia, en los capítulos que componen esta tesis se describen los diferentes experimentos de campo y análisis de laboratorio que se realizaron para comprender mejor los efectos y la influencia de estas estrategias en diferentes aspectos del cultivo del almendro y la vid. Así, el principal objetivo de esta tesis fue estudiar la influencia de estas técnicas de cultivo en la actividad fisiología de las plantas, en sus parámetros agronómicos y en la calidad de los productos obtenidos. Por otro lado, dada la importancia que en los últimos tiempos está teniendo la valorización de los subproductos, en esta tesis se han estudiado los efectos que estas técnicas de cultivo tienen sobre la composición química de algunos subproductos de la industria vitivinícola, como son las hojas y las semillas de vid. Para lograr estos objetivos, esta tesis se divide en cinco secciones y seis capítulos.

1.1.1. Revisión bibliográfica

El objetivo de esta sección es revisar la literatura científica existente sobre el estrés hídrico y las estrategias de mitigación en el almendro y en la vid. En primer lugar abordar cuales son los problemas que presentan estos cultivos asociados al estrés hídrico. Posteriormente abordar el estado da arte sobre las estrategias a estudiar en esta tesis: el riego deficitario y la aplicación foliar de caolino. También se realiza una revisión bibliográfica de los subproductos de la actividad vitivinícola, sus utilidades actuales, su posible valor añadido, las novedosas técnicas de aprovechamiento y las relaciones entre el régimen hídrico y su composición fisicoquímica y su bioactividad.

Esta sección incluye el Capítulo 2 - *Introducción general*.

1.1.2. Respuesta fisiológica y agronómica del almendro al riego deficitario regulado y a la aplicación foliar de caolino

En esta sección fue realizado un experimento en un campo comercial de almendros de dos cultivares diferentes en los que fue implementado el riego deficitario regulado y la

aplicación foliar de caolino a lo largo de 3 años. En el campo, fue evaluado el estado hídrico de los árboles a lo largo de su ciclo vegetativo, así como la respuesta de la actividad fisiológica de los diferentes tratamientos implementados. En el momento de la cosecha fue evaluada la productividad y calculados sus diferentes componentes. Con los resultados pudimos comprender mejor las interacciones entre los factores estudiados: riego deficitario regulado, aplicación foliar de caolino y cultivar.

Esta sección incluye el Capítulo 3 - *Adapting almond production to climate change through deficit irrigation and foliar kaolin application in a Mediterranean climate*.

1.1.3. Efectos del riego deficitario regulado, del riego deficitario sostenido y de la aplicación foliar de caolino sobre la composición físico química de la almendra

En esta sección se establecieron dos experimentos en dos campos de almendros en diferente localización. Uno de ellos corresponde al campo experimental de la sección 1.2., por lo que los tratamientos evaluados fueron los mismos pero solo para un cultivar. En el otro experimento se implementaron diferentes tratamientos de riego deficitario sostenido y aplicación foliar de caolino, en este caso en condiciones de secano. Se evaluaron parámetros que representan la calidad de las almendras como: características morfológicas, propiedades del color, composición nutricional, composición de ácidos grasos, composición de tocoferoles y tocotrienoles y compuestos volátiles.

Esta sección incluye dos capítulos:

Capítulo 4 - *Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition*.

Capítulo 5 - *Effects of regulated deficit irrigation and foliar kaolin application on quality parameters of almond [Prunus dulcis (Mill.) D.A. Webb]*.

1.1.4. Efecto del riego deficitario sobre la composición bioquímica y la capacidad antioxidante de hojas de vid, y sobre la composición química de semillas de uva

Como en los últimos años se han realizado multitud de trabajos científicos en los que ha sido evaluado el riego deficitario sobre la respuesta fisiológica y la calidad de las uvas, mostos y vinos, en la presente tesis hemos puesto el objetivo en caracterizar la

influencia del riego deficitario sobre la composición de dos sub-productos, las hojas y las semillas de vid.

En esta sección se realizaron dos experimentos diferentes en dos viñas situadas en la Región Demarcada del Duero (Portugal). En el primero de ellos, se establecieron diferentes tratamientos de riego deficitario regulado sobre el cv. Touriga Nacional. Se evaluó el nivel de estrés hídrico de las vides durante su ciclo vegetativo y se recogieron muestras de hojas en dos fases diferentes del ciclo vegetativo. Posteriormente en laboratorio fueron realizados diferentes análisis para determinar la influencia del riego deficitario sobre su composición bioquímica y su capacidad antioxidante.

En el otro experimento, se utilizó una viña con dos cvs. Touriga Nacional (TN) y Touriga Franca (TF) y un tratamiento con riego deficitario regulado y un control sin riego para los dos cultivares. Durante el verano se realizaron mediciones del estado hídrico de las vides y de su actividad fisiológica. En la vendimia, se recogieron muestras de uvas para posteriormente en el laboratorio, separar las semillas de las otras partes de la uva y realizar su análisis. Fueron analizadas las características morfológicas, la composición en ácidos grasos, tocoferoles, tocotrienoles y los compuestos volátiles.

Esta sección incluye dos capítulos:

Capítulo 6 - *Effects of irrigation and collection period on grapevine leaf (Vitis vinifera L. var. Touriga Nacional): Evaluation of the phytochemical composition and antioxidant properties.*

Capítulo 7 - *Effects of deficit irrigation on the chemical composition of grapevine seeds.*

1.1.5. Integración de los resultados, conclusiones generales y perspectivas futuras

En esta sección se presentaron las conclusiones globales a las que se ha llegado con los resultados de cada experimento para aportar nuevos conocimientos sobre los temas abordados en esta tesis y finalmente hacer una breve reseña sobre las líneas de trabajo futuro que se pueden abrir a partir de aquí.

Esta sección incluye el Capítulo 8 – *Conclusiones y perspectivas futuras.*

1.2. Resumen de las publicaciones

La presente tesis de doctorado há sido realizada como compendio de publicaciones. De forma a indicar resumidamente las publicaciones que componen esta tesis doctoral, a continuacion se indican sus referencias:

- **Barreales, D.**, Capitão, S., Bento, A.A., Casquero, P.A., & Ribeiro, A.C. (2023). Adapting Almond Production to Climate Change through Deficit Irrigation and Foliar Kaolin Application in a Mediterranean Climate. *Atmosphere*. 14, 1593. <https://doi.org/10.3390/atmos14101593>
- **Barreales, D.**, Fernandes, Â., Barros, L., Capitão, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Effects of regulated deficit irrigation and foliar kaolin application on quality parameters of almond (*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 103, 7227–7240. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12807>
- **Barreales, D.**, Pereira, J. A., Casal, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition. *Scientia Horticulturae*, 321, 112262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112262>
- **Barreales, D.**, Malheiro, R., Pereira, J.A., Verdial, J., Bento, A., Casquero, P.A., & Ribeiro, A.C. (2019). Effects of irrigation and collection period on grapevine leaf (*Vitis vinifera* L. var. Touriga Nacional): Evaluation of the phytochemical composition and antioxidant properties. *Scientia Horticulturae*, 245, 74–81. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12685>.
- **Barreales, D.**, Pereira, J. A., Cruz, R., Casal, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Effects of deficit irrigation on the chemical composition of grapevine seeds. Submitted to *Industrial Crops and Products*.



CHAPTER 2

Introducción general

2.1. Importancia del cultivo del almendro

Dentro de los cultivos de frutos secos el almendro [*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb] es el que mayor superficie a nivel mundial ocupa con 2.162.263 hectáreas en el año 2020 (FAOSTAT, 2020). Tradicionalmente, el cultivo del almendro está asociado a los países de la cuenca mediterránea, principalmente España y Portugal, dada su buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la Península Ibérica, aunque las producciones por hectárea son muy bajas respecto de los Estados Unidos, el mayor productor mundial. En 2020 se produjeron 4.140.043 toneladas de almendra (con cascara) a nivel mundial, siendo los Estados Unidos el principal productor con 2.370.021 toneladas (57,2%), seguido de España con 416.950 ton (10,1%) y Australia con 221.886 toneladas (5,4%), así que estos 3 países representaron el 72,7% de la producción global. En cuanto a superficie cultivada se produce un cambio de líder, España con 718.540 ha es el país con mayor superficie destinada a este cultivo seguido de Estados Unidos con 505.858 ha y Marruecos con 209.233 ha. En 2020, Portugal tenía una superficie de 52.340 ha de almendros y produjo 31.610 toneladas de almendras (FAOSTAT, 2020).

Las bajas producciones por hectárea registradas en España y Portugal respecto de otros países como Estados Unidos y Australia están relacionadas con los diferentes sistemas de cultivo y las variedades utilizadas (Tous-Martí, 1995). De forma tradicional, las plantaciones de almendros en la Península Ibérica se realizaban en terrenos marginales, en secano y con pocos cuidados culturales dando rendimientos muy bajos (aprox. 150 kg de pepita/ha) (Arquero, 2013) en comparación con los otros países donde los sistemas de producción intensivos dejaban rendimientos mucho mayores (aprox. 1.800kg de pepita/ha) (Tous-Martí, 1995; Arquero, 2013). En las últimas dos décadas, el cultivo del almendro en la Península Ibérica ha sufrido una gran reconversión, debido a los elevados precios de la almendra en los mercados internacionales y la apuesta por plantaciones que intentan copiar el sistema americano. Así, las nuevas plantaciones de almendro están localizadas en parcelas con buenas condiciones edáficas, con marcos de plantación más reducidos y con sistemas de cultivo que implican grandes cuidados y mano de obra cualificada. Por otro lado, gracias a las investigaciones llevadas a cabo en los últimos 30 años se ha conseguido una mejora genética de las variedades y los portainjertos (Bielsa-Pérez et al., 2021). En la actualidad, existen multitud de

portainjertos híbridos que se adaptan a cada situación y tipo de suelo, mejorando el vigor, la resistencia a la sequía y a la caliza, a las enfermedades y plagas del suelo, adelantan la entrada en producción de las variedades, etc. (Arquero, 2013). En cuanto a las variedades, han aparecido nuevas con características productivas mejoradas: floración tardía para reducir el riesgo de heladas primaverales, autofertilidad, resistencia a enfermedades, precocidad, mayor rendimiento en pepita y mejor calidad de la pepita. (Miarnau et al., 2016). También, estas investigaciones se han extendido a las técnicas culturales, apareciendo nuevos sistemas de formación y poda, nuevas estrategias para la prevención y el control de plagas y enfermedades, mejoras en la gestión de la fertilización y la gestión del suelo, así como nuevas estrategias de control del riego (Gómez Aparisi et al., 2009; Iglesias et al., 2021, Miarnau et al., 2016; Morais et al., 2020).

Aunque el cultivo del almendro ha sufrido una gran renovación durante los últimos años en los países de la Península Ibérica, la mayoría de las nuevas plantaciones son en condiciones de secano, pues no siempre es posible tener disponibilidad de agua para riego y las infraestructuras necesarias para el mismo tienen un coste elevado. En estas condiciones mediterráneas, la falta de agua durante el verano es el factor que más limita la productividad del almendro (Arquero, 2013). Así en el año 2020, en España existieron 600.338 ha de almendro en secano y 118.202 ha con riego, lo que se traduce en que solo fue regado el 16,45% de la superficie total de almendro (MAPA, 2022). En Portugal, este porcentaje es muy similar, si bien hay una gran tendencia al aumento de la superficie de almendros regados gracias a los nuevos regadíos del embalse del Alqueva, en la región sur de este país (Queirós et al., 2023).

2.2. Importancia del cultivo de la vid

La vid (*Vitis vinifera* L.) es un cultivo con enorme importancia en el área mediterránea desde hace miles de años. Su cultivo está asociado principalmente a la producción de vino, aunque su consumo como fruta fresca o pasas también está arraigado a nivel mundial. En la Península ibérica, parece que los primeros indicios del cultivo de la vid y el consumo del vino se han encontrado en los restos del poblado “*Vacceo de Pintia*” (Valladolid), donde se han hallado ánforas con la presencia de restos de vino y otras bebidas fermentadas datadas del inicio del siglo IV antes de Cristo hasta mediados del siglo I después de Cristo (Romero Carnicero et al., 2009).

En la actualidad, según los datos presentados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) (2022) en el año 2021, la superficie mundial de viñedo se sitúa en 7,3 millones de ha. En general, la superficie de viñedo en el mundo parece estable desde 2017. España sigue siendo actualmente el primer país en superficie de viñedo con 964.000 ha, seguido de Francia con 798.000 ha y China con 783.000 ha (Fig. 1).

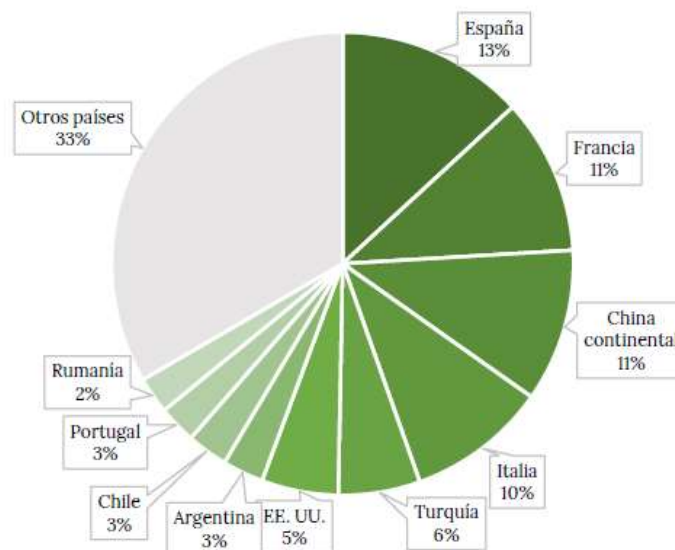


Figura 1. Países con mayor superficie de viñedo a nivel mundial. (Adaptado de OIV, 2022).

En los dos países de la Península ibérica, el viñedo tiene una gran importancia, tanto en el sector económico, como en la parte social, pues es una actividad económica que se lleva a cabo en las zonas rurales y favorece el desarrollo socioeconómico de estas regiones vulnerables, al mismo tiempo, la actividad vitivinícola forma parte de la cultura tanto de España como de Portugal (Magalhães, 2015; Tejerina-Gaite y Gamoneda, 2022). En Portugal la superficie de viñedo ocupa 194.000 ha, teniendo una gran importancia dentro del sector agrícola dado que representa alrededor del 16% de la producción agrícola con 693 millones de € (INE, 2022). En España se producen más de 400.000 ton de uva para vinificación, siendo el tercer país a nivel mundial en producción de vino con 40 millones de hectólitros (OIV, 2022). En el aspecto económico, España es el segundo exportador de vino a nivel mundial en volumen, con 2.342,7 millones de litros en 2021 y el tercer país con mayor exportación del mundo en valor, con cerca de 2.616 millones de euros exportados en 2021 según datos proporcionados por el Observatorio Español del Mercado del Vino (OeMv, 2022). Así

el sector del vino tiene una enorme importancia económica y social, implicando a multitud de agentes económicos de forma directa e indirectamente y generando multitud de puestos de trabajo (Fig. 2).



Figura 2. Diversidad de agentes económicos que intervienen en el sector vitivinícola. (OIVE, 2023).

La viticultura tradicional de la Península ibérica aprovechaba suelos marginales que no eran aptos para producciones normales de trigo u otros cereales. Así, los viñedos eran instalados en suelos pobres, con escasa fertilidad natural, de textura arenosa, alto porcentaje de piedras y con poca profundidad, lo que provocaba una deficiente capacidad de acumulación de agua (Hidalgo, 1993). Estas condiciones edáficas unidas a escasas precipitaciones y temperaturas elevadas durante los veranos condicionaban el desarrollo vegetativo y la productividad del cultivo.

Las plagas y enfermedades provenientes de otros países a partir de la segunda mitad del siglo XIX provocaron una reestructuración del viñedo peninsular, reduciendo enormemente la composición varietal. Sobre todo, la llegada de la filoxera que se extendió por la Península Ibérica durante más de treinta años, entre 1870 y 1903, causó una gran reestructuración del viñedo (Oestreicher et al., 1996; Toepfer et al., 2011). Posteriormente, el viñedo necesitaría de casi tres décadas para recuperarse mediante la replantación de nuevas viñas con portainjertos resistentes a esta enfermedad (Piqueras, 2005). Aun así, no sería hasta las décadas de los años ochenta y noventa, cuando con la entrada de España y Portugal en la Comunidad Económica Europea se modernizaría el

cultivo del viñedo en la Península Ibérica. En estos años se compararía la viticultura ibérica con la de otros países de la UE, viendo como presentaba una gran inferioridad. Era importante comenzar a aumentar la producción de vinos de calidad en detrimento de los vinos corrientes, aumentar la mecanización y mejorar las prácticas culturales de los viñedos para aumentar la productividad y el rendimiento económico de los mismos. En definitiva, surge la necesidad de pasar de una viticultura tradicional a una más moderna e intensiva. Se llevaron a cabo cambios en el marco de plantación, aumentando la densidad, en los sistemas de formación y poda, pasando del sistema en vaso a sistemas apoyados en espaldera lo que facilita la mecanización de la mayoría de las prácticas culturales como la poda, la recolección, los tratamientos fitosanitarios, la gestión del cubierto del suelo, etc. Por otro lado, se incrementaron los aportes de fertilizantes y se comenzó a utilizar el riego como una de las mejores herramientas para mejorar la productividad de los viñedos (Simões, 2003; Sotés, 2004; Gil et al., 2014). En la actualidad, la viticultura de la Península Ibérica está en un nivel de productividad y calidad elevado gracias a la mejora continua de todos los elementos implicados en el viñedo, desde la mejora genética de las variedades y portainjertos utilizados en la plantación, pasando por las modernas técnicas de cultivo y mecanización, hasta la aplicación de las herramientas que proporciona la agricultura de precisión (Sancha, 2018; Ammoniaci et al., 2021).

2.3. Desafíos de la agricultura mediterránea en la actualidad

A nivel mundial, los cultivos en condiciones de secano ocupan el 80% de la superficie agrícola mundial y producen el 60% de los alimentos, mientras que la superficie agrícola regada ocupa el 20%, pero tiene gran importancia en términos productivos, ya que produce alrededor del 40% del total de los alimentos (FAO, 2021). Tradicionalmente, el principal objetivo de la investigación agrícola se ha centrado en maximizar la productividad de los cultivos, sin embargo, en los últimos tiempos, la atención se ha desviado hacia la conservación de los factores limitantes dentro de los sistemas productivos (Olesen et al., 2011; Karandish et al., 2016). El mundo se enfrenta a una creciente demanda de alimentos y actualmente, quedan pocas opciones a nivel mundial para poder expandir el área agrícola sin repercusiones ambientales, sociales y económicas significativas (FAO, 2017). En las próximas décadas, garantizar el abastecimiento de alimentos y la conservación de los recursos hídricos son dos retos íntimamente relacionados que la sociedad debe de afrontar (Aznar-Sánchez et al., 2018;

WWAP, 2018). A nivel mundial, la agricultura representa el 72% de todas las extracciones de agua superficial y subterránea (FAO, 2021). El mundo se enfrenta a una creciente crisis del agua, que es el resultado del aumento de la demanda de agua, la disminución de los recursos hídricos y el aumento de la contaminación del agua impulsada por un aumento drástico de la población y el crecimiento económico (Boretti y Rosa, 2019). Por lo tanto, los métodos sostenibles para aumentar la productividad del agua de los cultivos tienen una gran importancia, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas (Debaeke and Aboudrare, 2004).

Alrededor del 80-95% de la composición de la biomasa fresca de una planta es agua, que juega un papel fundamental en casi todos los procesos fisiológicos que incluyen muchos aspectos del crecimiento, desarrollo y metabolismo de la planta (Brodersen et al., 2019; Abbasi et al., 2010; Wahab et al., 2022). Así, el agua juega un papel fundamental tanto en la productividad de los cultivos como en la calidad nutricional de los productos obtenidos. Los cultivos están expuestos a multitud de estreses ambientales durante todas las fases de su ciclo de cultivo, siendo la sequía uno de los más limitantes y recurrentes (Farooq et al., 2012; Rahdari et al., 2012). El estrés hídrico es un factor importante que influye en el desarrollo vegetativo, la productividad y la calidad físicoquímica de las plantas cultivadas (Seleiman et al., 2021; Yang et al., 2021a), especialmente en áreas con largos periodos de sequía estival, como son las áreas mediterráneas donde se cultivan el almendro y la vid (Karimi et al., 2015; Gambetta et al., 2020).

La FAO (2017) indicó que las mejoras en las tecnologías del riego son claves para mejorar la seguridad alimentaria, dado que los actuales recursos agrícolas de tierra (sobre todo agua) son limitados y restringen la productividad de los sistemas agrícolas, lo que provoca un gran aumento de la presión sobre la seguridad alimentaria mundial. Así, la implementación de nuevas técnicas de riego y la mejora de las ya existentes es crucial y necesario para mantener las tasas de crecimiento agrícola necesario sin provocar más daños al medio ambiente.

Los objetivos de UN Sustainable Development Goals (SDGs) de la ONU marcan el camino a seguir para lograr un futuro sostenible (UN., 2022). El indicador 6.4.2. de los SGD –“*Nivel de estrés hídrico: extracciones de agua dulce en proporción a los recursos de agua disponibles*” intenta registrar la cantidad de agua dulce que está siendo

extraída por las actividades económicas y compararla con el total de los recursos renovables de agua dulce disponibles. Teniendo en cuenta la importancia de garantizar un caudal ambiental mínimo la ONU intenta buscar soluciones para encontrar un equilibrio entre consumo y reposición de las reservas.

2.4. Alteraciones climáticas

Los escenarios de cambio climático en el área mediterránea incluyen una gran diversidad de alteraciones climáticas que afectan de diferente forma a los cultivos (Santos et al., 2017). En general, se prevé un aumento global de las temperaturas, cambios en los regímenes de precipitaciones, una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos como las olas de calor o las lluvias torrenciales y mayores concentraciones de CO₂ atmosférico (Fraga et al., 2012; Mirás-Avalos et al., 2023). Los cultivos leñosos del área mediterránea son de gran importancia no solo desde el punto de vista económico, sino también como elementos del paisaje, ya que llevan miles de años formando parte de estos agro-sistemas (Romero y García-García, 2020; Schicchi et al., 2021). Su importancia también viene dada por su labor ambiental, su largo ciclo de vida les permite acumular carbono en órganos permanentes como son las raíces, el tronco y las ramas o incluso en el propio suelo como ocurre con la rizodeposición (Vicente-Vicente, 2016). Muchos de estos cultivos mediterráneos como la vid, el almendro o el olivo están fuertemente adaptados a las difíciles condiciones climáticas de esta región (Tous and Ferguson, 1996), sin embargo, con las alteraciones del cambio climático pueden dejar de existir por no ser rentables o simplemente porque no consiguen desarrollarse adecuadamente y mueren (Ascenso et al., 2021; Torres et al., 2021).

Las condiciones climáticas del verano mediterráneo, con escasez de precipitaciones, altas temperaturas y elevada radiación solar generan principalmente tres tipos de estrés en la planta: térmico, hídrico y luminoso (Shellie and King, 2013a; Freitas et al., 2023a). Además, de los problemas asociados al estrés estival, existen otros problemas asociados al cambio climático. En general, los árboles frutales de hoja caduca de las zonas mediterráneas requieren acumular horas de frío específicas para romper el letargo del invierno y comenzar una nueva brotación y floración de forma adecuada (Prudencio et al., 2018). Así con el aumento de las temperaturas medias durante el periodo de parada vegetativa, en los cultivares que precisan de acumular más

horas de frío van a surgir problemas en algunas fases de su ciclo fenológico, limitando el normal desarrollo de estas plantas (Díez-Palet et al., 2019; El Yaacoubi et al., 2019).

Con el panorama de las alteraciones climáticas siendo una realidad en nuestros días y con los escenarios futuros que solo empeoran la situación, se hace imprescindible buscar medidas de adaptación y mitigación para que los cultivos del área mediterránea continúen siendo rentables desde el punto de vista económico, ayudando a mantener población en las zonas rurales y al mismo tiempo continúen formando parte del paisaje y de estos agro-sistemas tan característicos.

2.5. Estrategias para prevenir y mitigar los efectos del estrés estival

Como hemos visto anteriormente los cultivos de la Península Ibérica tienen muy limitada la productividad y rentabilidad debido a la escasez de agua ya sea por falta de precipitaciones durante una parte de su ciclo vegetativo o por no tener disponibilidad de agua para riego (Garrote et al., 2015; Fraga et al., 2018; Blanco-Ward et al., 2019). Además, según las previsiones futuras de cambio climático, los escenarios que se presentará no van a ser mejores, sino que la sequía y las altas temperaturas van a aparecer de forma recurrente (Lorite et al., 2018; Santos et al., 2017; Freitas et al., 2023b). Así, la implementación de nuevas estrategias para prevenir y combatir los efectos de la escasez de agua y el calor están siendo muy exploradas en los últimos años (Iglesias et al., 2015; García-Tejero et al., 2014; Fraga et al., 2016; García-Tejero et al., 2018b).

En primer lugar, podríamos considerar las estrategias a largo plazo, que son aquellas que se prolongan en el tiempo durante varios años, en caso de cultivos plurianuales, pueden estar presentes a lo largo de toda la vida útil de la plantación y por otro lado las estrategias a corto plazo que pueden ser impuestas en un determinado momento del ciclo vegetativo del cultivo (Tabla 1). También es importante mencionar que la combinación de varias estrategias puede dar un resultado mucho más favorable que la implementación de una sola como ha sido demostrado en algunos trabajos (Ćosić et al., 2015; Djurović et al., 2016; Liao et al., 2021).

Tabla 1. Estrategias a largo y corto plazo para mejorar la adaptación y mitigación de los cultivos leñosos al estrés estival.

Estrategias a largo plazo
Selección de cultivo
Selección de portainjerto
Preparación del suelo en pre-plantación
Estrategias a corto plazo
Riego deficitario
Aplicación foliar de compuestos reflectantes y antitranspirantes
Gestión de la cubierta del suelo

Antes de la implantación de un cultivo en las regiones donde la escasez de agua y el estrés estival van a ser factores limitantes, debemos tener en cuenta cómo vamos a afrontar esta limitación. Así, cuando el cultivo es leñoso y va a permanecer durante varios años implantado, la preparación del suelo tiene un papel primordial. La mayoría de cultivos mediterráneos puede desarrollarse en suelos poco profundos, aunque hay que tener siempre presente que, a mayor profundidad efectiva del suelo tendremos mayor desarrollo radicular y una más alta disponibilidad de agua y nutrientes, mejorándose considerablemente el estado hídrico y el desarrollo del cultivo (Arquero, 2013). Antes de la plantación las labores a gran profundidad como el subsolado pueden mejorar considerablemente la profundidad útil del suelo, al romper los horizontes endurecidos (petrocálcicos, argílicos, etc.) que suponen un impedimento físico para el desarrollo de las raíces en profundidad (White et al., 2012; Sun et al., 2018).

Otro factor importante a la hora de establecer una nueva plantación y que está involucrado con el suelo, es el sistema radicular del cultivo (Arquero, 2013). En general, casi todos los cultivos leñosos que se implantan en la actualidad en las regiones mediterráneas tienen dos partes vegetativas diferentes, de un lado encontramos el portainjerto y del otro el cultivar. El uso de portainjertos, en la mayoría de los cultivos como el almendro y la vid ha tenido un gran desarrollo en los últimos años debido a la gran apuesta del mundo científico por los trabajos de mejora genética (Merli et al., 2016; Rubio-Cabetas, 2016; Ranjbar y Imani, 2022). Como resultado, hoy en día podemos encontrar multitud de portainjertos con todo tipo de características, así uno de los factores de selección más importantes es la resistencia a la sequía y una gran

capacidad de crecimiento (Gullo et al., 2018; Álvarez et al., 2020). Un buen sistema radicular (o un buen portainjerto) va a ser el fundamental para aprovechar el agua y los nutrientes que se acumula en capas más profundas del suelo (Sánchez-Rodríguez et al., 2014; Jiménez et al., 2013).

Después de la selección del portainjerto en los casos que corresponda, otra parte importante a definir antes de realizar la plantación es el cultivar. La selección genética de los principales cultivos también ha tenido un amplio desarrollo en los últimos años y en muchos cultivos del área mediterránea, la resistencia a altas temperaturas, a la sequía, a no sufrir quemaduras solares en sus frutos, etc. han sido factores de selección (Socias i Company et al., 2009). Uno de los efectos negativos que tienen estos sistemas de mejora genética en los cultivos, es que reducen la biodiversidad genética de las especies cultivadas. Con el paso de los años los agricultores apuestan por plantar aquellos cultivares que son más productivos en detrimento de otros tradicionales. Lo mismo ocurre con la diversidad de cultivos. A causa de una globalización de la agricultura a nivel mundial, muchos cultivos minoritarios y cultivares autóctonos han sido sustituidos por otros más productivos (Pretty & Bharucha, 2014; Chivenge et al., 2015). Esta intensificación agrícola consiguió un aumento de la productividad de los cultivos pero redujo drásticamente la biodiversidad genética de las especies cultivadas (Hufnagel et al., 2020). En general, estas especies y variedades que se cultivaban de forma reducida, pueden ser menos productivas pero al mismo tiempo precisan de menos consumibles, menos fertilizantes, menos aplicaciones de productos fitofarmacéuticos y menos necesidades de riego, con lo que estamos perdiendo material vegetal que en un futuro puede ser de gran valía (Beillouin et al., 2019). Mantener esta biodiversidad es imprescindible si queremos conservar el buen funcionamiento de los ecosistemas y una producción agrícola sostenible (Toledo and Burlingame, 2006; Chappell and LaValle, 2011). Por lo tanto, para mantener la biodiversidad y también tener cultivos más resistentes a la sequía es necesario la diversificación de los hábitos de producción y consumo, incluyendo una amplia gama de especies vegetales cultivadas (Galindo et al., 2018).

Otra práctica que se ha utilizado para reducir los efectos de la sequía en zonas áridas y semiáridas es el acolchado o cobertura de la superficie del suelo (Zhang et al., 2009; Liao et al., 2021). El acolchado forma una capa de aislamiento, más o menos

intenso, dependiendo del material utilizado, entre la superficie del suelo y la atmosfera, que puede reducir eficazmente las pérdidas de agua por evaporación directa del suelo (Zribi et al., 2015). Además, cuando se producen precipitaciones intensas, el acolchado mejora la infiltración del agua en el suelo, dado que reduce la escorrentía superficial de la misma (Prosdocimi et al., 2016). Otro factor clave que puede ser regulado con el acolchado es la temperatura del suelo (Liu et al., 2014; Sarkar et al., 2007). Dependiendo del tipo de acolchado la temperatura puede aumentar o disminuir, así algunos estudios sugieren que el acolchado con lamina plástica aumenta la temperatura dado que absorbe mayor radiación durante el día y reduce las perdidas por la noche (Chen et al., 2007; Lalitha et al., 2010). Por otro lado, los acolchados con paja, astillas de madera, mantillo orgánico y otros tipos de residuos orgánicos disminuyen la temperatura de forma efectiva al retener la radiación solar entrante (Rashid et al., 2019).

Otra de las técnicas que se está desarrollando en los últimos años, es la aplicación de compuestos antitranspirantes (Del Amor et al., 2010; Kettlewell et al., 2010). Dependiendo de su modo de acción con el que reducen la transpiración podemos dividirlos en tres grupos: (1) algunos compuestos producen la reflexión de la luz que llega a las hojas u otras partes de la planta, reduciendo la radiación absorbida y disminuyendo la temperatura, (2) ciertos productos forman una película transparente, fina y con capacidad impermeable sobre las hojas reduciendo la salida de vapor de agua y teniendo pocas interferencias con el intercambio de gases y finalmente (3) algunos compuestos químicos pueden afectar al funcionamiento de los estomas, a partir de alteraciones en el metabolismo de la planta son capaces de controlar la abertura estomática o incluso reducir el tamaño de los estomas (Nitzsche et al., 1991; Besufkad et al., 2006; Amor et al., 2010; Pandey et al., 2017). Algunos ejemplos de sustancias que han sido utilizadas en cultivos separadas en grupos según su categoría son: con capacidad reflectante aluminosilicato (caolino), carbonato de calcio (CaCO_3) y oxido de calcio (CaO) (Brito et al., 2019a; da Silva et al., 2019); que forman una película sobre la hoja di-1-p-menteno, poli-1-p-menteno y polímeros acrilicos (AbdAllah et al., 2019a; Plaut et al., 2004) y por ultimo con capacidad de alterar el metabolismo de la hoja o la planta s-ABA Quitosano, (poli-D-glucosamina) y ácido fúlvico (Park et al., 2016; Rieger et al., 2016; Zhang et al., 2016). En la región mediterránea se está implementando cada vez más la utilización de compuestos reflectantes, sobre todo el caolino, dado los buenos resultados que está produciendo (Boari et al., 2015; Brillante

et al., 2016; Brito et al., 2019a). En el punto 2.7 de la presente tesis se describe su utilización y efectos en agricultura.

Una de las técnicas más importantes y que más se ha estudiado en las últimas décadas es el riego deficitario (Costa et al., 2007; Chai et al., 2016). En el punto 2.6 de la presente tesis se describe los aspectos importantes de esta técnica de riego.

2.6. Riego deficitario

2.6.1. Introducción

El riego es una técnica que implica el aporte de agua a los cultivos en aquellas épocas de su ciclo vegetativo en las que las precipitaciones y las reservas de agua disponibles en el suelo no son suficientes para cubrir las necesidades hídricas de las plantas (Jensen, 1968; Rai et al., 2017; Howell, 2003). El riego se inició hace miles de años, las civilizaciones antiguas de diferentes partes del mundo utilizaban el riego para mejorar la productividad de sus cultivos (Butzer, 1976). Los romanos construyeron canales y acueductos para transportar el agua desde los ríos naturales hasta las ciudades y los campos de cultivo (Drachmann, 1963; Butzer et al., 1985). Con el paso del tiempo, las infraestructuras y técnicas de riego han mejorado enormemente, buscando sobre todo el ahorro de agua. En los últimos años los agroecosistemas mediterráneos han buscado multitud de alternativas tecnológicas y de gestión para encontrar fórmulas de riego más eficientes (Galindo et al., 2018). Así, muchos agricultores han pasado de realizar un riego total (en inglés, Full Irrigation – FI) es decir, satisfaciendo las necesidades totales de evapotranspiración (ET_c) a riegos que no cubren las necesidades totales del cultivo, lo que se denomina riego deficitario (en inglés, deficit irrigation - DI) (Chai et al., 2016; Geerts et al., 2009). Así, el concepto de riego deficitario nace como una estrategia de optimización de agua, en la cual se aplica el riego de forma controlada por debajo de las necesidades totales del cultivo, es decir no se cubren por completo las necesidades de evapotranspiración del cultivo (English, 1990; Girona, 1992; Geerts and Raes, 2009). En la mayoría de los casos el déficit de riego implica una reducción del contenido disponible de agua en el suelo, debido al agotamiento de las reservas por parte del cultivo. Así, con la aplicación de una estrategia de DI, las plantas van a sufrir un cierto grado de estrés hídrico durante todo el periodo del cultivo o solo en las fases en que esta estrategia es impuesta, lo que va a desencadenar una reducción en la producción que no

tiene que traducirse en una reducción de los beneficios agrícolas, ya que existe un ahorro del coste del agua (English and Raja 1996; Varzi and Grigg 2019). Por lo tanto, los principales beneficios de las estrategias de DI son: una mayor eficiencia en el uso del agua (en inglés, Water Use Efficiency – WUE), una reducción de los costes de riego, una mejora en el coste de oportunidad del agua, el control del vigor en determinados cultivos, la reducción de la pérdida de nutrientes por lixiviación y un menor riesgo de la aparición de enfermedades y plagas relacionadas con niveles altos de humedad (Goodwin and Boland, 2002; Ünlü et al., 2006; Ruiz-Sánchez et al. 2010).

Existen diferentes tipos de DI, según el periodo de reducción y la forma de aplicación (Mirás-Avalos et al., 2023), las más utilizadas son:

- Riego deficitario regulado (en inglés, Regulated Deficit Irrigation - RDI): consiste en la imposición de déficit hídrico, o incluso la interrupción total del riego, durante etapas fenológicas específicas, las cuales son menos sensibles al estrés hídrico, suministrando riego completo en periodos fenológicos críticos. Se intenta reducir al mínimo los efectos negativos del estrés hídrico en la productividad del cultivo y en la calidad de los frutos para mejorar el beneficio económico (Ruiz-Sánchez, 2010).

- Riego deficitario sostenido (en inglés, Sustained Deficit Irrigation - SDI): el objetivo es proporcionar agua de riego a lo largo de todo el ciclo vegetativo de forma uniforme, generando un estrés hídrico en la planta constante (Goldhamer et al., 2006; Fereres y Soriano 2007).

- Riego parcial alternado (en inglés, Partial Root-Drying -PRD): Es una técnica donde la mitad del sistema radicular se expone a sequía y la otra mitad es regada. Con frecuencia, las raíces de los lados húmedo/seco se rotan. De esta forma, mientras las raíces del lado húmedo mantienen a la planta en condiciones favorables de agua, el lado seco de la raíz induce la formación de compuestos químicos de carácter hormonal, principalmente ABA (ácido abscísico). Esta hormona es responsable de reducir la conductancia estomática. (Chai, 2016; Galindo et al., 2018).

2.6.2. Particularidades del riego deficitario en almendro

A partir de los tres tipos de riego deficitario definidos anteriormente existen muchas fórmulas que pueden ser aplicadas en el cultivo del almendro y que en los

últimos años se han ido perfeccionando con la realización de multitud de estudios científicos en este ámbito (Goldhamer et al., 2006; Egea, et al., 2009; Mirás-Avalos et al., 2023).

Así el riego deficitario sostenido se ha aplicado en diferentes porcentajes de la ETc, en diferentes condiciones edafoclimáticas, con diferentes cultivares dando conclusiones dispares pero siempre con una misma metodología, comenzar el riego con un porcentaje de riego inferior al FI y mantenerlo durante todo su ciclo vegetativo (Alcón et al., 2013; Prgomet et al., 2020; Mañas et al., 2013; Egea et al., 2013). Por el contrario, en el riego deficitario regulado se han realizado multitud de estudios para determinar cuándo es el momento idóneo dentro del ciclo del almendro para realizar la restricción del riego intentando reducir las pérdidas de productividad. Así, como resultado de multitud de experimentos se han propuesto modelos que dividen las etapas del ciclo vegetativo del almendro en 5 fases diferentes (Fig. 3) para posteriormente definir en cuales de estas etapas el estrés hídrico puede provocar reducciones en la productividad (Girona 1992; Girona et al., 1995; Nortes et al., 2009; Doll and Shackel, 2015; Goldhamer y Viveros, 2000). Así, a continuación resumimos las cinco fases y las implicaciones que conlleva el riego deficitario en cada una de ellas:

- Fase I: Brotación – floración – cuajado:

Este periodo es probablemente de los más importantes para la producción de almendra y el desarrollo del árbol. Es un momento de crecimiento vegetativo rápido. Al inicio de la brotación, las necesidades hídricas del árbol son bajas y van aumentando conforme las hojas se expanden por completo y se desarrollan los nuevos brotes del dosel. En la región mediterránea, las condiciones meteorológicas de este periodo (febrero-marzo) se suelen caracterizar por temperaturas relativamente frescas, las precipitaciones son frecuentes en estos meses y las horas de radiación solar aún son pocas. Así, la demanda de agua durante esta fase suele estar cubierta por las precipitaciones o por las reservas de agua acumuladas en el suelo durante las precipitaciones invernales. Si aparecen condiciones de estrés hídrico en esta fase, se podría ver comprometido el número de frutos cuajados y el crecimiento inicial de los brotes.

- Fase II –III: Periodo de crecimiento de fruto y de ramas:

En esta fase, los días comienzan a tener mayor número de horas de luz, la intensidad de la radiación solar es más elevada, las temperaturas son más altas y el número de hojas expandidas del dosel es mayor por lo que aumenta la tasa fotosintética del árbol. Esto conlleva un aumento de las necesidades hídricas del árbol que pueden no estar cubiertas por completo con las precipitaciones y la reserva de agua del suelo. En esta fase los frutos están en pleno desarrollo, produciéndose la división celular en los mismos, lo que va a determinar su tamaño final. Si aparece una situación de estrés hídrico moderado o severo en este periodo se podría comprometer el tamaño final de la almendra, aparece una reducción del crecimiento de los nuevos brotes, lo que reduce el tamaño del dosel y la formación de yemas fructíferas en los años siguientes, por lo que se reduce la productividad al año siguiente y el efecto negativo podría reflejarse en varios años consecutivos.

- Fase IV: Periodo de llenado de fruto:

En esta fase las almendras ya tienen un tamaño final, se han alcanzado las dimensiones finales de las tres partes principales del fruto: el cascaron exterior, la cascara y la pepita. A partir de este momento y hasta la cosecha la actividad del árbol se centra en el llenado del fruto, es decir en la acumulación de biomasa dentro del fruto, sobre todo en la pepita. Durante esta fase se dan las circunstancias más adecuadas para que el árbol pueda estar bajo condiciones de estrés hídrico. Como consecuencia de este estrés se producirá una reducción del crecimiento vegetativo y que en algunos casos puede ser beneficioso para controlar el exceso de vigor en los árboles y reducir las necesidades de poda.

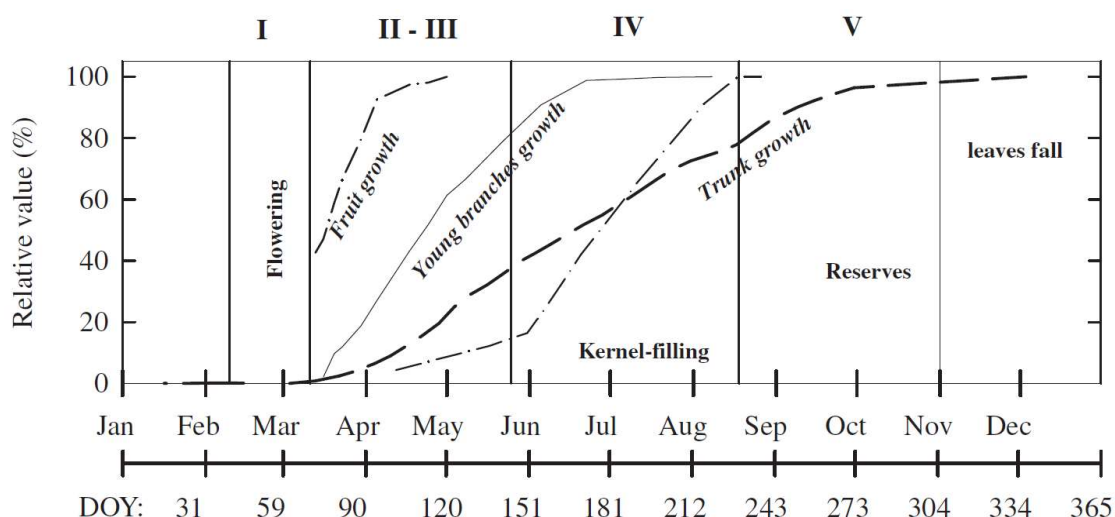


Figura 3. Etapas del ciclo vegetativo del almendro en la región mediterránea y representación mediante curvas de los valores acumulados relativos de crecimiento y desarrollo de frutos (acumulación de biomasa), crecimiento de brotes anuales y engrosamiento del tronco. Las líneas verticales delimitan el inicio y fin de cada etapa de desarrollo. (Adaptado de Nortes et al., 2009).

- Fase V: Maduración – Cosecha – Post-cosecha:

La maduración viene dada como resultado de completar todos los procesos de crecimiento y desarrollo del fruto con la diferenciación final de las tres partes que lo componen: el cascaron exterior, la cascara y la pepita. La cosecha está determinada por dos situaciones: el inicio de división del cascaron exterior y la formación de una capa de abscisión entre el pedúnculo y la almendra. Estos dos eventos se ven influenciados por la disponibilidad de agua. Un exceso de agua puede aumentar la duración del periodo de apertura del cascaron exterior y la formación de la capa de abscisión. Por el contrario, un estrés hídrico severo provoca un secado del cascaron exterior antes de la apertura del mismo adhiriéndose de forma firme al cascaron y dando almendras de mala calidad, denominadas comúnmente “borregos, tontas, secallo o pelonas” (en inglés – hull tights”). Posteriormente, el periodo de post-cosecha es un periodo clave del ciclo del cultivo. Aunque las necesidades de agua por parte de la planta no son muy elevadas, pues ya no tenemos frutos y los crecimientos vegetativos pueden ser mínimos. En esta fase y hasta la caída de las hojas tienen lugar procesos de acumulación de sustancia de reserva y renovación y crecimiento radicular. La acumulación de reservas en el árbol tiene enorme importancia, dado que estas sustancias van a soportar la brotación y

floración del siguiente ciclo vegetativo, por lo que van a determinar, en parte, la productividad del próximo año. Mantener un pequeño aporte de riego desde la cosecha hasta las primeras precipitaciones del otoño es importante para favorecer estos procesos.

2.6.3. Efectos del riego deficitario en la productividad y la calidad de almendra

Con las conclusiones de los estudios que podemos encontrar en la bibliografía sobre los efectos de la aplicación de diferentes estrategias de riego deficitario en plantaciones de almendro se ha llegado a la conclusión de que el riego deficitario puede ser una de las mejores estrategias para mejorar la rentabilidad económica de las plantaciones de almendro (García et al., 2004; Iglesias et al., 2021). El almendro es un cultivo muy bien adaptado a las condiciones del clima mediterráneo (Arquero, 2013) y como tal, posee la capacidad de soportar periodos de sequía, si bien, cuanto más largos e intensos son estos periodos y más severo es el nivel de estrés hídrico que tiene que soportar el árbol, mayor va a ser la reducción en la productividad del árbol (Muncharaz, 2017). Se ha observado que un déficit hídrico severo durante el final de la primavera y el verano va a tener efectos negativos en el número y desarrollo de las flores del ciclo siguiente (Goldhamer et al., 1990). Periodos prolongados de sequía provocan un debilitamiento del árbol lo que se traduce en una drástica reducción de la producción o incluso que esta sea nula, esto también ocurre en otras especies de frutales del área mediterránea (Monselise y Goldschmidt, 1982; Girona et al., 1997; Moldero et al., 2022). Así el árbol va a aprovechar el ciclo sin producción para desarrollar nuevos órganos vegetativos y recuperar sus reservas. Esto origina el fenómeno denominado “alternancia”, el árbol da producción a años alternos (Dorfman et al, 1988; Tombesi et al., 2011). Con el riego deficitario podemos reducir este fenómeno indeseable cuando está causado por la sequía. Por otro lado, el riego deficitario consigue que la producción aumente de forma proporcional a la cantidad de agua aplicada (Girona, 1992). Según el modelo propuesto por Miarnau et al. (2018) (Fig. 4) con los resultados de diferentes campos experimentales a lo largo de varios años en la Península Ibérica, cuando aplicamos riego deficitario la productividad de la plantación aumenta, hasta un punto en el que este aumento ya es menos acelerado. Esto está relacionado con la productividad del agua (WUE), siendo que los mejores valores de este indicador los encontramos en almendros con tratamientos de riego deficitario, pues las producciones son cercanas a las de almendros con riego pleno con un importante ahorro de agua (Goldhamer and Fereres 2017; García-Tejero et al., 2018b).

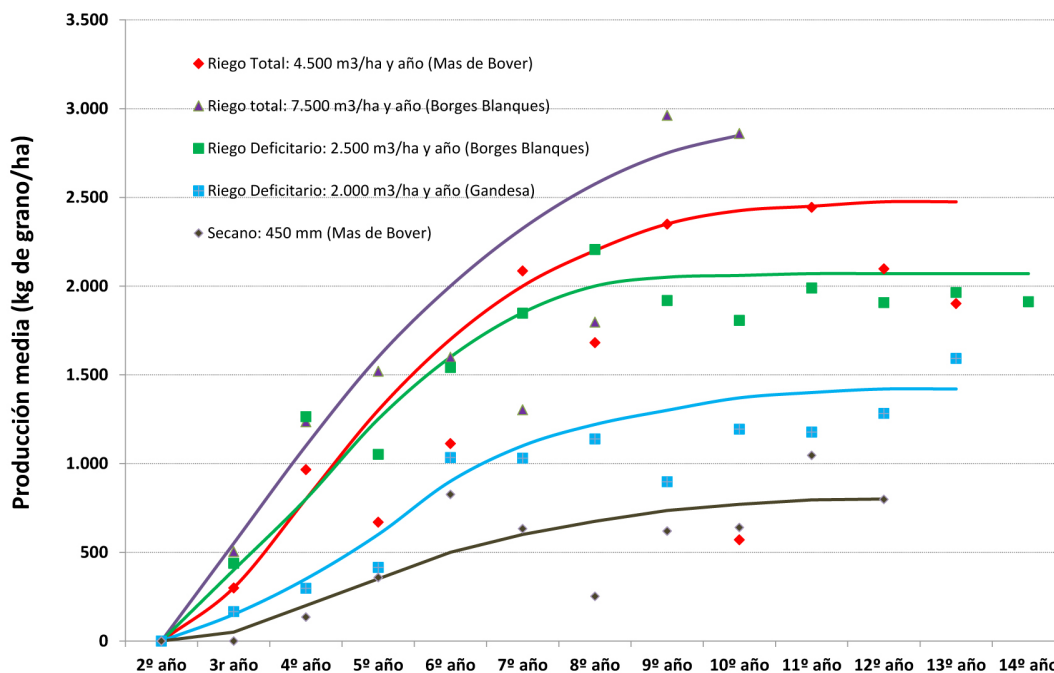


Figura 4. Adaptado de Miarnau et al. (2018). Resumen de los datos productivos medios de diferentes experimentos del Institute of Agrifood Research and Technology (IRTA) de variedades de almendro en diferentes dotaciones de riego. Equivalencia de producción de almendra en grano por hectárea (kg/ha de grano). Riego total en Mas de Bover (4.500 m³/ha y año; marco de plantación: 7 m x 6 m), riego total en Les Borges Blancs (7.500 m³/ha y año; marco de plantación: 7 m x 6 m), riego deficitario en Les Borges Blancs (2.500 m³/ha y año; marco de plantación: 6 m x 6 m), riego deficitario en Gandesa (2.000 m³/ha y año; marco de plantación: 6 m x 5,5 m) y secano en Mas de Bover (pluviometría de 450 mm y año; marco de plantación: 6 m x 5 m).

Las diferentes estrategias de riego deficitario que se pueden aplicar en el almendro tienen demostrado resultados muy variados, pues son técnicas que se pueden ver influenciadas por otros factores culturales (tipología de suelo, cobertura del suelo, nutrientes disponibles para el árbol, implementación en simultaneo de fertirriego, buen estado sanitario de la plantación, etc.). En este sentido la Figura 5 resume gran parte de las características que es preciso tener en cuenta antes de implementar cualquier estrategia de DI.



Figura 5. Características a considerar antes de implementar estrategias de riego deficitario.

En general, el riego deficitario ejerce una influencia positiva en el aumento de la productividad en las plantaciones de almendro cuando se compara con tratamientos en secano (Prgomet et al., 2020; Miras-Avalos et al., 2023). Tenemos un buen ejemplo en la Figura 4. Cuando comparamos la productividad de almendros de riego deficitario con almendros en riego pleno las conclusiones son más variadas. Por ejemplo, algunos autores encontraron que la productividad se redujo cuando se aplicó el estrés hídrico durante el periodo de llenado del grano (Girona et al., 2005; Egea et al., 2013; Alcón et al., 2013; Mañas et al., 2014; Goldhamer et al., 2006; Goldhamer and Viveros, 2000; Hutmacher et al., 1994), mientras que otros estudios no encontraron diferencias (Egea et al., 2010, 2009; Goldhamer and Fereres, 2004; Puerto et al., 2013; Romero et al., 2004; Gutiérrez-Gordillo et al., 2019). Estas controversias provienen de la multitud de factores que influyen en la estrategia de DI seleccionada. Gutiérrez-Gordillo et al. (2020a) realizaron un estudio para conocer la respuesta de tres cultivares de almendro (Guara, Marta, and Lauranne) a dos tratamientos de SDI (75% y 65% de la ETc) en

comparación con almendros regados plenamente (100% de la ETc). Estos autores observaron que los cvs. Lauranne y Marta no reflejaron pérdidas de rendimiento, mientras que el cv. Guara sufrió una ligera disminución. Así, podemos apreciar como el cultivar ya tiene una influencia importante el efecto positivo de la estrategia de riego deficitario aplicada. Si bien es cierto, que como vimos anteriormente en la Figura 4, una reducción en la productividad no implica una reducción en la rentabilidad, es el coste del agua que ahorramos puede ser mayor que el beneficio. Por lo tanto, la aplicación de estrategias de DI requerirán de un adecuado conocimiento de todos los factores que se pueden involucrar en la misma para no ver comprometida la productividad final de la plantación.

En lo que respecta a los efectos que tiene el riego deficitario sobre la calidad de las almendras, podemos encontrar estudios que han sido realizados en los últimos años (Cornacchia et al., 2010; Zhu et al., 2015; Lipan et al., 2018, 2019a; Gutiérrez-Gordillo et al., 2020b). Se han evaluado diferentes parámetros para caracterizar la calidad de las almendras, así podemos encontrar parámetros físicos, como las propiedades morfológicas (peso de la pepita, dimensiones, etc.), el color y la textura. Otro aspecto evaluado es su composición nutricional y química: hidratos de carbono, proteínas, cenizas, lípidos, ácidos orgánicos, compuestos volátiles, etc. También hay que mencionar la caracterización de su capacidad bioactiva. Finalmente, es importante caracterizar las almendras desde el punto de vista del consumidor, por eso se han realizado experimentos basados en pruebas organolépticas con probadores experimentados y consumidores habituales. Algunos autores como Gutiérrez-Gordillo et al. (2020b) han observado como el riego bajo SDI mejoró el contenido de ácidos grasos, azúcares y compuestos fenólicos totales. Lipan et al. (2019a) también reportó mejoras en el color, un mayor contenido de ácidos grasos y potasio, así como un aumento de los ácidos grasos insaturados. Zhu et al., (2015) compararon la composición química de almendras producidas bajo diferentes tratamientos de riego: con riego en exceso (120% de la ETc), riego pleno (100% de la ETc), SDI y RDI con estrés hídrico moderado (85% de la ETc) y con estrés hídrico severo (70% y 55% de la ETc). Con todos estos tratamientos encontraron que la proporción oleico/linoleico aumentó en condiciones de deficiencia hídrica moderada y disminuyó en condiciones de estrés hídrico más severo. Los ácidos grasos saturados e insaturados tuvieron variaciones entre tratamientos pero sin una tendencia clara y la concentración de tocoferoles se mantuvo estable bajo

condiciones de riego deficitario. Por otro lado, observaron como las diferentes condiciones climáticas de cada año tuvieron efectos sobre el desarrollo de las almendras, lo que demuestra que dentro de una misma plantación puede ser necesario tener diferentes estrategias de riego deficitario en cada año. Estos resultados sobre los efectos del riego deficitario y sobre la calidad de las almendras solo marcan el inicio de una nueva línea de investigación porque aún son muy desconocidos los procesos que producen estas variaciones dentro de los parámetros físicoquímicos. Así, por ejemplo, sería muy interesante conocer cómo funcionan las vías metabólicas y de síntesis del almendro para determinados compuestos, como los ácidos grasos o tocoferoles bajo un determinado umbral de estrés hídrico durante la fase de llenado del grano.

En este apartado es importante mencionar un término que ha surgido en los últimos años con la finalidad de diferenciar los productos alimentarios producidos bajo técnicas de riego deficitario, hidroSOS (en inglés, hydrosos). Los productos hidroSOS son aquellos producidos a partir de plantas sometidas a cierto nivel de estrés hídrico durante parte de su ciclo vegetativo y que se caracterizan por una mayor cantidad de compuestos bioactivos y mejor calidad organoléptica entre otras propiedades (Cano-Lamadrid et al., 2015; Carbonell-Barrachina et al., 2015; Lipan et al., 2018; Noguera-Artiaga et al., 2016; Sanchez-Rodriguez et al., 2019; Gutiérrez-Gordillo et al., 2020b; Massantini et al., 2022).

2.6.4. Particularidades del riego deficitario en viñedo

El riego deficitario en viñedo para vinificación tiene un objetivo diferente respecto del almendro u otros cultivos. En la mayoría de cultivos, el riego, tiene el objetivo de maximizar la productividad, pero en el caso de la vid, el aporte de agua en exceso provoca grandes productividades pero de una calidad mediocre para la elaboración de vinos de calidad. En general, el exceso de agua disponible para la vid a lo largo de su ciclo vegetativo está relacionado con uvas con baja concentración de azúcar, desequilibrios en la concentración de ácidos, bajas concentraciones de compuestos aromáticos y polifenoles (Matthews et al., 1990; Esteban et al., 2001). Al mismo tiempo, tenemos que tener en cuenta que una situación de estrés hídrico moderado o severo en determinadas fases del ciclo vegetativo de la vid pueden provocar reducciones significativas de la productividad y pérdidas en la calidad de las uvas (Koundouras et al., 2006; Romero et al., 2022). Así, en viticultura, existe la pregunta de

¿Cuándo debemos regar y cuánta agua se debe aplicar en un momento determinado? La respuesta radica en encontrar un equilibrio adecuado entre desarrollo vegetativo, productividad y calidad de las uvas.

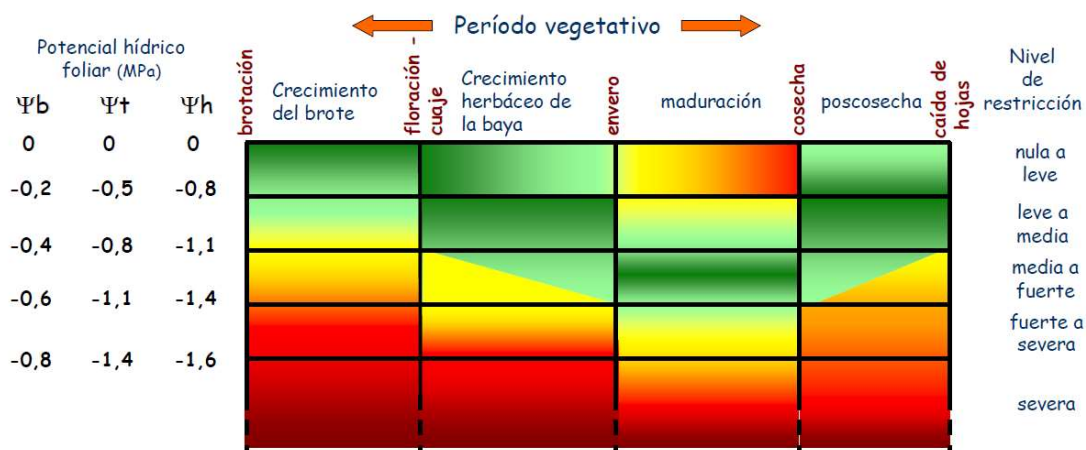


Figura 6. Estados hídricos óptimos (zonas en verde), desfavorables (amarillo) y perjudiciales (zonas en rojo) en función del período vegetativo del viñedo. (Adaptado de Ojeda, 2007). La equivalencia entre los diferentes potenciales hídricos está basada en trabajos científicos de Carbonneau (2002), Williams y Araujo (2002) y Sibille et al., (2005).

Ojeda (2007) estableció un modelo en base a un conjunto de trabajos de investigación y multitud de conocimientos científicos y empíricos a través del cual es posible establecer el estado hídrico óptimo en cada fase del ciclo vegetativo de la vid y la calidad de las uvas que pretendemos obtener (Fig. 6). Dependiendo del tipo de vino que se pretenda producir podemos mantener un nivel más negativo o menos en el viñedo. Lo importante es que sea cual sea el tipo de vino, escogeremos una estrategia que permanezca dentro de los umbrales óptimos (zonas verdes del modelo) para asegurar el máximo de rentabilidad y evitar los problemas asociados al exceso de agua o a la falta de ella.

A partir del modelo propuesto por Ojeda (2007) y otros trabajos científicos (Costa et al., 2007; Greer & Weston, 2010; Acevedo-Opazo et al., 2010; Sofó et al., 2012; Bonada et al., 2015; Hunter et al., 2018; Vilanova et al., 2019; Carrasco-Quiroz et al., 2020; Gutiérrez-Gamboa et al., 2021; Gil Cortiella et al., 2020) podemos definir los efectos del estrés hídrico en cada fase del ciclo vegetativo de la vid:

- *Periodo brotación - floración:*

En esta fase es conveniente que la planta no sufra estrés hídrico, ya que se producen crecimientos rápidos en las hojas y los pámpanos que posteriormente serán los órganos encargados de alimentar y soportar a los racimos. En la región mediterránea, de forma general, esta fase coincide con el inicio de la primavera, así las precipitaciones de esta época y el agua acumulada en el suelo a lo largo del invierno suelen ser suficientes para mantener la planta en buenas condiciones hídricas.

- *Periodo floración - cuajado:*

Al igual que en el periodo anterior, un estrés hídrico severo puede poner en riesgo la producción. En esta fase la falta de agua disponible para la planta puede provocar una mala fecundación de las flores o su desecación, reduciendo el número de uvas por racimo.

- *Periodo cuajado - envero:*

En esta fase se produce un gran crecimiento y desarrollo de las bayas, por lo que el estrés hídrico a lo largo de este periodo va a ser un factor limitante en el tamaño final de las bayas. Las dimensiones de las bayas es un factor de calidad dado que el hollejo es la parte donde se concentran mayor cantidad de sustancias químicas importantes en la elaboración del vino, sobre todo polifenoles, compuestos que van a tener un papel importante en el aroma y el color del vino. Así una restricción hídrica moderada, iniciada inmediatamente después del cuajado, reducirá el tamaño de la baya aumentando la concentración final de polifenoles y aromas. La parte negativa de esta situación es que se produce una reducción de la producción debido al menor tamaño de las bayas. Por otro lado, hay que mencionar que los racimos están más sueltos, al tener bayas de menor tamaño, más aireados y en consecuencia con menos probabilidad de padecer enfermedades. Es importante tener un control exhaustivo sobre el nivel de estrés hídrico en esta fase, si bien un nivel de estrés hídrico moderado puede ser beneficioso para la calidad de las bayas, un nivel de estrés severo puede reducir demasiado el tamaño de la baya e interferir de forma negativa en la biosíntesis de algunos compuestos como los polifenoles.

- *Periodo envero – maduración – cosecha.*

Viñedos con ausencia de estrés hídrico durante esta fase dan como resultado elevadas producciones pero de baja calidad. Si el objetivo del viticultor es producir uvas para la posterior elaboración de vinos con baja calidad, mostos concentrados o jugos de uva, este podría ser un método eficaz para obtener elevado rendimiento. En el lado opuesto, si el viñedo sufre un nivel severo de estrés hídrico, la biosíntesis de algunos compuestos se ve reducida, dado que la planta tiene tasas bajas de fotosíntesis y consume los pocos fotoasimilados que sintetiza en funciones vitales. Así podemos perder acumulación de azúcares, ácidos orgánicos y algunos polifenoles. Cuando los niveles de estrés hídrico son muy severos y la temperatura ambiental elevada se puede producir el fenómeno de contracción de las bayas. Este problema se asocia a la deshidratación de las bayas que genera la descomposición de las paredes celulares del parénquima del hollejo, estas últimas compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y pectina. Es en los estados hídricos intermedios donde podemos conseguir uvas de calidad, produciendo vinos con una concentración de aromas idónea, que también dependerá de otros factores productivos como la carga por cepa, la fertilización, etc.

- *Periodo post-cosecha – caída de hojas.*

Durante este periodo se producen dos fenómenos importantes que van a verse reflejados en la producción de los años siguientes. Por un lado se produce el crecimiento y renovación de raíces y por otro la vid acumula sustancias de reserva en sus diferentes partes, sobre todo en tronco y raíces, que tendrán un papel fundamental en la brotación del ciclo vegetativo siguiente. Para favorecer estos dos procesos, es conveniente que las plantas tengan poco estrés hídrico y consigan realizar sus procesos fotosintéticos sin problemas. De forma natural, en las regiones mediterráneas este periodo coincide con las primeras lluvias del otoño, por lo que puede no ser preciso regar. En la actualidad, con la presencia de las alteraciones climáticas, las vendimias cada vez son más tempranas y las primeras lluvias de otoño más tarde, por lo que este periodo ya ocupa varias semanas dentro del ciclo vegetativo de la vid.

2.6.5. Efectos del riego deficitario en la productividad y la calidad de la uva

En las últimas décadas, se han publicado multitud de trabajos para conocer los efectos del riego deficitario sobre diferentes parámetros de la productividad de la vid y la calidad de sus uvas. Podríamos decir que las conclusiones obtenidas son diferentes dado que en cada estudio existen muchos factores que pueden interferir: condiciones edáficas, condiciones climáticas, características del portainjerto y la variedad, manejo agrícola, etc. (Romero et al., 2018; Marques et al., 2020; Zombardo et al., 2020). Todos estos factores que dan origen y características propias a cada vino, aunque sean producidos a no muchos kilómetros de distancia, se denominan “terroir” (en francés) o terruño. El terroir es la confluencia de todos los factores abióticos como el clima, el suelo, la variedad y al mismo tiempo bióticos, como las técnicas culturales de cada viticultor, que van a influenciar las características de un vino (Magalhães, 2015; Van Leeuwen y Seguin, 2006). Sin embargo, de forma general, podemos afirmar que el riego deficitario manejado de forma adecuada para cada situación puede mejorar la rentabilidad de un viñedo encontrando un equilibrio entre productividad y calidad de las uvas (Ojeda, 2007; Costa et al., 2007; Romero et al., 2022).

Las diferentes estrategias de riego deficitario que se pueden aplicar permiten gestionar la cantidad de agua aplicada en el viñedo controlando así el crecimiento y vigor de las vides, mejorando la calidad de las uvas y la eficiencia en el uso del agua (WUE). En diferentes estudios (De la Hera et al., 2007; Intrigliolo and Castel 2010; Kyraleou et al., 2016; Torres et al., 2017a; Yu et al., 2022) se ha demostrado que el riego deficitario en comparación con riego pleno sufre una pérdida de rendimiento pero mejora sustancialmente la calidad de las uvas. Al mismo tiempo, en general vides con riego deficitario aumentan el rendimiento en comparación con vides en secano (Basile et al., 2012; dos Santos et al., 2007; Gouveia et al., 2012; Reynolds et al., 2007; Vilanova et al., 2019; Pérez-Álvarez et al., 2021). No obstante, algunos estudios no encontraron un aumento del rendimiento con aplicación de riego deficitario, sobre todo cuando las dosis de riego deficitario son muy bajas (Ayars et al., 2017; Trigo-Córdoba et al., 2015) lo que sugiere, como ya mencionamos anteriormente, que otros factores, como las condiciones climáticas, los sistemas de poda, la fertilización, etc. pueden tener efectos importantes en este parámetro (Vilanova et al., 2019).

La calidad de las bayas viene dada por una mayor concentración de compuestos químicos que van a proporcionar el aroma y las características deseadas al vino como son: azúcares que van a ser el principal alimento para las levaduras en el proceso de fermentación alcohólica; ácidos orgánicos, importantes para controlar y mantener estable el pH del mosto y posteriormente del vino, lo que favorece una fermentación adecuada del mosto y una conservación posterior del vino; compuestos nitrogenados, que son nutrientes importantes para los procesos de desarrollo y crecimiento de las levaduras durante la fermentación y finalmente compuestos que envuelven la parte organoléptica del vino como el color y los aromas, polifenoles, que generalmente están más presentes en el hollejo (taninos, antocianinas, flavonoides, etc.) (Matthews et al., 1990; Hidalgo, 1993; Vilanova et al., 2019). Debido al cambio climático, las condiciones de sequía cada vez son más prolongadas y los eventos de calor extremo más frecuentes (Santos et al., 2017; Blanco-Ward et al., 2019). Con esta situación la aplicación de riego deficitario es cada vez más recurrente como una técnica casi indispensable en algunas regiones para mantener el cultivo de la vid de forma rentable. Así, en los últimos años, multitud de estudios científicos han demostrado que el riego deficitario mejora los parámetros de calidad de las uvas para vinificación. Por ejemplo, Torres et al. (2017a) en un estudio con dos clones diferentes del cultivar tempranillo bajo riego pleno en comparación con riego deficitario encontró que este último mejoró el perfil de antocianos y flavonoides en las bayas. Una parte importante de compuestos presentes en las uvas para la elaboración de vino de calidad son los compuestos volátiles (Nagegowda et al., 2010; Wu et al., 2020; Jiange et al., 2010). Así el RDI puede mejorar la composición química de estos compuestos y sus precursores (Viognier, Tempranillo, Verdejo, Gewürztraminer, etc.) (Lun Ju et al., 2018; Vilanova et al., 2019; Wang et al., 2019; Valdés et al., 2019; Lizama et al., 2021).

2.7. Caolino

2.7.1. Introducción

El caolino comenzó a utilizarse como aplicación foliar en agricultura para el control y la prevención de plagas y enfermedades (Burgel et al., 2005; Bengochea et al., 2014; Glenn and Puterka, 2005; Puterka et al., 2000; Oliveira et al., 2022) dado que su utilización está autorizada en agricultura ecológica (Sánchez-Ramos et al., 2017; Benhadi-Marín et al., 2016). Por ejemplo, en almendro se han descrito estudios que

demuestran su efecto para el control *Monosteira unicostata* (Mulsant & Rey) (Sánchez-Ramos et al., 2014; Marcotegui et al., 2015) y de *Panonychus ulmi* en viñedo (Dinis et al., 2020). También fue utilizado para reducir los efectos negativos de las bajas temperaturas sobre algunos cultivos (Glenn et al., 2001; Sharma et al., 2015). Con el tiempo, la aplicación foliar de caolino ha sido reconocida como uno de los mejores compuestos con capacidad reflectante para aliviar el estrés estival en los cultivos (Rosati, 2007a; Glenn et al., 2012; Cosic et al., 2018; Brito et al., 2019a).

El caolino ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) es un mineral blanco, químicamente inerte, no abrasivo, no tóxico y fácilmente dispersante en agua (Glen et al., 2005; Brito et al., 2019a). El caolino extraído de forma natural contiene trazas de óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de titanio (TiO_2) y la sílice cristalina que presenta (SiO_2) es un carcinógeno para los humanos que pueden contaminarse a través de la inhalación del mismo (Harben, 1995; Glenn and Puterka, 2005). Con el paso del tiempo, las tecnologías del procesamiento y purificación del caolino natural se ha mejorado y en la actualidad es posible producir partículas de caolino con tamaños de partícula específicos y altas propiedades reflectante de la luz (Glenn et al., 2002).

El caolino es fácilmente soluble en agua y cuando es aplicado en pulverización foliar sobre la superficie de la hoja, el agua se evapora dejando una película protectora de color blanco (Brito et al., 2019b). Las partículas del mineral que forman esta película sobre las hojas generan la reflexión de la luz parcialmente, incluyendo la radiación ultravioleta (UV), la radiación infrarroja (IR) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Glenn et al., 2012; Dinis et al., 2020; Luciani et al., 2020). Uno de los principales inconvenientes de las aplicaciones foliares de caolino es su facilidad de lavado de las hojas con las precipitaciones, por lo que puede ser preciso varias aplicaciones a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo.

2.7.2. Efectos del caolino en el estado hídrico y la actividad fisiológica

La reflexión que producen las partículas de caolino formando una película sobre las hojas ha demostrado ser una buena estrategia para reducir los tres tipos de estrés que se producen en algunos cultivos del área mediterránea en la época estival: estrés térmico, estrés luminoso y estrés hídrico. Las altas temperaturas, además de producir quemaduras en hojas y frutos, reducen la productividad de algunos cultivos. El caolino

provoca el reflejo de gran cantidad de radiación ultravioleta y radiación infrarroja, lo que resulta en una disminución de la temperatura de la hoja. Además, el caolino reduce la temperatura de todas las partes de la planta de forma general, como ha sido demostrado en tomate (Boari et al., 2015; AbdAllah, 2019b), en manzano (Glenn, 2009) en olivos (Denaxa et al., 2012; Brito et al., 2019b), en viñedo (Brillante et al., 2016; Dinis et al., 2020) y en almendros (Rosati et al., 2006). Por otro lado, hay que tener en cuenta que la reducción del exceso de radiación que llega al sistema fotosintético de la hoja provoca una reducción de los procesos naturales de fotoinhibición de las hojas, lo que se traduce en el incremento de la actividad fotosintética (Jifon et al., 2003; Conde et al., 2018).

Con la capacidad de reflexión del caolino, a priori se produce un efecto negativo que es la reducción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) por el sistema fotosintético de la hoja. Algunos estudios como Rosati et al. (2007b) y Glenn (2009) han demostrado que este efecto se contrarresta con la redistribución de la radiación dentro de las hojas más sombreadas en el interior del árbol. Así, Rosati et al. (2007b) estudio la absorción y distribución de la luz en nogales (*Juglans regia*) y en almendros (*Prunus dulcis*) con y sin aplicación foliar de caolino demostrando que se produce una reducción de un 20% aproximadamente de la PAR a nivel de las hojas plenamente expuestas al sol y que existe una redistribución debido al reflejo que provoca el caolino hacia las hojas del interior de la copa. Con todo lo anterior, Rosati et al. (2007b) concluyó que con la aplicación de caolino se aumentó un 9% la tasa de fotosíntesis neta en el conjunto del árbol. Glenn (2009) también apreció una mejor distribución de la luz dentro de la copa de manzanos, lo que mejoró la actividad fotosintética total.

La influencia de la aplicación foliar de caolino sobre el estado hídrico de las plantas ha sido estudiada en algunos experimentos con diferentes cultivos y variadas conclusiones. En general, la aplicación foliar de caolino mejoró el estado hídrico de las plantas (Denaxa et al., 2012; Boari et al., 2015; Nanos, 2015; Brillante et al., 2016; AbdAllah, 2019b; Dinis et al., 2018a; Brito et al., 2019b). Para poder evaluar el nivel de estrés hídrico, se han empleado diferentes mediciones, como son el potencial hídrico de base, el potencial hídrico de medio día, o el contenido relativo de agua en la hoja. En algunos estudios la aplicación de caolino no mejoró el nivel de estrés hídrico de las plantas. Existen algunos estudios en los dos cultivos, almendro y viñedo, en los que se

basa la presente tesis. Así Rosati et al. (2006) no encontró efectos significativos sobre la actividad fisiológica en la aplicación de caolino sobre almendros con baja dotación de riego y nivel moderado de estrés hídrico ni sobre árboles con un nivel de estrés hídrico bajo. En otros árboles cultivados en las mismas áreas mediterráneas que el almendro como es el olivo existen varios trabajos publicados. Así Nanos et al. (2015) encontró que los olivos tratados con caolino, tenía un potencial hídrico de medio día menos negativo que los olivos sin tratar. En viñedo, Brillante et al. (2016) reportó como el caolino mejoró los valores de potencial hídrico del cv. Cabernet Sauvignon en comparación con vides sin tratar y con vides con aplicación foliar de pinolene, otro compuesto utilizado con la misma finalidad que el caolino, en un experimento de tres años. Dinis et al., (2018b), en un experimento en viñedo dentro de la Región Demarcada del Duero (Portugal), encontró que la aplicación foliar de caolino mejoró el potencial hídrico de base en un 30% y el potencial hídrico de medio día en un 17% respecto de vides sin tratamiento.

Aunque la película de partículas de caolino formada sobre la superficie de la hoja no debería interferir sobre el intercambio gaseoso de las hojas de forma directa, existen estudios científicos con diferentes conclusiones. Esta disparidad entre los estudios se podría explicar teniendo en cuenta las diferentes características de cada caso, pues existen muchos factores a tener en cuenta como son las condiciones edafoclimáticas, el cultivar, el nivel de estrés hídrico de las plantas, incluso la forma de aplicación y la concentración de la misma. Para algunos autores el caolino favorece el intercambio de gases en condiciones ambientales de temperaturas elevadas y estrés hídrico (Glenn et al., 2010; Dinis et al., 2020), sin embargo, otros estudios no encontraron efectos de mejora en la actividad fotosintética con aplicaciones foliares de caolino (Wunsche et al., 2004; Brito et al., 2019b).

2.7.3. Efectos del caolino en la productividad y la calidad de los frutos

En general, la aplicación foliar de caolino tiene efectos positivos en la productividad de los cultivos: en almendro (Gharaghani et al., 2023) en viñedo (Correia et al., 2014; Brillante et al., 2016) en olivo (Brito et al., 2018b; Brito et al., 2021), en manzano (Glenn et al., 2003), en tomate (Cantore et al., 2009; Boari et al., 2016; AbdAllah et al., 2019b). Destacando los efectos en almendro, Gharaghani et al., (2023) realizaron un experimento con combinación de riego deficitario y aplicación foliar de

caolino a diferentes concentraciones. El caolino mejoró el desarrollo vegetativo de los almendros en todos los tratamientos de riego y solo presentó efectos positivos en el tratamiento con riego moderado, mejorando la actividad fisiológica y la productividad por árbol. En el tratamiento con estrés hídrico más severo no se encontraron efectos significativos, salvo que el caolino redujo la caída de hojas debidas a este tipo de estrés.

Los tratamientos con caolino producen diferentes efectos sobre la calidad de los frutos. De forma general, al producir la reflexión de la radicación, reducen las quemaduras en los frutos en gran medida (Melgarejo et al., 2004; Shellie y King, 2013b; Sarooghinia et al., 2020; Hamdy et al., 2022). Glenn et al. (2009) reportó que la aplicación de caolino en manzano redujo las quemaduras solares, mejoró el color exterior y aumentó el tamaño de los frutos. Gharaghani et al. (2023) reportó que la aplicación de caolino mejoró algunos parámetros de la calidad de las almendras, como son el peso de la pepita y el porcentaje de aceite. Brito et al. (2021) observó que el caolino aumentó el peso medio de las aceitunas, la materia fresca y seca de las mismas, así como la relación pulpa/hueso. También, se vio mejorado el rendimiento en aceite y algunos parámetros de calidad del aceite.

2.8. Subproductos vitivinícolas

2.8.1. Introducción

El cultivo de la vid y el proceso de elaboración del vino generan una importante cantidad de subproductos, como hojas, sarmientos, raspones, hollejos, semillas, lías y fangos (ITACyL, 2022). En la actualidad hay un creciente interés en la valorización de subproductos generados en las diferentes etapas de la cadena productiva de la uva y el vino. En las regiones vitivinícolas se genera un gran volumen de estos productos secundarios y su eliminación se está convirtiendo no solo en un problema ambiental y ecológico, sino también económico, dado que la gestión de estos materiales produce grandes costes a los agentes productivos lo que implica una reducción de los beneficios (OIV, 2018). En la actualidad se están desarrollando nuevas tecnologías para potenciar el aprovechamiento de estos subproductos. Gran parte de ellos tienen un alto contenido en compuestos funcionales y bioactivos que pueden ser extraídos mediante diferentes técnicas y posteriormente, reciclarse para la cadena alimentaria como aditivos funcionales para obtener nuevos alimentos funcionales sostenibles o incluso

adicionados al vino para mejorar la calidad de este (Kalli et al., 2018; Spigno et al., 2017). Uno de los mayores problemas de algunos de estos subproductos es que se generan en un corto periodo de tiempo, un mes aproximadamente, dado que son producidos durante el proceso de la vendimia y las primeras fases de elaboración del vino. Así una bodega, durante el periodo de vendimia tiene la responsabilidad de gestionar una gran cantidad de raspones, semillas y hollejos.

2.8.2. Tipos y usos

En la Figura 7 se presentan de forma esquematizada las actividades más importantes que se realizan en el viñedo y en la bodega para la obtención de uvas y posteriormente de vino. Dentro de los subproductos se puede hacer una diferenciación a partir de si es posible su aprovechamiento para tener un valor añadido o no. Así, podemos denominar “subproductos” a aquellos productos secundarios que se generan a lo largo de la cadena productiva del vino con o sin impacto ambiental negativo y que pueden ser reciclados para la obtención o no de un valor agregado. Por otro lado, podemos hablar de “residuos” cuando tenemos un producto secundario de la actividad vitivinícola con o sin un impacto ambiental negativo que no es apto para reciclaje ni posee valor añadido alguno (OIV, 2018). Por otro lado, podemos distinguir entre los materiales secundarios que se producen en la viña, como son los sarmientos y las hojas y los que se generan en la bodega como son los orujos, compuesto por raspones, semillas y hollejos y las lías. Conviene mencionar, que dependiendo del tipo de elaboración de vino algunos de los materiales van a producirse por separado o en conjunto. Por ejemplo, en la elaboración de vino blanco, el orujo, llamado “orujo de mosto” se genera inmediatamente después del prensado de los racimos y está conformado por hollejos, semillas y raspones, representado entre un 12 y un 25% del peso total de los racimos procesados (Zhang et al., 2017). Por el contrario, el orujo derivado de la vinificación de vino tinto, denominado “orujo de vino”, está compuesto mayoritariamente por hollejos y semillas dado que el raspón se elimina previamente y se estima que corresponde entre el 11 y el 22% del peso de los racimos procesados (Zhang et al., 2017). De forma general, el orujo de vino es valorizado por las destilerías para la obtención de alcohol, de donde va a salir otro subproductos, el “orujo agotado” (Toscano et al., 2013).



Figura 7. Diagrama de procesos en los que se generan subproductos dentro de las actividades vitivinícolas anuales. Adaptado de ITACyL (2022).

- Madera de poda

Durante los meses de invierno en el viñedo se realiza la poda invernal o poda en seco lo que genera uno de los principales subproductos en términos de cantidad, los restos de madera de poda. Este material es de carácter lignocelulósico y se genera en grandes cantidades, aproximadamente entre 2 y 4 toneladas por hectárea en un viñedo adulto (Pachón et al., 2020). Estos restos de poda generalmente son triturados en la viña e incorporados al suelo con la finalidad de aumentar el contenido de materia orgánica y revertir los nutrientes al suelo (Novello, 2014). Otra forma típica de eliminación de estos residuos es la quema. En general, cada vez existen más restricciones a la quema de restos de poda, o de cualquier otro residuo agrícola, dado que este proceso es potencialmente peligroso debido a la liberación de compuestos cancerígenos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y por otro lado aumentan la liberación de gases de efecto invernadero (Florindo et al., 2022). A veces, esta técnica de quemar los restos vegetales en el viñedo, se emplea para combatir enfermedades y plagas (Tomoiaga y Chedea, 2020). Los restos de poda también se pueden utilizar como fuente de biomasa para la producción de energía o para la obtención de pulpa de papel (Maj et al., 2022). También se pueden utilizar para la producción de nuevas fuentes de energía mediante la conversión de la biomasa lignocelulósica en etanol a través de la descomposición con

bacterias y hongos (Prasad et al., 2019; Giorio et al., 2019; Florindo et al., 2022). Finalmente, algunos estudios han evaluado que los restos de poda pueden ser una fuente prometedora de sustancias químicas con alto valor fitoquímico como los compuestos fenólicos (Gorena et al., 2014; Kandyliis, 2021; Moreira et al., 2018).

- Hojas

Durante el ciclo vegetativo de la vid, podemos encontrar determinadas operaciones culturales que causan el corte de hojas. A veces, esta retirada de las hojas de la vid se hace para provocar determinados efectos deseados en la planta y en otras ocasiones, sucede de forma indirecta, al llevar a cabo operaciones de cultivo, como por ejemplo durante la vendimia mecanizada. De forma general las hojas, quedan sobre la superficie del suelo hasta su descomposición sin dificultar otras operaciones ni causando problemas de otro tipo por lo que su aprovechamiento no ha tenido la repercusión de otros subproductos de la industria vitivinícola. Además de en la viña, las hojas pueden aparecer en la bodega, mezcladas con los racimos y es aquí donde ya es necesario gestionar su aprovechamiento o eliminación. De forma general, podemos distinguir algunos momentos del ciclo vegetativo de la vid en el que la realización de prácticas culturales u otras actividades provocan el corte o la eliminación de las hojas de la planta y por lo tanto en este momento podrían ser aprovechadas para obtener un valor añadido. Así podemos encontrar hojas como subproductos durante la poda en verde o despunta, después del deshojado de la zona de los racimos, durante la vendimia mecanizada, la maquina provoca que gran cantidad de hojas se suelten de la planta, en la bodega durante el proceso de selección y limpieza de racimos, etc., (Togores y Fernández-Cano, 2011). Desde hace miles de años las hojas de vid se han empleado como alimento en algunos países de Europa, el norte de África y Oriente Medio. En algunos países como Turquía o Grecia, su consumo es elevado (Dani et al., 2010). Su utilización culinaria se da de diferentes formas, generalmente, en fresco y en salmuera (Güler y Candemir, 2014; Ünver et al., 2007). Las hojas de vid rellenas, formando un rollito se elabora de diversas formas en la mayoría de los países mediterráneos, los Balcanes y la geografía desde Oriente Medio hasta el Cáucaso (Dogan et al., 2015). Las hojas de vid también son utilizadas por la industria cosmética dada su riqueza en ácidos orgánicos, lípidos y polifenoles (Ahmad, et al., 2020). Se han identificado algunos compuestos en las hojas de la vid, entre ellos flavonoides, antocianinas, aminoácidos,

ácidos orgánicos, vitaminas, carbohidratos, grasas, procianidinas, terpenos, enzimas y carotenoides (Deliorman Orhan et al., 2009; Kosar et al. al. ., 2007). Algunos de los compuestos presentes en las hojas, principalmente compuestos fenólicos, como taninos, flavonoides, y antocianinas producen importantes actividades biológicas (Dani et al., 2010; Güler & Candemir, 2014; Kosar et al., 2007; Fernandes et al., 2013a). Finalmente, se han llevado a cabo algunos estudios para evaluar las propiedades beneficiosas de las hojas de vid para la salud humana. Por ejemplo, Dani et al. (2010) comprobaron la buena capacidad protectora sobre el deterioro oxidativo de los lípidos y las proteínas en los tejidos del cerebro de los extractos de hojas de vid. Meng et al. (2021) observaron que los extractos de hojas tienen buenos efectos para la disminución del colesterol sérico y el control de la obesidad. Escasos estudios tienen evaluado los efectos de algunos factores que pueden afectar a la composición de las hojas o a su respuesta bioactiva. Por ejemplo, Fernandes et al. (2013a) y Lima et al. (2016) evaluaron la composición bioquímica y la capacidad antioxidante de diferentes cultivares y Griesser et al. (2015) evaluaron el efecto del estrés hídrico sobre la composición de polifenoles y volátiles en hojas de Pinot noir.

- Raspones

Este subproducto aparece cuando se realiza el despallado de las uvas antes de la fermentación. La cantidad generada puede variar entre el 2 y el 12% del peso de los racimos procesados, dependiendo de numerosos factores, como la variedad, el tamaño de las bayas, el rendimiento del despallado, etc. Se acostumbra a utilizar como enmienda orgánica al suelo (Bustamante et al., 2008), aumentando el contenido de materia orgánica del mismo, aunque dada su elevada relación C/N es importante que sea combinado con sustancias activadoras de la biodegradación como pueden ser con estiércol de origen animal o urea (Bustamante et al., 2007; Oliveira y Duarte, 2016). Los raspones son ricos en fibra y su valor nutricional es escaso también pueden ser empleados para la producción de alimentos para animales y humanos (Yari et al., 2017). Finalmente, existen algunos estudios que evaluaron la extracción de compuestos fenólicos como taninos, flavan-3-oles, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles monoméricos y oligoméricos y estilbenos, y compuestos lignocelulósicos como hemicelulosa, celulosa y lignina (Ping et al., 2011; Prozil et al., 2012; Spigno et al., 2008). Algunos de estos compuestos presentan cierta actividad antimicrobiana,

bacteriana y fúngica con lo que se podrían aplicar en alimentos para mejorar su conservación (Filippi et al., 2019; Buffeteau et al., 2022).

- *Orujo de vino*

Es el material sobrante después del proceso de fermentación y prensado de las uvas y está compuesto por hollejos, pulpa, semillas y restos de raspones (Bordiga et al., 2019). Es el principal subproducto de la bodega, dado que representa el 20-25% del peso total de la uva procesada para la elaboración de vino (Yu et al., 2013). Su composición es muy variada pudiendo encontrar alcoholes, ácidos, aldehídos, ésteres, pectinas, polifenoles, sustancias minerales, azúcares, antocianinas, catequinas, glucósidos de flavonol, ácidos fenólicos, etc. (Pinelo et al., 2006; García-Lomillo et al., 2017). Generalmente, el orujo de uva se procesa para producir alcohol y ácido tartárico, produciéndose un nuevo subproducto en la industria de destilación, denominado comúnmente, orujo agotado (Muhlack et al., 2018). Este subproducto es rico en lignocelulosa y puede utilizarse como combustible para producir energía, incorporado al suelo como enmienda orgánica o incluso como mulching, para cubrir la superficie del suelo en algunos cultivos (Paradelo et al., 2009). En la actualidad también se están mejorando las técnicas de extracción de algunos compuestos químicos como los polifenoles de este subproducto (Fontana et al., 2013; Ahmad et al., 2020).

- *Semillas*

Las semillas representan en torno al 5% del peso de una uva (Choi & Lee, 2009) y son una parte importante del orujo, correspondiendo entre el 38 y el 52% de la materia seca del mismo (Maier et al., 2009). Las semillas son ricas en compuestos antioxidantes, como la vitamina E y compuestos fenólicos, fitoesteroles, fibras, proteínas, carbohidratos y minerales, pero especialmente en lípidos (Barba et al., 2016). Por esta razón, tradicionalmente las semillas de uva se han aprovechado para la extracción de aceite, siendo uno de los subproductos de la industria enológica con mayor valor agregado (del Mar Contreras et al., 2022). En la actualidad, el aceite de semilla de uva está siendo muy utilizado en aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y cosméticas debido a su alto contenido en ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico, esenciales para el metabolismo humano por la falta de enzimas responsables de su

biosíntesis. El ácido linoleico, tienen una gran importancia en la salud humana dado que ayuda a reducir el colesterol (Yang et al., 2021b; Lachman et al., 2015)

Después del proceso de extracción del aceite de las semillas de uva surge otro residuo sólido que puede ser utilizado como enmienda orgánica en agricultura, como material para producir energía a partir de su combustión o para la extracción de compuestos bioactivos. Así, en la actualidad se están desarrollando diferentes técnicas de extracción. Como ejemplo, podemos mencionar el estudio de Gómez-Mejía et al. (2022) en el cual aplicó una metodología de dispersión de matriz en fase sólida para extraer polifenoles como los ácidos gálico, dihidroxibenzoico, p-cumárico y transferúlico o el resveratrol, la quercetina y el kaempferol. Posteriormente en este mismo estudio, Gómez-Mejía et al. (2022) observaron un potente efecto de inhibición de la peroxidación lipídica, junto con la reducción de la agregación de la proteína beta-amiloide, lo que se indica que estos extractos ricos en compuestos fenólicos pueden servir como un ingrediente antioxidante y neuroprotector alternativo para formulaciones alimentarias o farmacéuticas, teniendo efectos positivos en el combate a la enfermedad del Alzheimer. Otros estudios también han encontrado efectos beneficiosos en la utilización de aceite de semillas de uva en el tratamiento del Alzheimer (Berahmand et al., 2020).

2.8.3. Efectos del régimen hídrico sobre la composición química y la bioactividad de los subproductos vitivinícolas

De forma general las plantas han desarrollado varias respuestas de adaptación para mitigar los efectos del estrés hídrico y las altas temperaturas de la época estival. Una de las más empleadas es el cierre de los estomas de las hojas y mantener una acumulación de solutos compatible con la disponibilidad de agua dentro de la planta para minimizar el potencial hídrico negativo y evitar la deshidratación (Skirycz and Inze, 2010). La vid es una planta perfectamente adaptada a condiciones de estrés hídrico y que generalmente parte de su ciclo vegetativo se ve influenciada por el mismo, sobre todo si queremos producir uvas de calidad para la elaboración de vino (Fig. 6) (Ojeda, 2007). Así, los mecanismos con los que la vid gestiona esta falta de agua van a implicar la síntesis de ciertas sustancias químicas que posteriormente se pueden acumular en los sub-productos y esas sustancias pueden ser beneficiosas para el aprovechamiento de los

mismos. En respuesta al estrés hídrico los cultivares de vid han sido clasificados como isohídricos o anisohídricos (Schultz, 2003). Las plantas con comportamiento isohídrico tienen la capacidad de reducir la conductancia estomática con el cierre de los estomas durante las horas centrales del día para reducir las pérdidas de agua, en cambio las que tienen un comportamiento más anisohídrico mantienen sus estomas abiertos incluso cuando el potencial hídrico disminuye a niveles severos (Levin et al., 2019). El cierre y la abertura de los estomas está regulado principalmente por el ABA que es la señal que envían las raíces hacia las hojas para regular la conductancia estomática (Marusig y Tombesi, 2020). También existen genes, denominados acuaporinas que han sido identificadas como claves en el funcionamiento y la regulación de la absorción y el transporte de agua desde las raíces hasta el resto de la planta (Perrone et al., 2012) dos de estos genes, VvPIP2;1 y VvPIP2;2 han sido descritos como determinantes en situaciones de estrés hídrico (Vandeleur et al., 2009). Los niveles de estrés hídrico influyen de gran forma en el metabolismo primario y secundario de la vid, teniendo impactos en los contenidos de las sustancias químicas presentes en las diferentes partes de la planta como los carbohidratos, las proteínas, los polifenoles, los compuestos volátiles orgánicos, etc. (Grimplet et al., 2009; Lawo et al., 2011; Schoedl et al., 2013). Existen algunos estudios que han evaluado como afecta el nivel de estrés hídrico y el riego deficitario a la concentración de los mismos. Así, algunos estudios en viñedo apreciaron que el déficit hídrico mejoró la acumulación de compuestos fenólicos, especialmente antocianinas (Niculcea et al., 2014, Kyraleou et al., 2016) debido a efectos directos sobre la expresión de los genes y el metabolismo de los flavonoides (Castellarin et al., 2007a). Las antocianinas, junto con otros compuestos como la prolina (Doupis et al., 2011) y los tocoferoles (Cela et al., 2011) participan en la protección contra la formación excesiva de especies reactivas de oxígeno (del inglés- Reactive Oxygen Species - ROS), como oxígeno singlete, superóxido, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilo que forman parte de la respuesta genérica de las plantas al estrés y son moléculas que desempeñan importantes funciones de señalización para provocar respuestas de defensa en la planta (Munné-Bosch, 2005; Vickers et al., 2009). Por lo tanto, las vides sintetizan diferentes sustancias, como metabolitos secundarios y antioxidantes de forma a prevenir el daño de los ROS en las proteínas de la membrana celular (Cela et al., 2011; Salomón et al., 2016). Griesser et al. (2015) evaluaron el efecto del estrés hídrico sobre la composición de polifenoles y compuestos volátiles en hojas del cv Pinot noir, concluyendo que diferentes grupos de metabolitos primarios y

secundarios de las hojas están influenciados significativamente por las condiciones de estrés hídrico severo, aumentando su concentración en función del nivel de estrés. Entre ellos, el ácido cítrico y el ácido glicérico fueron fuertemente influenciados por las condiciones de estrés hídrico a corto plazo, sin embargo, los polifenoles solo aumentaron su concentración en situaciones de estrés hídrico más prolongado. Kyrleou et al. (2016) observaron que el riego deficitario aumentó la concentración de antocianinas en la piel de las uvas respecto de tratamientos con riego pleno. Estos compuestos químicos son el grupo más importante de pigmentos solubles en agua en las plantas y se consideran componentes importantes en la nutrición humana, debido a sus capacidades antioxidantes y anticancerígenos (Stintzing and Carle, 2004; You et al., 2011). Bertamini et al. (2021) observaron que la biosíntesis de terpenos volátiles en las hojas de vid aumentaba cuando las condiciones de estrés hídrico y el calor eran más severos, lo que sugiere que estos compuestos tienen algún papel fundamental en la mitigación de estos tipos de estrés en la vid. Aún existen muchas dudas de cómo afecta el estrés hídrico, el calor y la alta intensidad de radiación solar a la concentración de diferentes sustancias químicas que pueden ser importantes para el aprovechamiento de subproductos mediante la extracción de las mismas, por lo que es necesario avanzar con estudios que concreten más estos conocimientos.



CHAPTER 3

Adapting almond production to climate change through deficit irrigation and foliar kaolin application in Mediterranean climate

Chapter published as journal article:

Barreales, D., Capitão, S., Bento, A.A., Casquero, P.A., & Ribeiro, A.C. (2023). Adapting almond production to climate change through deficit irrigation and foliar kaolin application in a Mediterranean climate. *Atmosphere*. 14, 1593. <https://doi.org/10.3390/atmos14101593>



CHAPTER 4

Effects of regulated deficit irrigation and kaolin foliar application on nut quality parameters of almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb]

Chapter published as journal article:

Barreales, D., Fernandes, Â., Barros, L., Capitão, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Effects of regulated deficit irrigation and foliar kaolin application on quality parameters of almond (*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 103, 7227–7240. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12807>

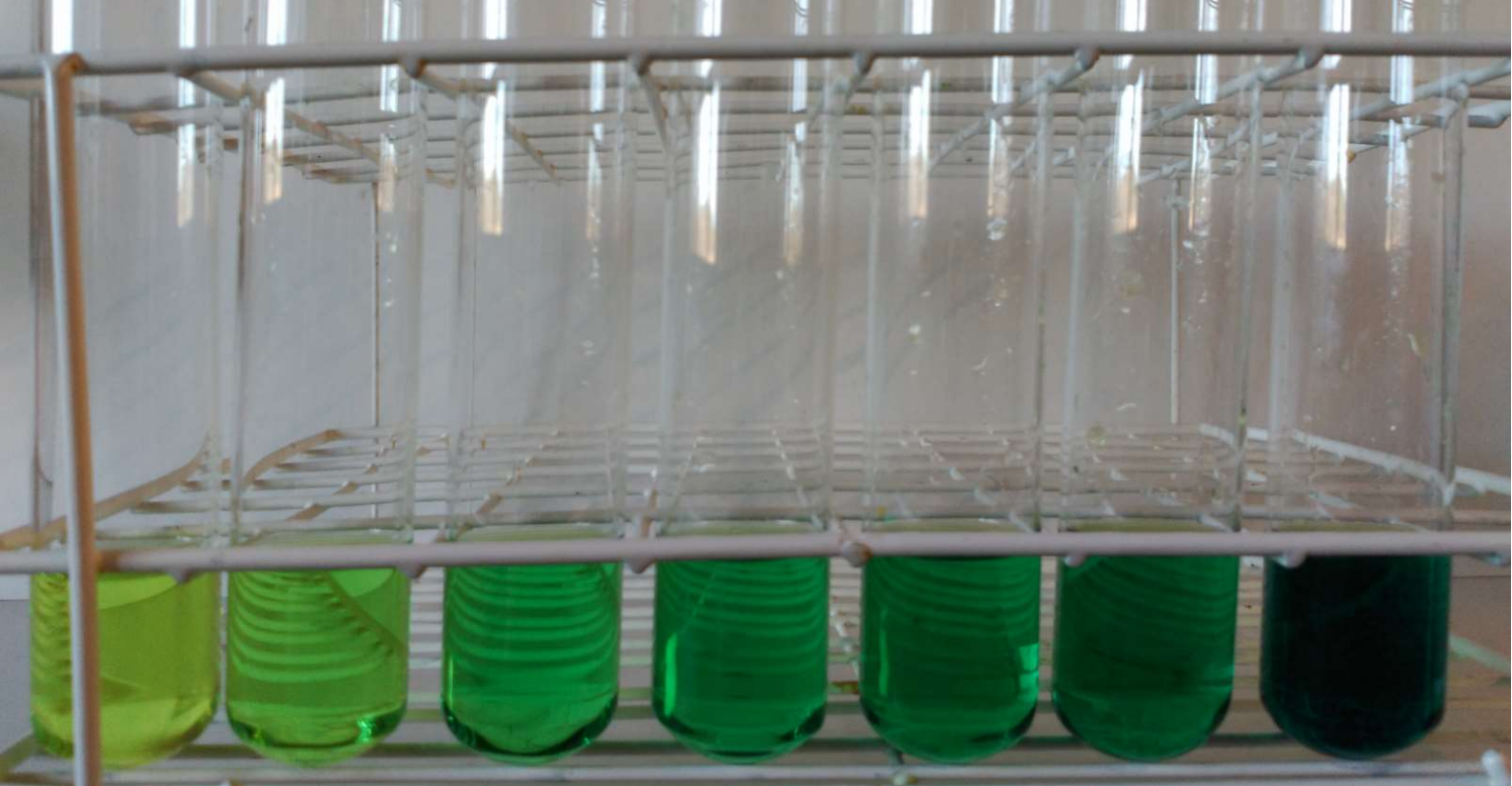


CHAPTER 5

Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition

Chapter published as journal article:

Barreales, D., Pereira, J. A., Casal, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition. *Scientia Horticulturae*, 321, 112262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112262>



CHAPTER 6

**Response of irrigation and collected moment on
grapevine leaf (*Vitis vinifera* L. var. Touriga Nacional):
evaluation of phytochemical composition and
antioxidant properties.**

Chapter published as journal article:

Barreales, D., Malheiro, R., Pereira, J.A., Verdial, J., Bento, A., Casquero, P.A., & Ribeiro, A.C. (2019). Effects of irrigation and collection period on grapevine leaf (*Vitis vinifera* L. var. Touriga Nacional): Evaluation of the phytochemical composition and antioxidant properties. *Scientia Horticulturae*, 245, 74–81. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12685>.



CHAPTER 7

Effects of deficit irrigation on the chemical composition of grapevine seeds.

Chapter submitted as journal article:

Barreales, D., Pereira, J. A., Cruz, R., Casal, S., & Ribeiro, A. C. (2023). Effects of deficit irrigation on the chemical composition of grapevine seeds. Submitted to *Industrial Crops and Products*.



CHAPTER 8

Conclusiones y perspectivas futuras

8.1. Conclusiones

En la actualidad la agricultura se enfrenta a muchos factores que limitan su objetivo principal, producir alimentos de una forma sostenible con el medio ambiente. A nivel mundial, cada año la población aumenta, con lo que proporcionalmente las necesidades de producir alimentos aumentan, sin embargo, la superficie cultivable continúa siendo la misma o incluso se ve reducida por causa de la erosión o la contaminación de los suelos. Las alteraciones climáticas en el área mediterránea son también un problema actual que limita enormemente la capacidad productiva de los cultivos. La escasez de agua para la producción agrícola cada vez es más fuerte en las zonas semiáridas de la cuenca mediterránea y también en otras regiones del mundo. Por lo tanto, tenemos que buscar fórmulas para mejorar la producción de alimentos, reducir el consumo de agua de riego e intentar conservar el medio ambiente y la biodiversidad de la naturaleza. Para esto, los trabajos científicos y la aplicación de nuevas tecnologías pueden mejorar los rendimientos de los cultivos utilizando los mínimos recursos de la naturaleza posibles. Por otro lado, la actividad agrícola genera residuos que es preciso gestionar de forma a reducir su impacto en el medio ambiente y el primer paso para poder establecer vías de aprovechamiento es la caracterización fisicoquímica de estos subproductos para encontrar el valor añadido de los mismos. Con todo, en la presente tesis se aplicaron diferentes técnicas para reducir los efectos del estrés hídrico sobre el almendro y la vid para estudiar los efectos de las mismas en diferentes parámetros: fisiológicos, agronómicos, fisicoquímicos y bioquímicos.

Los capítulos 3; 4 y 5 abordaron el estudio de dos técnicas de riego deficitario (sostenido y regulado) combinados en algunos casos con la aplicación foliar de caolino como sustancia reflectante y comparando estos tratamientos con condiciones de control en secano y en riego pleno. Así podemos destacar las siguientes conclusiones:

- El riego deficitario regulado durante la fase de llenado del grano provoca un aumento del nivel de estrés hídrico en los almendros respecto de los regados plenamente, sin tener una repercusión negativa en su actividad fotosintética.
- Respecto de la productividad, RDI durante la fase de llenado del grano afecto de forma diferente a la productividad acumulada de tres años de los almendros de los cultivares evaluados en el mismo experimento, por un lado, Constantí no presenta

perdidas de productividad significativas respecto del tratamiento con riego pleno, mientras que Vairo sufre una ligera reducción. Lo que demuestra la importancia de conocer el comportamiento de cada cultivar bajo diferentes técnicas de cultivo y condiciones edafoclimáticas antes de realizar una plantación.

- La aplicación foliar de caolino en su combinación con RDI, no afecta al estado hídrico de los almendros, ni a su actividad fisiológica, ni a su productividad.
- El caolino aplicado en condiciones de secano no afecta a la productividad del cv. Ferragnès.
- La aplicación de RDI en el cv. Constantí permite ahorrar hasta $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de agua de riego sin tener repercusiones en su productividad en las condiciones edafoclimáticas del nordeste de Portugal.
- La aplicación de riego deficitario sostenido (SDI) mejora significativamente la productividad del cv. Ferragnès en comparación con almendros en condiciones de secano. Al mismo tiempo, el riego SDI con reducción baja del aporte de agua (70% ETc) no presenta reducciones de productividad respecto del tratamiento con riego pleno.
- El riego SDI permite un ahorro de agua aproximado de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el cv. Ferragnès sin perder productividad respecto de almendros regados plenamente en las condiciones edafoclimáticas del nordeste de Portugal.
- El riego SDI mejora las características morfológicas de las almendras en comparación con almendras producidas en secano del cv Ferragnès. Destacando como aumento significativamente el peso de la pepita en los tratamientos con SDI respecto del secano y no se produjeron reducciones significativas entre estos tratamientos SDI y el riego pleno.
- El riego SDI moderado (35% ETc) mejora la concentración de tocoferoles totales respecto de tratamientos con mayor dotación de riego y respecto de tratamientos en secano.
- La aplicación de RDI en almendros del cv. Constantí a lo largo de tres años no reduce la calidad nutricional de las almendras en comparación con las producidas en riego pleno.
- Tanto las dos técnicas de riego deficitario evaluado (RDI y SDI) como la aplicación foliar de caolino mejoran o igualan los parámetros de calidad evaluados. Por lo tanto, estas técnicas pueden servir como alternativa viable para

comercializar las almendras obtenidas como productos “*HydroSOS*” y conseguir un mayor valor comercial.

Los capítulos 6 y 7 abordaron el problema de la gestión de residuos en el sector vitivinícola a partir de su aprovechamiento como fuente de compuestos químicos y al mismo tiempo conocer la influencia del régimen hídrico sobre la riqueza en estos compuestos.

- Las hojas de vid son ricas en compuestos fenólicos lo que se correlaciona con una elevada capacidad antioxidante, con lo que pueden poseer un valor añadido para la obtención de extractos naturales con elevadas propiedades bioactivas que podrían ser utilizados para la incorporación a alimentos funcionales.
- El aumento de la dotación de agua de riego disminuye la concentración de los compuestos fenólicos, por lo tanto, tratamientos de riego deficitario con bajos aportes de agua favorecen la obtención de hojas con mayor riqueza fenólica.
- El periodo de recogida de las hojas afecta a su composición bioquímica y actividad antioxidante; el inicio del envero es el estado fenológico donde presentaron mayor concentración en compuestos fenólicos y mejor capacidad antioxidante.
- El riego deficitario mejora el estado hídrico y la tasa fotosintética de los dos cvs de vid evaluados, TF y TN. Sin embargo, el cv. TF parece estar mejor adaptado a las condiciones de estrés hídrico que TN al mostrar mejores valores de tasa fotosintética.
- El riego deficitario provoca un aumento del peso de las uvas y una disminución en el porcentaje en peso de las semillas dentro del peso total de la uva.
- En lo que respecta a la composición volátil de la harina fresca de semillas de uva, el TF presenta una mayor concentración total que el TN independientemente de estar o no bajo riego deficitario. Esto puede ser un factor importante a tener en cuenta durante el proceso de elaboración de vino.
- Las semillas de los dos cultivares presentan un elevado contenido de aceite, destacando la mayor riqueza de las semillas de TF respecto de las semillas de TN.
- El aceite de semilla de uva de los dos cvs evaluados presenta un contenido elevado de ácidos grasos polinsaturados y monoinsaturados y en menor proporción de saturados. Esto indica que este tipo de aceite contiene compuestos

beneficios para la salud humana. En este sentido el ácido oleico y el ácido linoleico fueron los que presentaron mayor concentración. Destacando como el contenido de ácido oleico es mayor en los tratamientos en secano respecto de las semillas provenientes de vides bajo riego deficitario, independientemente del cultivar.

- Los aceites de semillas de uva también presentan un contenido elevado de tocoferoles y tocotrienoles no mostrando diferencias significativas entre cultivares, pero si entre tratamientos con riego deficitario y secano. Así, el riego deficitario aumenta la concentración de los tocoferoles pero disminuye la de tocotrienoles.

8.2. Conclusions

Currently, agriculture faces many challenges that limit its main objective, to produce food in an environmentally sustainable way. Every year, the world population increases, so it is necessary to increase food production. However, the cultivable area remains the same or is even reduced due to erosion or soil contamination. Furthermore, climatic changes in the Mediterranean area are also a current problem that significantly impacts crop production capacity. The water scarcity in agricultural production is increasing in the semi-arid areas of the Mediterranean basin and other regions. Consequently, it is necessary to find solutions to improve food production, reduce water consumption for irrigation, and preserve the environment and biodiversity. Thus, scientific studies and the application of new technologies can improve crop yields using less natural resources. On the other hand, agricultural activities generate waste, which must be managed to minimize environmental impact. Therefore, the first step is to perform their physicochemical characterization to develop new approaches for using agricultural by-products into value-added products. In the present work, different techniques were applied to reduce the effects of water stress on the almond tree and the vine to study their effects on various physiological, agronomic, physicochemical and biochemical parameters.

Chapters 3; 4 and 5 addressed the study of two deficit irrigation techniques (sustained and regulated) combined in both cases with the kaolin foliar application as a reflective substance and comparing these treatments with control conditions in rainfed and in full irrigation. Thus, we can highlight the following conclusions:

- Regulated deficit irrigation during the kernel-filling stage causes an increase in the level of water stress in almond trees compared to full irrigation ones without having a negative impact on their photosynthetic activity.
- Regarding yield, during the kernel-filling stage, RDI affected the three-year accumulated yield of the cultivars almond trees evaluated in the same experiment differently. On the one hand, Constantí does not present significant yield losses compared to the treatment with full irrigation, while Vairo suffers a slight reduction. This demonstrates the importance of knowing the behavior of each cultivar under different cultivation techniques and soil-climatic conditions before planting.
- The kaolin foliar application in combination with RDI does not affect the water stress of the almond trees, the physiological activity and yield.
- Kaolin applied in rainfed conditions does not affect the productivity of the cv. Ferragnès.
- The application of RDI in the cv. Constantí saves up to 1000 m³ ha⁻¹ year⁻¹ of irrigation water without affecting its yield in the edaphoclimatic conditions of northeastern Portugal.
- The application SDI significantly improves the yield of the cv. Ferragnès compared to almond trees in rainfed conditions. At the same time, SDI irrigation with a low reduction in water input (70% ETc) does not present reductions in productivity compared to the treatment with full irrigation.
- SDI irrigation allows an approximate water saving of 1000 m³ ha⁻¹ year⁻¹ for the cv. Ferragnès without losing yield compared to full irrigation almond trees in the edaphoclimatic conditions of northeastern Portugal.
- SDI irrigation improves the morphological characteristics of almonds compared to almonds produced in rainfed from the Ferragnès cv. Noteworthy is how seed weight increased significantly in the SDI treatments compared to the rainfed, and there were no significant reductions between these SDI treatments and full irrigation.
- Moderate SDI irrigation (35% ETc) improves the concentration of total tocopherols of almonds compared to treatments with greater irrigation and rainfed treatments.

- The application of RDI in almond trees of cv. Constantí over three years does not reduce the nutritional quality of almonds compared to those produced under full irrigation.
- Both the two evaluated deficit irrigation techniques (RDI and SDI) and the kaolin foliar application improve or equal the evaluated quality parameters. Therefore, these techniques can serve as a viable alternative to market the almonds obtained as “*HydroSOS*” products and achieve greater commercial value.

Chapters 6 and 7 addressed the problem of waste management in the wine sector based on its use as a source of chemical compounds and, at the same time, knowing the water regime's influence on the richness of these compounds.

- Grapevine leaves are rich in phenolic compounds, which correlates with a high antioxidant capacity, which may have added value for obtaining natural extracts with high bioactive properties that could be used for incorporation into functional foods.
- The increase in water irrigation decreases the concentration of phenolic compounds; therefore, deficit irrigation treatments with low water contributions favor obtaining leaves with more phenolic richness.
- The period of leaf collection affects their biochemical composition and antioxidant activity. The beginning of veraison is the phenological stage where they presented the highest concentration of phenolic compounds and the best antioxidant capacity.
- Deficit irrigation improves the water status and photosynthetic rate of the two grapevine cvs evaluated, TF and TN. However, the cv. TF seems to be better adapted to water stress conditions than TN by showing better photosynthetic rate values.
- Deficient irrigation causes an increase in the weight of the grapes and a decrease in the weight percentage of the seeds within the total weight of the grapes.
- Regarding the volatile composition of fresh grape seed flour, TF presents a higher total concentration than TN regardless of whether or not it is under deficit irrigation. This can be an important factor to consider during the winemaking process.

- The grapevine seeds of the two cultivars have a high oil content, highlighting the greater richness of the TF seeds compared to the TN seeds.
- The grape seed oil of the two CVs evaluated has a high content of polyunsaturated and monounsaturated fatty acids and a lower proportion of saturated ones. This indicates that this type of oil contains compounds beneficial to human health. In this sense, oleic and linoleic acid had the highest concentration. Highlighting how the oleic acid content is higher in rainfed treatments compared to seeds from vines under deficit irrigation, regardless of the cultivar.
- Grape seed oils also have a high content of tocopherols and tocotrienols, showing no significant differences between cultivars but between treatments with deficit irrigation and rainfed. Thus, deficit irrigation increases the concentration of tocopherols but decreases that of tocotrienols.

8.3. Perspectivas futuras

A partir de los resultados del presente estudio para cada uno de los temas estudiados surgen nuevas preguntas e ideas que pueden promover algunos trabajos futuros:

- Aunque ya existen algunos trabajos al respecto, sería interesante aumentar los conocimientos sobre cuáles son los cultivares y portainjertos de almendro mejor adaptados a las diferentes modalidades de riego deficitario dependiendo de las condiciones edafoclimáticas. En muchas ocasiones, los estudios científicos están realizados en campos pertenecientes a centros de investigación, donde se cuida hasta el más mínimo detalle. Una vez que sacamos ese material vegetal del centro de investigación y lo colocamos en condiciones de campo diferentes, mucho más limitadas (condiciones edafoclimáticas, plagas, enfermedades, entre otras) y en manos de agricultores con reducidos conocimientos técnicos, los resultados no son los esperados.
- En la presente tesis, los años de duración de los experimentos de campo fueron limitados a uno, dos o tres y asumimos que este periodo puede ser corto para obtener algunas conclusiones, pero las condiciones económicas y el periodo de estudio doctoral limitan la duración de los experimentos. En un futuro sería interesante poder tener resultados de experimentos con más años de duración a

fin de eliminar los factores bióticos y abióticos que pueden afectar a los resultados de los parámetros que se pretenden evaluar.

- Además del caolino, existen otros tipos de sustancias reflectantes o con poder de estimulación que sería interesante estudiar de forma combinada entre ellas y con diferentes técnicas de riego deficitario.
- Algunos estudios dan ideas del poder de reflexión de la radiación solar que tiene el caolino hacia partes sombreadas de la copa de los árboles. Pero aún son muy limitados los conocimientos al respecto y si la aplicación de caolino podría tener efectos beneficiosos como el aumento de la actividad fotosintética en sistemas de formación con una copa más cerrada, como sería un muro frutal o las nuevas plantaciones de almendros en seto.
- Llevar los resultados al conocimiento de los agricultores. En el nordeste de Portugal, donde se han realizado los experimentos de campo, existen en la actualidad muchas explotaciones agrícolas que han realizado pequeñas plantaciones de almendros y los agricultores intentan aplicar algunas técnicas como el riego deficitario o la aplicación de caolino pero con muchas dudas y dificultades ante la falta de conocimientos. Por eso, sería interesante que los resultados obtenidos en esta tesis y otros estudios científicos pudiesen ser transformados en conocimientos para los pequeños agricultores y mejorar la rentabilidad de las explotaciones de almendros.
- Respecto a los compuestos fenólicos en las hojas de vid y su capacidad antioxidante, sería interesante conocer más detalladamente cuál es su función en las vías metabólicas de la planta en condiciones de estrés hídrico severo, moderado y bajo y compararlo con situaciones de confort hídrico. Por ejemplo, apreciamos que la concentración de tocoferoles en las almendras y en las semillas de uva en especial α -tocoferol, tiene relación directa con el nivel de estrés hídrico de la planta. Estos compuestos tienen una importante función de protección de las membranas fotosintéticas contra varios tipos de especies reactivas de oxígeno (ROS) en situaciones de estrés hídrico. Así, sería conveniente que algún trabajo futuro consiguiera ampliar los conocimientos sobre la mayor acumulación o menor de compuestos fenólicos en hojas de vid: en que épocas se acumulan más estos compuestos, que factores edafoclimáticos y culturales pueden influenciar esta acumulación y cuál es su papel dentro de la fisiológica de la vid en la protección de la misma en situaciones de estrés

hídrico, altas temperaturas y elevada intensidad de radiación solar. En el mismo sentido, aún faltan conocimientos sobre la relación de diferentes tipos de compuestos con propiedades antioxidantes dentro de la vid, por ejemplo, como hemos citado anteriormente, los tocoferoles y su relación con los compuestos fenólicos.

- Las semillas de vid presentaron un alto porcentaje de lípidos en su composición y al mismo tiempo los lípidos mostraron gran riqueza en compuestos beneficiosos para la salud humana, siendo la mayoría de estos compuestos influenciados por el régimen hídrico. Así, aún existe pocos conocimientos sobre la relación entre el estrés hídrico de la vid y su influencia en el metabolismo de estas sustancias de carácter lipídico. Por lo que sería interesante la realización de más estudios sobre este tema.



REFERENCES

- Abbasi, T., & Abbasi, S.A. (2010). Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 919–937. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.006>
- Abdala-Valencia, H., Berdnikovs, S., & Cook-Mills, J. M. (2013). Vitamin E isoforms as modulators of lung inflammation. *Nutrients*, 5(11), 4347-4363. <https://doi.org/10.3390/nu5114347>
- AbdAllah, A.M., Mashaheet, A.M., Zobel, R., & Burkey, K.O. (2019a). Physiological basis for controlling water consumption by two snap beans genotypes using different antitranspirants. *Agriculture Water Management*, 214, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.029>
- AbdAllah, A. (2019b). Impacts of Kaolin and Pinoline foliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: A comparative study. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.08.001>
- Abdi, S., Abbaspur, N., Avestan, S., & Barker, A. V. (2016). Sana physiological responses of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars to Cycocel™ treatment during drought. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(3), 211-219. <https://doi.org/10.1080/14620316.2015.1123405>
- Acevedo-Opazo, C., Ortega-Farias, S., & Fuentes, S. (2010). Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: an irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agriculture Water Management*. 97, 956–964. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.025>
- Adams, R.P. (2007). Identification of essential oil components by gas-chromatography/mass spectrometry, 4th ed. Allured Business Media, Illinois.
- Ahmad, B., Yadav, V., Yadav, A., Rahman, M. U., Yuan, W. Z., Li, Z., & Wang, X. (2020). Integrated biorefinery approach to valorize winery waste: A review from waste to energy perspectives. *Science of the Total Environment*, 719, 137315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137315>

- Alasalvar, C., & Shahidi, F. (Eds.). (2008). Tree nuts: composition, phytochemicals, and health effects. CRC press. Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA., 215–235. <https://doi.org/10.1201/9781420019391>
- Alcon, F., Egea, G., & Nortes, P. A. (2013). Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. *Irrigation Science*, *31*, 931-941. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0369-6>
- Alem, H., Rigou, P., Schneider, R., Ojeda, H., & Torregrosa, L. (2019). Impact of agronomic practices on grape aroma composition: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(3), 975-985. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9327>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 300, D05109.
- Alleweldt, G., & Possingham, J. V. (1988). Progress in grapevine breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, *75*, 669-673. <https://doi.org/10.1007/BF00265585>
- Ali, Q., Ashraf, M., & Anwar, F. (2009). Physico-chemical attributes of seed oil from drought stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Grasas y aceites*, *60*(5), 477-483. <https://doi.org/10.3989/gya.021009>
- Álvarez, S., Martín, H., Barajas, E., Rubio, J. A., & Vivaldi, G. A. (2020). Rootstock effects on water relations of young almond trees (cv. Soleta) when subjected to water stress and rehydration. *Water*, *12*(12), 3319. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.029>.
- Álvarez-Maldini, C., Acevedo, M., Estay, D., Aros, F., Dumroese, R. K., Sandoval, S., & Pinto, M. (2022). Examining physiological, water relations, and hydraulic vulnerability traits to determine anisohydric and isohydric behavior in almond (*Prunus dulcis*) cultivars: Implications for selecting agronomic cultivars under changing climate. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 974050. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.974050>
- Alves, F., J. Costa, P. Costa, C. Correia, B. Gonçalves, R. Soares, & J. Moutinho-Pereira (2012). “Influence of climate and deficit irrigation on grapevine physiology, yield and quality attributes, of the cv. Touriga Nacional at Douro Region.” In: IXth International Terroirs Congress 2012.

- Ammoniacci, M., Kartsiotis, S. P., Perria, R., & Storchi, P. (2021). State of the art of monitoring technologies and data processing for precision viticulture. *Agriculture*, 11(3), 201. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030201>
- Andelković, M., Radovanović, B., Andelković, A.M., & Radovanović, V. (2015). Phenolic compounds and bioactivity of healthy and infected grapevine leaf extracts from red varieties Merlot and Vranac (*Vitis vinifera* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 70, 317–323. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0496-3>.
- AOAC International (ed.). (2016). Official methods of analysis of AOAC International. 20th Edition. Gaithersburg: AOAC International.
- Apel, K. & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signaling transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Arquero O. (2013). Manual del Almendro. Sevilla (España). Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía.
- Ascenso, A., Gama, C., Blanco-Ward, D., Monteiro, A., Silveira, C., Viceto, C., et al. (2021). Assessing Douro vineyards exposure to tropospheric ozone. *Atmosphere*, 12(2), 200. <https://doi.org/10.3390/atmos12020200>
- Askin, M. A., Balta, M. F., Tekintas, F. E., Kazankaya, A., & Balta, F. (2007). Fatty acid composition affected by kernel weight in almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb.] genetic resources. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(1), 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.06.005>
- Ayars, J.E., Abrisqueta, I., Parry, C., Perry, A., McElRone, A.J. (2017). Water management of irrigated Cabernet Sauvignon grapevines in semi-arid areas. *American Journal of Enology and Viticulture*. 68, 458–467. <https://doi.org/10.5344/ajev.2017.17022>
- Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., Velasco-Muñoz, J. F., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1120-1132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.066>
- Azzi, A., (2019). Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenols: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox Biology*., 26, 101259. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259>

- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H., & Buchbauer, G. (2008). Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. *Food chemistry*, *108*(3), 1122-1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.063>
- Balestrini, R., Brunetti, C., Cammareri, M., Caretto, S., Cavallaro, V., Cominelli, E., et al. (2021). Strategies to modulate specialized metabolism in Mediterranean crops: From molecular aspects to field. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(6), 2887. <https://doi.org/10.3390/ijms22062887>
- Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Orlie, V. (2016). Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *49*, 96-109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.006>.
- Barreales, D., Pereira, J. A., Casal, S., & Ribeiro, A. C. (2023a). Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition. *Scientia Horticulturae*, *321*, 112262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112262>
- Barreales, D., Fernandes, Â., Barros, L., Capitão, S., & Castro Ribeiro, A. (2023b). Effects of regulated deficit irrigation and foliar kaolin application on quality parameters of almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12807>
- Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., et al. (2020). Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*, *12*(3), 672. <https://doi.org/10.3390/nu12030672>
- Barreira, J. C., Casal, S., Ferreira, I. C., Peres, A. M., Pereira, J. A., & Oliveira, M. B. P. (2012). Supervised chemical pattern recognition in almond (*Prunus dulcis*) Portuguese PDO cultivars: PCA-and LDA-based triennial study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*, 38, 9697-9704. <https://doi.org/10.1021/jf301402t>
- Basile, B., Girona, J., Behboudian, M. H., Mata, M., Rosello, J., Ferré, M., & Marsal, J. (2012). Responses of “Chardonnay” to deficit irrigation applied at different phenological stages: vine growth, must composition, and wine quality. *Irrigation Science*, *30*, 397-406. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0353-1>

- Beillouin, D., Ben-Ari, T., & Makowski, D. (2019). Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14(12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4449>
- Bellvert, J., Nieto, H., Pelechá, A., Jofre-Čekalović, C., Zazurca, L., & Miarnau, X. (2021). Remote sensing energy balance model for the assessment of crop evapotranspiration and water status in an almond rootstock collection. *Frontiers in Plant Science*, 12, 608967. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.608967>
- Bengochea, P., Saelices, R., Amor, F., Adán, Á., Budia, F., del Estal, P., et al. (2014). Non-target effects of kaolin and coppers applied on olive trees for the predatory lacewing *Chrysoperla carnea*. *Biocontrol Science and Technology*, 24(6), 625-640. <https://doi.org/10.1080/09583157.2014.884212>
- Benhadi-Marín, J., Pereira, J. A., & Santos, S. A. (2016). Effects of kaolin particle films on the life span of an orb-weaver spider. *Chemosphere*, 144, 918-924. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.069>
- Berahmand, F., Anoush, G., Hosseini, M. J., & Anoush, M. (2020). Grape seed oil as a natural therapy in male rats with Alzheimer's diseases. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 10(3), 430. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.052>
- Beres, C., Freitas, S. P., de Oliveira Godoy, R. L., de Oliveira, D. C. R., Deliza, R., Iacomini, M., et al. (2019). Antioxidant dietary fibre from grape pomace flour or extract: Does it make any difference on the nutritional and functional value?. *Journal of functional foods*, 56, 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.03.014>
- Berker, K., Güçlü, K., Tor, I., & Apak, R. (2007). Comparative evaluation of Fe (III) reducing power-based antioxidant capacity assays in the presence of phenanthroline, batho-phenanthroline, tripyridyltriazine (FRAP) and ferricyanide reagents. *Talanta*, 72, 1157-1165. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.01.019>
- Bernardo, S., Dinis, L.T., Machado, N., & Moutinho-Pereira, J. (2018). Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 66. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0544-0>

- Bertamini, M., Faralli, M., Varotto, C., Grando, M. S., & Cappellin, L. (2021). Leaf monoterpene emission limits photosynthetic down regulation under heat stress in field-grown grapevine. *Plants*, 10(1), 181. <https://doi.org/10.3390/plants10010181>
- Besufkad, A. & E. Woltering (2015). Ethylene, 1-MCP and the Anti-Transpirant Effect of Active Compound-Film Forming Blend. *Journal of Horticulture*, 2: 153. <https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000153>
- Beveridge, T. H., Girard, B., Kopp, T., & Drover, J. C. (2005). Yield and composition of grape seed oils extracted by supercritical carbon dioxide and petroleum ether: varietal effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1799-1804. <https://doi.org/10.1021/jf040295q>
- Bielsa Pérez, B., Montesinos Jóven, Á., Espiau Ramírez, M. T., Ansón Hernández, J. M., Jaime Cuello, S., Laya, D., et al., (2021). Mejora genética del almendro: pasado, presente y futuro. <http://hdl.handle.net/10532/5365>
- Blanco-Ward D, Monteiro A, Lopes M, Borrego C, Silveira C, Viceto C, et. al. (2019). Climate change impact on a wine-producing region using a dynamical downscaling approach: Climate parameters, bioclimatic indices and extreme indices. *International Journal of Climatology*. 39:5741–5760. <https://doi.org/10.1002/joc.6185>
- Blanco-Ward, D., Rocha, A., Viceto, C., Ribeiro, A. C., Feliciano, M., Paoletti, E., & Miranda, A. I. (2021). Validation of meteorological and ground-level ozone WRF-CHIMERE simulations in a mountainous grapevine growing area for phytotoxic risk assessment. *Atmospheric Environment*, 259, 118507. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118507>
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M.I., & Cantore, V. (2015). Particle film technology: a supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management*. 147, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I., & Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management*, 167, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.021>

- Bonada, M., Jeffery, D. W., Petrie, P. R., Moran, M. A., & Sadras, V. O. (2015). Impact of elevated temperature and water deficit on the chemical and sensory profiles of Barossa Shiraz grapes and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21 (2), 240–253. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12142>.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.
- Bordiga, M., Travaglia, F., & Locatelli, M. (2019). Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 933-942. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14118>.
- Boulanouar, B., Abdelaziz, G., Aazza, S., Gago, C., & Miguel, M. G. (2013). Antioxidant activities of eight Algerian plant extracts and two essential oils. *Industrial Crops and Products*, 46, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.020>.
- Bouzas-Cid, Y., Falqué, E., Orriols, I., & Mirás-Avalos, J. M. (2018). Effects of irrigation over three years on the amino acid composition of Treixadura (*Vitis vinifera* L.) musts and wines, and on the aromatic composition and sensory profiles of its wines. *Food Chemistry*, 240, 707-716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.013>
- Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L., Poni, S., & Tomasi, D. (2016). Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. *PLoS One*, 11(6), e0156631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>.
- Brito, C., Dinis, L.-T., Ferreira, H., Rocha, L., Pavia, L., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2018a). Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to cyclic water deficit. *Plant Physiology and Biochemistry*. 133, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.028>.
- Brito, C., Dinis, L.-T., Silva, E., Gonçalves, A., Matos, C., Rodrigues, M.A., et al. (2018b). Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and

- phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. *Scientia Horticulturae*. 237, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.019>.
- Brito, C., Dinis, L.T., José Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2019a). Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae*. 250, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>.
- Brito, C., Dinis, L.-T., Luzio, A., Silva, E., Gonçalves, A., Meijón, M., et al. (2019b). Kaolin and salicylic acid alleviate summer stress in rainfed olive orchards by modulation of distinct physiological and biochemical responses. *Scientia Horticulturae*. 246, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.059>
- Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., Pinto, L., Rocha, L. et al. (2021). Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 277, 109795. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109795>
- Brodersen, C. R., Roddy, A. B., Wason, J. W., & McElrone, A. J. (2019). Functional status of xylem through time. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 407-433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100455>.
- Bubola, M., Sivilotti, P., Janjanin, D., & Poni, S. (2017). Early leaf removal has a larger effect than cluster thinning on grape phenolic composition in cv. Teran. *American Journal of Enology and Viticulture*, 68(2), 234-242. <https://doi.org/10.5344/ajev.2016.16071>.
- Buffeteau, G., Hornedo-Ortega, R., Gabaston, J., Daugey, N., Palos-Pinto, A., Thienpont, A., et al. (2022). Chiroptical and potential in vitro anti-inflammatory properties of viniferin stereoisomers from grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Food Chemistry*, 393, 133359. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133359>
- Bustamante, M.A., Moral, R., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., & Pérez-Murcia, M.D. (2008). Agrochemical characterisation of the solid byproducts and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*. 28 (2), 372–380.
- Bustamante, M. A., Pérez-Murcia, M. D., Paredes, C., Moral, R., Pérez-Espinosa, A., & Moreno-Caselles, J. (2007). Short-term carbon and nitrogen mineralisation in

- soil amended with winery and distillery organic wastes. *Bioresource technology*, 98(17), 3269-3277. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.013>
- Butzer, K. W. (1976). *Early hydraulic civilization in Egypt*. Chicago: University of Chicago Press.
- Butzer, K. W., Mateu, J. F., Butzer, E. K., & Kraus, P. (1985). Irrigation agrosystems in eastern Spain: Roman or Islamic origins. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(4), 479-509. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1985.tb00089.x>
- Bürgel, K., Daniel, C., & Wyss, E. (2005). Effects of autumn kaolin treatments on the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* (Pass.) and possible modes of action. *Journal of Applied Entomology*, 129(6), 311-314. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00968.x>
- Cabral, I. L., Teixeira, A., Lanoue, A., Unlubayir, M., Munsch, T., Valente, J., et al. (2022). Impact of Deficit Irrigation on Grapevine cv. 'Touriga Nacional' during Three Seasons in Douro Region: An Agronomical and Metabolomics Approach. *Plants*, 11(6), 732. <https://doi.org/10.3390/plants11060732>
- Caleja, C., Ribeiro, A., Filomena Barreiro, M., & CFR Ferreira, I. (2017). Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. *Current pharmaceutical design*, 23(19), 2787-2806. <https://doi.org/10.2174/1381612822666161227153906>.
- Cano-Lamadrid, M., Lipan, L., Calín-Sánchez, Á., Hernández, F., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2017). A Comparative Study Between Labeling and Reality: The Case of Phytochemical Composition of Commercial Pomegranate-Based Products. *Journal of Food Science*, 82(8), 1820-1826. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13788>
- Cantore, V., Pace, B., & Albrizio, R., (2009). Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. *Environmental and Experimental Botany*. 66, 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.008>
- Carbonell-Barrachina, Á. A., Memmi, H., Noguera-Artiaga, L., Gijón-López, M. D. C., Ciapa, R., & Pérez-López, D. (2015). Quality attributes of pistachio nuts as

- affected by rootstock and deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(14), 2866-2873. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7027>
- Carbonneau (2002). Gestion de l'eau dans le vignoble: théorie et pratique. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 21, 455-467.
- Carrasco-Quiroz, M., Martínez-Gil, A. M., Gutiérrez-Gamboa, G., & Moreno-Simunovic, Y. (2020). Effect of rootstocks on volatile composition of Merlot wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(8), 3517-3524 <https://doi.org/10.1002/jsfa.10395>.
- Casas-Agustench, P., Salas-Huetos, A., & Salas-Salvadó, J. (2011). Mediterranean nuts: origins, ancient medicinal benefits and symbolism. *Public health nutrition*, 14(12A), 2296-2301. <https://doi.org/10.1017/S1368980011002540>
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. (2007a). Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*. 227, 101–112. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0598-8>
- Castellarin, S. D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., & Di Gaspero, G. (2007b). Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant, Cell & Environment*, 30(11), 1381-1399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01716.x>.
- Cela, J., Arrom, L., & Munné-Bosch, S. (2009). Diurnal changes in photosystem II photochemistry, photoprotective compounds and stress-related phytohormones in the CAM plant, *Aptenia cordifolia*. *Plant science*, 177(5), 404-410. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.07.001>
- Cela, J., Chang, C., & Munné-Bosch, S. (2011). Accumulation of γ -rather than α -tocopherol alters ethylene signaling gene expression in the *vte4* mutant of *Arabidopsis thaliana*. *Plant and cell physiology*, 52(8), 1389-1400. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr085>
- Cela U. J. (2012). Regulación de la biosíntesis de la vitamina E y su función en señalización celular en condiciones de estrés abiótico. Doctoral thesis. Universidad de Barcelona.

- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K.H.M., (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36, 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>
- Chamchaiyaporn, T., Jutamane, K., Kasemsap, P., Vaithanomsat, P., & Henpitak, C. (2013). Effects of kaolin clay coating on mango leaf gas exchange, fruit yield and quality. *Agriculture and Natural Resources*, 47(4), 479-491. <https://doi.org/10.1111/mpp.12141>.
- Chappell, M. J., & LaValle, L. A. (2011). Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. *Agriculture and human values*, 28, 3-26. <https://doi.org/10.1007/s10460-009-9251-4>
- Chen, S. Y., Zhang, X. Y., Pei, D., Sun, H. Y., & Chen, S. L. (2007). Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. *Annals of Applied Biology*, 150(3), 261-268. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00144.x>
- Cherif, A., Dubacq, J., Mache, R., Oursel, A., & Tremolieres, A. (1975). Biosynthesis of α -linolenic acid by desaturation of oleic and linoleic acids in several organs of higher and lower plants and in algae. *Phytochemistry*, 14(3), 703-706. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(75\)83018-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(75)83018-4)
- Chivenge, P., Mabhaudhi, T., Modi, A.T., & Mafongoya, P. (2015). The potential role of neglected and underutilised crop species as future crops under water scarce conditions in sub-Saharan Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12, 5685–5711. <https://doi.org/10.3390/ijerph120605685>
- Choi, Y., & Lee, J. (2009). Antioxidant and antiproliferative properties of a tocotrienol-rich fraction. *Food Chemistry*, 114, 1386–1390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.018>
- Conesa, M. R., Falagán, N., de la Rosa, J. M., Aguayo, E., Domingo, R., & Pastor, A. P. (2016). Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in ‘Crimson Seedless’ table grapes. *Agricultural Water Management*, 163, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.026>.

- Cook, B. I., Anchukaitis, K. J., Touchan, R., Meko, D. M., & Cook, E. R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *121*(5), 2060-2074. <https://doi.org/10.1002/2015JD023929>.
- Cornacchia, R., Amodio, M. L., Colelli, G., & Tortosa, P.A.N. (2010). Effect of irrigation water reduction strategies on quality at harvest and during storage of in-shell almonds. In *VI International Postharvest Symposium*. Erkan M, Aksoy U, Eds. Int Soc Horticultural Science 877:251–259.
- Conde, A., Neves, A., Breia, R., Pimentel, D., Dinis, L. T., Bernardo, S., et al. (2018). Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of plant physiology*, *223*, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.02.004>
- Correia, C., Dinis, L.-T., Pinheiro, R., Fraga, H., Ferreira, H., Gonçalves, I., et al. (2014). Climate change and adaptation strategies for viticulture. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*. *2*, 424–429. <https://doi.org/10.13140/2.1.2377.0242>
- Costa, J. M., Ortuño, M. F., & Chaves, M. M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of integrative plant biology*, *49*(10), 1421-1434. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x>
- Costa, J. M., Ortuño, M. F., Lopes, C. M., & Chaves, M. M. (2012). Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit. *Functional Plant Biology*, *39*(3), 179-189. <https://doi.org/10.1071/FP11156>
- Costa, C., Graça, A., Fontes, N., Teixeira, M., Gerós, H., & Santos, J. A. (2020). The interplay between atmospheric conditions and grape berry quality parameters in Portugal. *Applied Sciences*, *10*(14), 4943. <https://doi.org/10.3390/app10144943>
- Ćosić, M., Stricevic, R., Djurovic, N., Lipovac, A., Bogdan, I., & Pavlovic, M. (2018). Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. *Scientia Horticulturae*. *238*, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>.
- Ćosić, M., Djurović, N., Todorović, M., Maletić, R., Zečević, B., & Stričević, R. (2015). Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and

- water use efficiency of sweet pepper. *Agricultural Water Management*, 159, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.014>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., et al., 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>.
- Cutillas, A. M., Plaza, M. E. G., Roca, J. M. L., & de la Hera Orts, M. L. (2004). Effects of moderate irrigation on vegetative growth and productive parameters of Monastrell vines grown in semiarid conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 273-282. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-81>.
- Dani, C., Oliboni, L. S., Agostini, F., Funchal, C., Serafini, L., Henriques, J. A., & Salvador, M. (2010). Phenolic content of grapevine leaves (*Vitis labrusca* var. Bordo) and its neuroprotective effect against peroxide damage. *Toxicology in Vitro*, 24(1), 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.08.006>.
- da Silva, P. S. O., de Oliveira Junior, L. F. G., de Mattos, E. C., dos Santos Maciel, L. B., dos Santos, M. P. F., Sena, E. D. O. A., et al. (2019). Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). *Scientia Horticulturae*, 252, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>
- Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.006>
- Del Amor, F. M., Cuadra-Crespo, P., Walker, D. J., Cámara, J. M., & Madrid, R. (2010). Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO₂ and water stress. *Journal of Plant Physiology*, 167 (15), 1232-1238. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.010>
- De la Hera, M. L., Romero, P., Gomez-Plaza, E., & Martinez, A. (2007). Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions?. *Agricultural water management*, 87(3), 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.001>

-
- del Mar Contreras, M., Romero-García, J. M., López-Linares, J. C., Romero, I., & Castro, E. (2022). Residues from grapevine and wine production as feedstock for a biorefinery. *Food and Bioproducts Processing*, 134, 56-79. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.005>
- del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. A., et al. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-climate regions (MCRs). *Sustainability*, 11(10), 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>
- Deliorman Orhan, D., Orhan, N., Özçelik, B., & Ergun, F. (2009). Biological activities of *Vitis vinifera* L. leaves. *Turkish Journal of Biology*, 33, 341–348. <https://doi.org/10.3906/biy-0806-17>.
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Schlauch, K. A., et al. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC genomics*, 10(1), 1-33. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-212>.
- Devi, S. and Singh, R. (2017). Evaluation of antioxidant and anti-hypercholesterolemic potential of *Vitis vinifera* leaves. *Food science and human wellness*. 6, 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2017.07.002>.
- Díez-Palet, I., Funes, I., Savé, R., Biel, C., de Herralde, F., Miarnau, X., et al. (2019). Blooming under Mediterranean climate: Estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach. *Agronomy*, 9(11), 760. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110760>
- Dinis, L.T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correira, C.M., & Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica* 54, 47–55 <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.
- Dinis, L. T., Malheiro, A. C., Luzio, A., Fraga, H., Ferreira, H., Gonçalves, I., et al. (2018a). Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: Water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*, 56, 641-651. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>
-

- Dinis, L. T., Bernardo, S., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., & Pintó-Marijuan, M., (2018b). Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. *Journal of Plant Physiology*, 220, 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>
- Dinis, L. T., Bernardo, S., Matos, C., Malheiro, A., Flores, R., Alves, S., et al. (2020). Overview of Kaolin Outcomes from vine to wine: Cerceal white variety case study. *Agronomy*, 10(9), 1422. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091422>
- Dixon, R.A., & Paiva, N.L. (1995). Stress-induced phenyl propanoid metabolism. *Plant Cell*, 7, 1085–1097. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>.
- Djurović, N., Ćosić, M., Stričević, R., Savić, S., & Domazet, M. (2016). Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia Horticulturae*, 201, 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.017>
- Doll, D., & Shackel, K. (2015). Drought tip: drought management for California almonds.
- Dogan, Y., Nedelcheva, A., Łuczaj, Ł., Drăgulescu, C., Stefkov, G., Maglajlić, A., et al. (2015). Of the importance of a leaf: the ethnobotany of sarma in Turkey and the Balkans. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0002-x>
- Dorfman, J., Dorfman, M., & Heien, D. (1988). Causes of almond yield variations. *California Agriculture*, 42(5), 27-28.
- Doshi, P., Adsule, P., & Banerjee, K. (2006). Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation. *International Journal of Food Science & Technology*, 41, 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01214.x>.
- dos Santos, T. P., Lopes, C. M., Rodrigues, M. L., de Souza, C. R., Ricardo-da-Silva, J. M., Maroco, J. P., ... & Chaves, M. M. (2007). Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, 112(3), 321-330. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.006>

- Doupis, G., Chartzoulakis, K., Beis, A., & Patakas, A., (2011). Allometric and biochemical responses of grapevines subjected to drought and enhanced ultraviolet-B radiation. *Australian Journal of Grape and Wine*. 17, 36e42. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00114.x>
- Drachmann, A. G. (1963). The mechanical technology of Greek and Roman antiquity. Madison: University of Wisconsin Press.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., McCarthy, M.G., Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Oeno One*, 35, 129-139. <https://doi.org/10.20870/oenone.2001.35.3.1699>.
- EFSA. European Food Safety Authority, Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32012R0432>. (2012)
- Egea, G., González-Real, M. M., Baille, A., Nortes, P. A., Sánchez-Bel, P., & Domingo, R. (2009). The effects of contrasted deficit irrigation strategies on the fruit growth and kernel quality of mature almond trees. *Agricultural water management*, 96(11), 1605-1614. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.017>
- Egea, G., Nortes, P. A., González-Real, M. M., Baille, A., & Domingo, R. (2010). Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97(1), 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.006>
- Egea, G., Nortes, P. A., Domingo, R., Baille, A., Pérez-Pastor, A., & Gonzalez-Real, M. M. (2013). Almond agronomic response to long-term deficit irrigation applied since orchard establishment. *Irrigation Science*, 31, 445-454. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0322-8>
- El Yaacoubi, A., Oukabli, A., Legave, J. M., Ainane, T., Mouhajir, A., Zouhair, R., & Hafidi, M. (2019). Response of almond flowering and dormancy to Mediterranean temperature conditions in the context of adaptation to climate variations. *Scientia Horticulturae*, 257, 108687. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108687>

- English, M. (1990). Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *116*(3), 399-412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1990\)116:3\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399))
- English, M., & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *32*(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01255-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01255-3)
- Esteban, M. A., Villanueva, M. J., & Lissarrague, J. R. (2001). Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(4), 409-420. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200103\)81:4<409::AID-JSFA830>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:4<409::AID-JSFA830>3.0.CO;2-H)
- Fahrenholtz, S. R., Doleiden, F. H., Trozzolo, A. M., & Lamola, A. A. (1974). On the quenching of singlet oxygen by α -tocopherol. *Photochemistry and photobiology*, *20*, 505-509. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1974.tb06610.x>
- Falqué, E., Ferreira, A. C., Hogg, T., & Guedes-Pinho, P. (2004). Determination of aromatic descriptors of Touriga Nacional wines by sensory descriptive analysis. *Flavour and fragrance journal*, *19*(4), 298-302. <https://doi.org/10.1002/ffj.1355>
- Fang, Y., & Qian, M. C. (2012). Development of C6 and other volatile compounds in Pinot Noir grapes determined by Stir Bar Sorptive Extraction-GC-MS. In *Flavor chemistry of wine and other alcoholic beverages* (pp. 81-99). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2012-1104.ch006>.
- FAO. (2017). The future of food and agriculture—Trends and challenges. *Annual Report*. 296, 1-180.
- FAO. (2021). The state of the world's land and water resources for food and agriculture Systems at breaking point. Synthesis report 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- FAOSTAT (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/> (accessed 13 September 2022).
- FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. (Accessed 2022 August 10).

- Faralli, M., Grove, I.G., Hare, M.C., Boyle, R.D., Williams, K.S., Corke, F.M.K., & Kettlewell, P.S. (2016). Canopy application of film antitranspirants over the reproductive phase enhances yield and yield-related physiological traits of water-stressed oilseed rape (*Brassica napus*). *Crop and Pasture Science*, 67, 751–765. <https://doi.org/10.1071/CP15421>.
- Farhadi, K., Esmailzadeh, F., Hatami, M., Forough, M., & Molaie, R. (2016). Determination of phenolic compounds content and antioxidant activity in skin, pulp, seed, cane and leaf of five native grape cultivars in West Azerbaijan province, Iran. *Food Chemistry*, 199, 847-855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.083>.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. Plant responses to drought stress: *From morphological to molecular features*, 1-33. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany*, 58(2), 147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Fernandes, F., Ramalhosa, E., Pires, P., Verdial, J., Valentão, P., Andrade, P., & Pereira, J. A. (2013a). *Vitis vinifera* leaves towards bioactivity. *Industrial crops and products*, 43 , 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.031>.
- Fernandes, L., Casal, S., Cruz, R., Pereira, J. A., & Ramalhosa, E. (2013b). Seed oils of ten traditional Portuguese grape varieties with interesting chemical and antioxidant properties. *Food Research International*, 50(1), 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.039>
- Fernandes, L., Pereira, J. A., López-Cortés, I., Salazar, D. M., Ramalhosa, E., & Casal, S. (2015). Fatty acid, vitamin E and sterols composition of seed oils from nine different pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.006>
- Fernandes de Oliveira, A., Mameli, M. G., De Pau, L., & Satta, D. (2023). Almond tree adaptation to water stress: differences in physiological performance and yield responses among four cultivar grown in Mediterranean environment. *Plants*, 12(5), 1131. <https://doi.org/10.3390/plants12051131>

- Ferrer-Gallego, R., Hernández-Hierro, J. M., Rivas-Gonzalo, J. C., & Escribano-Bailón, M. T. (2012). Influence of climatic conditions on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Graciano. *Analytica chimica acta*, 732, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.12.072>
- Filippi, A., Petrusa, E., Boscutti, F., Vuerich, M., Vrhovsek, U., Rabiei, Z., & Braidot, E. (2019). Bioactive polyphenols modulate enzymes involved in grapevine pathogenesis and chitinase activity at increasing complexity levels. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(24), 6357. <https://doi.org/10.3390/ijms20246357>
- Florindo, T., Ferraz, A. I., Rodrigues, A. C., & Nunes, L. J. (2022). Residual biomass recovery in the wine sector: Creation of value chains for vine pruning. *Agriculture*, 12(5), 670. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050670>
- Fontana, A. R., Antonioli, A., & Bottini, R. (2013). Grape pomace as a sustainable source of bioactive compounds: Extraction, characterization, and biotechnological applications of phenolics. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(38), 8987-9003. <https://doi.org/10.1021/jf402586f>
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2009). Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. *Antioxidants & redox signaling*, 11(4), 861-905. <https://doi.org/10.1089/ars.2008.2177>
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J.A., (2012). An overview of climate change impacts on european viticulture. *Food and Energy Security*. 1 (2), 94–110. <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
- Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., Oliveira, A. A., Moutinho-Pereira, J., & Jones, G. V. (2016). Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. *International Journal of Climatology*, 36 (1), 1-12. <https://doi.org/10.1002/joc.4325>
- Fraga, H., de Cortázar Atauri, I. G., & Santos, J. A. (2018). Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal. *Agricultural water management*, 196, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.023>
- Fraga, H. (2019a). Viticulture and winemaking under climate change. *Agronomy*, 9 (12), 783. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120783>.

- Fraga, H., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2019b). Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment. *Climatic Change*, 152, 179-193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- Fraga, H., Pinto, J. G., Viola, F., & Santos, J. A. (2020). Climate change projections for olive yields in the Mediterranean Basin. *International Journal of Climatology*, 40, 769-781. <https://doi.org/10.1002/joc.6237>
- Franklin, L. M., & Mitchell, A. E. (2019). Review of the sensory and chemical characteristics of almond (*Prunus dulcis*) flavor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(10), 2743-2753. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06606>
- Franzen, J., Bausch, J., Glatzle, D., & Wagner, E. (1991). Distribution of vitamin E in spruce seedling and mature tree organs, and within the genus. *Phytochemistry*, 30(1), 147-151. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)84115-9](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)84115-9)
- Freitas, T. R., Santos, J. A., Silva, A. P., Fonseca, A., & Fraga, H. (2023a). Evaluation of historical and future thermal conditions for almond trees in north-eastern Portugal. *Climatic Change*, 176(7), 89. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03569-2>
- Freitas, T. R., Santos, J. A., Silva, A. P., & Fraga, H. (2023b). Reviewing the Adverse Climate Change Impacts and Adaptation Measures on Almond Trees (*Prunus dulcis*). *Agriculture*, 13(7), 1423. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071423>
- Friedman, M. (2014). Antibacterial, antiviral, and antifungal properties of wines and winery byproducts in relation to their flavonoid content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(26), 6025-6042. <https://doi.org/10.1021/jf501266s>
- Frioni, T., Tombesi, S., Luciani, E., Sabbatini, P., Berrios, J.G., & Palliotti, A., (2019a). Kaolin treatments on Pinot noir grapevines for the control of heat stress damages. *BIO Web Conference* 13, 04004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191304004>.
- Frioni, T., Saracino, S., Squeri, C., Tombesi, S., Palliotti, A., Sabbatini, P., et al. (2019b). Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole-canopy physiology during water stress and re-watering. *Journal of Plant Physiology*. 242, 153020. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153020>.

- Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., et al. (2018). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural water management*, 202, 311–324. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015>
- Galli, F., Azzi, A., Birringer, M., Cook-Mills, J. M., Eggersdorfer, M., Frank, J., et al. (2017). Vitamin E: Emerging aspects and new directions. *Free Radical Biology and Medicine*, 102, 16-36. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.09.017>
- Gama, T., Wallace, H.M., Trueman, S.J., & Bai, S.H. (2018). Variability in crude protein and mineral nutrient concentrations of almonds. *Acta Horticulturae*. 1219: 259–264. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1219.34>
- Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 71(16), 4658-4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- Garavaglia, J., Markoski, M. M., Oliveira, A., & Marcadenti, A. (2016). Grape seed oil compounds: Biological and chemical actions for health. *Nutrition and metabolic insights*, 9, NMI-S32910. <https://doi.org/10.4137/NMI.S32910>
- García, J., Romero, P., Botía, P., & García, F. (2004). Cost-benefit analysis of almond orchard under regulated deficit irrigation (RDI) in SE Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 157-165. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-70>
- García, J. M., Hueso, A., & Gómez-del-Campo, M. (2020). Deficit irrigation during the oil synthesis period affects olive oil quality in high-density orchards (cv. Arbequina). *Agricultural Water Management*, 230, 105858. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105858>
- García Esparza, M., Abrisqueta, I., Escriche Roberto, M., Intrigliolo, D. S., Alvarez Cano, M. I., & Lizama Abad, V. (2018). Volatile compounds and phenolic composition of skins and seeds of Cabernet Sauvignon grapes under different deficit irrigation regimes. *Vitis*, 57(3), 83-91. <https://doi.org/10.5073/vitis.2018.57.83-91>
- García-Lomillo, J., & González-SanJosé, M. L. (2017). Applications of wine pomace in the food industry: Approaches and functions. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 16(1), 3-22. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12238>

- García-Tejero, I. F., Durán-Zuazo, V. H., Vélez, L. M., Hernández, A., Salguero, A., & Muriel-Fernández, J. L. (2011). Improving almond productivity under deficit irrigation in semiarid zones. *The Open Agriculture Journal*, 5(1). <https://doi.org/10.2174/1874331501105010056>
- García-Tejero, I.F., Moriana, A., Rodríguez Pleguezuelo, C.R., Durán Zuazo, V.H., & Egea, G. (2018a). Sustainable deficit-irrigation management in almonds (*Prunus dulcis* L.): Different strategies to assess the crop Water Status. Chapter 12 In: García Tejero, I.F., Durán Zuazo, V.H. (Eds.), *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. Academic Press, pp. 271–298. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00012-0>
- García-Tejero, I. F., Gutierrez Gordillo, S., Souza, L., Cuadros-Tavira, S., & Duran Zuazo, V. H. (2018b). Fostering sustainable water use in almond (*Prunus dulcis* Mill.) orchards in a semiarid Mediterranean environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(2), 164-181. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1492113>
- García-Tejero, I. F., Gutierrez Gordillo, S., Souza, L., Cuadros-Tavira, S., & Duran Zuazo, V. H. (2019). Fostering sustainable water use in almond (*Prunus dulcis* Mill.) orchards in a semiarid Mediterranean environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(2), 164-181. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1492113>
- García-Tejero, I.F., Lipan, L., Gutiérrez-Gordillo, S., Zuazo, V.H.D., Jančo, I., Hernández, F., Cárceles-Rodríguez, B., & Carbonell-Barrachina, Á.A. (2020). Deficit irrigation and its implications for HydroSOSustainable almond production. *Agronomy*, 10, 1632. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111632>
- Garrido, I., Uriarte, D., Hernández, M., Llerena, J.L., Valdés, M.E., & Espinosa F. (2016). The evolution of total phenolic compounds and antioxidant activities during ripening of grapes (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) grown in semiarid region: effects of cluster thinning and water deficit. *International journal of molecular sciences*, 17 (11): 1923. <https://doi.org/10.3390/ijms17111923>.
- Garrote, L., Granados, A., & Iglesias, A. (2015). Strategies to reduce water stress in Euro-Mediterranean river basins. *Science of the Total Environment*, 543, 997-1009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.106>

- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9), 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Gharaghani, A., Javarzari, A. M., & Vahdati, K. (2018). Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. *Scientia Horticulturae*, 239, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.
- Gharaghani, A., Javarzari, A. M., Rezaei, A., & Nejati, R. (2023). Kaolin Spray Improves Growth, Physiological Functions, Yield, and Nut Quality of ‘Tardy Nonpareil’ Almond Under Deficit Irrigation Regimens. *Erwerbs-Obstbau*, 65(4), 989-1001. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00732-4>
- Gil, E., Arnó, J., Llorens, J., Sanz, R., Llop, J., Rosell-Polo, J. R., et al. (2014). Advanced technologies for the improvement of spray application techniques in Spanish viticulture: An overview. *Sensors*, 14(1), 691-708. <https://doi.org/10.3390/s140100691>
- Gil Cortiella, M., Úbeda, C., del Barrio-Galán, R., & Peña-Neira, A. (2020). Impact of berry size at harvest on red wine composition: a winemaker's approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 836-845. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10095>
- Giorio, C., Pizzini, S., Marchiori, E., Piazza, R., Grigolato, S., Zanetti, M., et al., (2019). Sustainability of using vineyard pruning residues as an energy source: Combustion performances and environmental impact. *Fuel*, 243, 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.128>
- Girona, J., 1992. Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Fruticultura Profesional* 47, 38–45.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Arbone's, A., & Miravete, C., 1997. Evaluation of almond (*Amygdalus communis* L.) seasonal sensitivity to water stress. Physiological and yield responses. *Acta Horticulturae*. 449 (2), 489–496. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.68>

-
- Girona, J., Mata, M., & Marsal, J. (2005). Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75, 152-167. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.12.008>
- Gispert, J. R., Vargas, F. J., Miarnau, F. J., & Alegre, S. (2009). Assessment of drought tolerance in almond varieties. In *V International Symposium on Pistachios and Almonds* 912, 121-127. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.912.17>
- Gispert, J. R., de Cartagena, F. R., Villar, J. M., & Girona, J. (2013). Wet soil volume and strategy effects on drip-irrigated olive trees (cv. 'Arbequina'). *Irrigation Science*, 31, 479-489. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0325-5>
- Gitea, M. A., Gitea, D., Tit, D. M., Purza, L., Samuel, A. D., Bungău, S., et al. (2019). Orchard management under the effects of climate change: Implications for apple, plum, and almond growing. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 9908-9915.
- Glenn, D.M., Wisniewski, M., Puterka, G.J., & Sekutowski, D., (2001). Method for Enhanced Supercooling of Plants to Provide Frost Protection. U.S. Patent No. US06235683.
- Glenn, D. M., Prado, E., Erez, A., McFerson, J., & Puterka, G. J. (2002). A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(2), 188-193. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.2.188>
- Glenn, D.M., Erez, A., Puterka, G.J., & Gundrum, P. (2003). Particle films affect carbon assimilation and yield in 'Empire' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128, 356–362. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.3.0356>.
- Glenn, D.M. & Puterka, G.J. (2005). Particle films: A new technology for agriculture. *Horticultural Reviews*. 31, 1–44. <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>
- Glenn, D. M. (2009). Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in 'Empire' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 314-32. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.314>
-

- Glenn, D.M., Cooley, N., Walker, R., Clingeleffer, P., & Shellie, K. (2010). Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. *HortScience* 45, 1178–1187. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1178>
- Glenn, D.M. (2012). The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience* 47 (6), 710–711. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.6.710>.
- Glenn, D.M., (2016). Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. *Scientia Horticulturae*. 205, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04>.
- Goldhamer, D.A., & Shackel, K. (1990). Irrigation cuto and drought irrigation strategy ects on almond. In Proceedings of the 18th Almond Research Conference, Fresno, CA, USA, pp. 30–35.
- Goldhamer, D.A., & Viveros, M., (2000). Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science*. 19, 125–131. <https://doi.org/10.1007/s002710000013>
- Goldhamer, D. A., & Fereres, E. (2004). Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science*, 23, 11-19. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0088-0>
- Goldhamer, D., Viveros, M., & Salinas, M., (2006). Regulated deficit irrigation in almonds: Effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrig. Sci.* 24, 101–114. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0014-8>
- Goldhamer, D. A., & Fereres, E. (2017). Establishing an almond water production function for California using long-term yield response to variable irrigation. *Irrigation Science*, 35, 169-179. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0528-2>
- Gomes-Laranjo, J., Coutinho, J. P., Galhano, V., & Cordeiro, V. (2006). Responses of five almond cultivars to irrigation: Photosynthesis and leaf water potential. *Agricultural water management*, 83(3), 261-265. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.007>

- Gómez Aparisi, J., Alonso Segura, J. M., Rubio Cabetas, M. J., & Kodad, O. (2009). Retos y perspectivas de los nuevos cultivares y patrones de almendro para un cultivo sostenible.
- Gonçalves, I., Morais, A., Teixeira, B., Santos, P., Soares, R. & Carlos, C. (2016). Rega deficitária na casta Touriga Nacional na Região Demarcada do Douro. Respostas fisiológicas e feitos na produtividade e na qualidade da uva. In: 10º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo.
- Gonçalves, A., Silva, E., Brito, C., Martins, S., Pinto, L., Dinis, L. T., et al. (2020). Olive tree physiology and chemical composition of fruits are modulated by different deficit irrigation strategies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 682-694. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10064>
- Goodwin, I., & Boland, A.M. (2002). Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency. In *Deficit irrigation practices*.
- Gorena, T., Saez, V., Mardones, C., Vergara, C., Winterhalter, P., & von Baer, D. (2014). Influence of post-pruning storage on stilbenoid levels in *Vitis vinifera* L. canes. *Food chemistry*, 155, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.073>
- Gouvinhas, I., Queiroz, M., Rodrigues, M., & Barros, A. I. (2019). Evaluation of the phytochemistry and biological activity of grape (*Vitis vinifera* L.) stems: Toward a sustainable winery industry. *Polyphenols in Plants*, 381-394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00023-2>.
- Grace, S.C. (2005). Phenolics as antioxidants, in: Smirnoff, N., Grace, S.C., (Eds.); *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 141–168. <https://doi.org/10.1002/9780470988565.ch6>.
- Griesser, M., Weingart, G., Schoedl-Hummel, K., Neumann, N., Becker, M., Varmuza, et al. (2015). Severe drought stress is affecting selected primary metabolites, polyphenols, and volatile metabolites in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv. Pinot noir). *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, 17–26.
- Grimm, M. O., Stahlmann, C. P., Mett, J., Haupenthal, V. J., Zimmer, V. C., Lehmann, J., et al. (2015). Vitamin E: Curse or benefit in Alzheimer's disease? A systematic investigation of the impact of α -, γ -and δ -tocopherol on A β

- generation and degradation in neuroblastoma cells. *The journal of nutrition, health & aging*, 19, 646-654. <https://doi.org/10.1007/s12603-015-0506-z>
- Grimplet, J., Wheatley, M.D., Jouira, H.B., Deluc, L.G., Cramer, G.R., Cushman, J.C. (2009). Proteomic and selected metabolite analysis of grape berry tissues under well-watered and water-deficit stress conditions. *Proteomics* 9, 2503e2528. <https://doi.org/10.1002/pmic.200800158>
- Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., & Zarrouk, M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 257-263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.006>
- Guil-Guerrero, J. L., Gómez-Mercado, F., Ramos-Bueno, R. P., González-Fernández, M. J., Urrestarazu, M., & Rincón-Cervera, M. Á. (2017). Sardinian Boraginaceae are new potential sources of gamma-linolenic acid. *Food chemistry*, 218, 435-439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.111>
- Gullo, G., Dattola, A., Vonella, V., & Zappia, R. (2018). Evaluation of water relation parameters in *Vitis* rootstocks with different drought tolerance and their effects on growth of a grafted cultivar. *Journal of plant physiology*, 226, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.04.013>
- Gupta, M., Dey, S., Marbaniang, D., Pal, P., Ray, S., & Mazumder, B. (2020). Grape seed extract: Having a potential health benefits. *Journal of food science and technology*, 57, 1205-1215. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04113-w>
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & de Toda, F. M. (2021). Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*, 139, 109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- Gutiérrez-Gordillo, S., Durán-Zuazo, V. H., & García-Tejero, I. (2019). Response of three almond cultivars subjected to different irrigation regimes in Guadalquivir river basin. *Agricultural Water Management*, 222, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.031>
- Gutiérrez-Gordillo, S., Durán Zuazo, V. H., Hernández-Santana, V., Ferrera Gil, F., García Escalera, A., Amores-Agüera, J. J., & García-Tejero, I. F. (2020a).

- Cultivar dependent impact on yield and its components of young almond trees under sustained-deficit irrigation in semi-arid environments. *Agronomy*, 10(5), 733. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050733>
- Gutiérrez-Gordillo, S., Lipan, L., Duran Zuazo, V. H., Sendra, E., Hernández, F., Hernández-Zazueta, M. S., et al. (2020b). Deficit irrigation as a suitable strategy to enhance the nutritional composition of hydrosos almonds. *Water*, 12(12), 3336. <https://doi.org/10.3390/w12123336>
- Güler, A., & Candemir, A. (2014). Total Phenolic and Flavonoid Contents, Phenolic Compositions and Color Properties of Fresh Grape Leaves. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 6, 778–782.
- Hagemann, N., Subdiaga, E., Orsetti, S., de la Rosa, J. M., Knicker, H., Schmidt, H. P., et al. (2018). Effect of biochar amendment on compost organic matter composition following aerobic composting of manure. *Science of the Total Environment*, 613, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.161>
- Hajlaoui, H., Maatallah, S., Guizani, M., Boughattas, N. E. H., Guesmi, A., Ennajeh, M., et al. (2022). Effect of regulated deficit irrigation on agronomic parameters of three plum cultivars (*Prunus salicina* L.) under semi-arid climate conditions. *Plants*, 11(12), 1545. <https://doi.org/10.3390/plants11121545>
- Hamdy, A. E., Abdel-Aziz, H. F., El-khamissi, H., AlJwaizea, N. I., El-Yazied, A. A., Selim, S., et al. (2022). Kaolin improves photosynthetic pigments, and antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: Field study. *Agronomy*, 12(7), 1535. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071535>
- Hamman R.A., & Dami I.E. (2000). Effects of irrigation on wine, grape growth and fruit quality. *HortTechnology*. 10, 162-168.
- Harb, J., Alseekh, S., Tohge, T., & Fernie, A. R. (2015). Profiling of primary metabolites and flavonols in leaves of two table grape varieties collected from semiarid and temperate regions. *Phytochemistry*. 117, 444-455. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.013>.
- Harben, P. W. (1995). Demand Defines Exploration Targets for Industrial Minerals. British Columbia Geological Survey, 5.

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Hossain, M. S., Al Mahmud, J., Rahman, A., Inafuku, et al. (2017). Coordinated actions of glyoxalase and antioxidant defense systems in conferring abiotic stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*. 8:200. <https://doi.org/10.3390/ijms18010200>
- Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., & Okuda, T. (1988). Two new flavonoids and other constituents in licorice root: Their relative astringency as scavenging effects. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 36, 2090-2097. <https://doi.org/10.1248/cpb.36.2090>.
- Hebashi, K.A.H., Fadel, H.M., & Soliman, M.M.A. (1991). Volatile components of grape leaves. *Journal of the International AIDS Society*. 4, 26–28. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.957697>.
- Hidalgo, L. (1993). *Tratado de Viticultura*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Howell, T. A. (2003). Irrigation efficiency. *Encyclopedia of water science*, 467, 500.
- Houghton, E., Bevandick, K., Neilsen, D., Hannam, K., & Nelson, L. M. (2022). Effects of postharvest deficit irrigation on sweet cherry (*Prunus avium*) in five Okanagan Valley, Canada, orchards: I. Tree water status, photosynthesis, and growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 103(1), 73-92. <https://doi.org/10.1139/cjps-2022-0200>
- Hufnagel, J., Reckling, M., & Ewert, F. (2020). Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00617-4>
- Hunter, K., Carlomagno, A., Volschenk, N., Ferrandino, A., Lovisollo, C., Genre, A., & Novello, V. (2018). Grape berry shrivelling - changes in physiology and quality. *Viticulture Research*.
- Hutmacher, R. B., Nightingale, H. I., Rolston, D. E., Biggar, J. W., Dale, F., Vail, S. S., & Peters, D. (1994). Growth and yield responses of almond (*Prunus amygdalus*) to trickle irrigation. *Irrigation Science*, 14, 117-126. <https://doi.org/10.1007/BF00193133>
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water management*, 155, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>

- Iglesias, I., Foles P., & Oliveira C. (2021). El cultivo del Almendro en España y Portugal: situación, innovación tecnológica, costes, rentabilidad y perspectivas. *Revista de Fruticultura*. 81, 6-49.
- INE (2022). Base de datos. Instituto de Estatística de Portugal https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE
- International Nut and Dried Fruit Council. (2021). World Tree Nut Production; International Nut and Dried Fruit Council. Reus, Spain.
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2010). Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrigation Science*, 28, 113-125. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0164-1>
- IPCC. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Isaakidis, A., Sotiropoulos, T., Almaliotis, D., Therios, I., & Stylianidis, D. (2004). Response to severe water stress of the almond (*Prunus amygdalus*) 'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(4), 355-362. <https://doi.org/10.1080/01140671.2004.9514316>
- ITACyL. 2022. Prospección de residuos y subproductos del sector vitivinícola en Castilla y León. Potencial para su valorización mediante procesos de Biorrefinería. Centro de Investigación en Biocombustibles y Bioproductos. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL). <https://www.itacyl.es/transferencia-de-conocimiento/publicaciones/folletos-informativos>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional environmental change*, 14, 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>

- Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., Dworak, T., Marras, S., Mereu, V., & Michetti, M. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe* (No. 4/2019). European Environment Agency (EEA).
- Jara-Palacios, M. J., Hernanz, D., Escudero-Gilete, M. L., & Heredia, F. J. (2016). The use of grape seed byproducts rich in flavonoids to improve the antioxidant potential of red wines. *Molecules*, *21*(11), 1526. <https://doi.org/10.3390/molecules21111526>
- Jensen, M.E., 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski (Eds.), *Water Deficits and Plant Growth*. Vol. II. *Plant Water Consumption and Response*. Academic Press, New York & London, pp. 1–22.
- Jiang, B., & Zhang, Z. (2010). Volatile compounds of young wines from cabernet sauvignon, cabernet gernischet and chardonnay varieties grown in the loess plateau region of China. *Molecules*, *15*(12), 9184-9196. <https://doi.org/10.3390/molecules15129184>
- Jifon, J.L., & Syvertsen, J.P. (2003). Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. *128*, 107–112. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.1.0107>.
- Jiménez, S., Dridi, J., Gutiérrez, D., Moret, D., Irigoyen, J. J., Moreno, M. A., & Gogorcena, Y. (2013). Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. *Tree physiology*, *33*(10), 1061-1075. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt074>
- Jones, G. (2013). Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro: Uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho. *ADVID—Associação Para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense; ADVID—Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense: Vila Real, Portugal*, 110.
- Kalli, E., Lappa, I., Bouchagier, P., Tarantilis, P. A., & Skotti, E. (2018). Novel application and industrial exploitation of winery by-products. *Bioresources and Bioprocessing*, *5*(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0232-6>
- Kandyliis, P. (2021). Grapes and their derivatives in functional foods. *Foods*, *10*(3), 672. <https://doi.org/10.3390/foods10030672>

- Kapoor, R., & Huang, Y. S. (2006). Gamma linolenic acid: an antiinflammatory omega-6 fatty acid. *Current pharmaceutical biotechnology*, 7(6), 531-534. <https://doi.org/10.2174/138920106779116874>
- Karaat, F. E. (2019). Organic vs conventional almond: market quality, fatty acid composition and volatile aroma compounds, *Applied Ecology and Environmental Research*. 17, 7783-7793. https://doi.org/10.15666/aeer/1704_77837793
- Karaat, F. E., & Denizhan, H. (2023). The effects of different particle film applications on almond trees. *Ciência Rural*, 53, e20210757. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210757>
- Karaçelil, A. A., Küçük, M., Iskefiyeli, Z., Aydemir, S., De Smet, S., Miserez, B., & Sandra, P. (2015). Antioxidant components of *Viburnum opulus* L. determined by on-line HPLC-UV-ABTS radical scavenging and LC-UV-ESI-MS methods. *Food Chemistry*. 175, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.085>
- Karandish, F., & Šimůnek, J. (2016). A field-modeling study for assessing temporal variations of soil-water-crop interactions under water-saving irrigation strategies. *Agricultural water management*, 178, 291-303. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.009>
- Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A., & Aghaalikhani, M. (2015). Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica*, 53, 29-34. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0070-0>
- Katalinic, V., Mozina, S.S., Generalic, I., Skroza, D., Ljubenkov, I., & Klancnik, A. (2011). Phenolic profile, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of leaf extracts from six *Vitis vinifera* L. varieties. *International Journal of Food Properties*, 16, 45-60. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.526274>
- Kawamura, A., Ooyama, K., Kojima, K., Kachi, H., Abe, T., Amano, K., & Aoyama, T. (2011). Dietary supplementation of gamma-linolenic acid improves skin parameters in subjects with dry skin and mild atopic dermatitis. *Journal of Oleo Science*, 60(12), 597-607. <https://doi.org/10.5650/jos.60.597>
- Keller, M., Tarara, J. M., & Mills, L. J. (2010). Spring temperatures alter reproductive development in grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3), 445-454. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00105.x>

- Keser, S., Demir, E., & Yılmaz, Ö. (2014). Phytochemicals and Antioxidant Activity of the Almond Kernel (*Prunus dulcis* Mill.) from Turkey. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 36(3).
- Kettlewell, P. S., Heath, W. L., & Haigh, I. M. (2010). Yield enhancement of droughted wheat by film antitranspirant application: rationale and evidence. *Agricultural Sciences*, 1(03), 143. <https://doi.org/10.4236/as.2010.13017>
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., & Barzegar, M. (2015). The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv ‘Zard’ grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food chemistry*, 166, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.006>
- King, E. S., Chapman, D. M., Luo, K., Ferris, S., Huang, G., & Mitchell, A. E. (2019). Defining the sensory profiles of raw almond (*Prunus dulcis*) varieties and the contribution of key chemical compounds and physical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67, 3229-3241. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05845>
- Kodad, O., & Socias i Company, R. (2008). Variability of oil content and of major fatty acid composition in almond (*Prunus amygdalus* Batsch) and its relationship with kernel quality. *Agricultural and Food Chemistry*. 56, 4096–4101. <https://doi.org/10.1021/jf8001679>
- Kosar, M., Küpeli, E., Malyer, H., Uylaser, V., Türkben, C., & Baser, K. H. C. (2007). Effect of Brining on Biological Activity of Leaves of *Vitis vinifera* L. (Cv. Sultani Cekirdeksiz) from Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4596–4603. <https://doi.org/10.1021/jf070130s>
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., & van Leeuwen, C. (2006). Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(14), 5077-5086. <https://doi.org/10.1021/jf0605446>
- Köppen, W. P. (1923). Die klimate der erde: Grundriss der klimakunde. Walter de Gruyter & So.

- Kriedemann, P.E., & Goodwin, I., (2003). Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying. An overview of principles and applications. Irrigation insights number. 4. Land and Water Australia.
- Kosar, M., Küpeli, E., Malyer, H., Uylaser, V., Türkben, C., & Baser, K. H. C. (2007). Effect of Brining on Biological Activity of Leaves of *Vitis vinifera* L. (Cv. Sultani Cekirdeksiz) from Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4596–4603. <https://doi.org/10.1021/jf070130s>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* 15, 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., & van Leeuwen, C. (2006). Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(14), 5077-5086. <https://doi.org/10.1021/jf0605446>
- Kyraleou, M., Koundouras, S., Kallithraka, S., Theodorou, N., Proxenia, N., & Kotseridis, Y. (2016). Effect of irrigation regime on anthocyanin content and antioxidant activity of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grapes under semiarid conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(3), 988-996. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7175>
- Kwak, J., Faranda, A., Henkin, J., Gallagher, M., Preti, G., & McGovern, P. (2015). Volatile organic compounds released by enzymatic reactions in raw nonpareil almond kernel. *European Food Research and Technology*. 241, 441–446. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2463-5>
- Lachman, J., Hejtmánková, A., Táborský, J., Kotíková, Z., Pivec, V., Štrálková, R., et al. (2015). Evaluation of oil content and fatty acid composition in the seed of grapevine varieties. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 620-625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.044>
- Lalitha, M., Thilagam, V. K., Balakrishnan, N., & Mansour, M. (2010). Effect of plastic mulch on soil properties and crop growth-A review. *Agricultural Reviews*, 31(2), 145-149.

- Lamp, B.M., Connell, J.H., Duncan, R.A., Viveros, M., & Polito, V.S. (2001). Almond flower development: floral initiation and organogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural*. 126, 689–696. <https://doi.org/10.21273/JASHS.126.6.689>
- Lawo, N. C., Weingart, G. J., Schuhmacher, R., & Forneck, A. (2011). The volatile metabolome of grapevine roots: first insights into the metabolic response upon phylloxera attack. *Plant physiology and biochemistry*, 49(9), 1059-1063. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.06.008>
- Lepsch, H. C., Brown, P. H., Peterson, C. A., Gaudin, A. C., & Khalsa, S. D. S. (2019). Impact of organic matter amendments on soil and tree water status in a California orchard. *Agricultural Water Management*, 222, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.002>
- Levin, A. D., Williams, L. E., & Matthews, M. A. (2019). A continuum of stomatal responses to water deficits among 17 wine grape cultivars (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology*, 47(1), 11-25. <https://doi.org/10.1071/FP19073>
- Li, Y., Zhang, S., Dong, R., Wang, L., Yao, J., van Nocker, S., & Wang, X. (2019). The grapevine homeobox gene VvHB58 influences seed and fruit development through multiple hormonal signaling pathways. *BMC plant biology*, 19, 1-18. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2144-9>
- Liao, Y., Cao, H. X., Xue, W. K., & Liu, X. (2021). Effects of the combination of mulching and deficit irrigation on the soil water and heat, growth and productivity of apples. *Agricultural Water Management*, 243, 106482. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106482>
- Liebler, D. C. (1993). The role of metabolism in the antioxidant function of vitamin E. *Critical reviews in toxicology*. 23, 147-169. <https://doi.org/10.3109/10408449309117115>
- Lima, A., Bento A., Baraldi, I., & Malheiro, R. (2016). Selection of grapevine leaf varieties for culinary process based on phytochemical composition and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 212, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.177>

- Lima, A., Pereira, J.A., Baraldi, I., & Malheiro, R. (2017). Cooking impact in color, pigments and volatile composition of grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. var. Malvasia Fina and Touriga Franca). *Food Chemistry*, 221, 1197-1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.039>.
- Lima, A., Oliveira, C., Santos, C., Campos, F. M., & Couto, J. A. (2018). Phenolic composition of monovarietal red wines regarding volatile phenols and its precursors. *European Food Research and Technology*, 244, 1985-1994. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3110-8>
- Lipan, L., Sanchez Rodriguez, L., Collado Gonzalez, J., Sendra, E., Burló, F., Hernández, F., et al. (2018). Sustainability of the legal endowments of water in almond trees and a new generation of high quality hydrosustainable almonds - A review. *Bull. UASVM - Food Science and Technology*, 75, 97-108. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2017.0020>
- Lipan, L., Martín-Palomo, M.J., Sánchez-Rodríguez, L., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., et al. (2019a). Almond fruit quality can be improved by means of deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, 217, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.041>
- Lipan, L., Moriana, A., López Lluch, D.B., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., & Carbonell-Barrachina, A.A. (2019b). Nutrition quality parameters of almonds as affected by deficit irrigation strategies. *Molecules*, 24, 2646. <https://doi.org/10.3390/molecules24142646>
- Lipan, L., García-Tejero, I. F., Gutiérrez-Gordillo, S., Demirbas, N., Sendra, E., Hernández, F., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2020). Enhancing nut quality parameters and sensory profiles in three almond cultivars by different irrigation regimes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(8), 2316-2328. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06854>
- Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Vázquez-Araújo, L., Issa-Issa, H., Nemés, A., Corell, M., et al. (2021). “HydroSOSustainable” Concept: how does information influence consumer expectations towards roasted almonds?. *Agronomy*, 11(11), 2254. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112254>
- Lipan, L., Romero, A., Echeverria, G., Maldonado, M., Company, T., Escalona, J. M., et al. (2022). Native versus modern almond cultivars of mallorca island: from

- biodiversity to industrial aptitude and fruit quality. *Agronomy*, 12(8), 1933. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081933>
- Liu, Y., Wang, J., Liu, D.B., Li, Z.G., Zhang, G.S., Tao, Y., et al. (2014). Straw mulching reduces the harmful effects of extreme hydrological and temperature conditions in citrus orchards. *PLoS One* 9 (1), e87094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087094>
- Liu, L., Hu, Q., Wu, H., Xue, Y., Cai, L., Fang, M., et al. (2016). Protective role of n6/n3 PUFA supplementation with varying DHA/EPA ratios against atherosclerosis in mice. *The Journal of nutritional biochemistry*, 32, 171-180. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.02.010>
- Lizama, V., Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Chirivella, C., Álvarez, I., & García-Esparza, M. J. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: II. Wine, skins, seeds, and grape aromatic composition. *Agricultural Water Management*, 256, 107078. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107078>.
- Lorenz, D.H., Eichhorn K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*) - Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 1, 100-110. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>
- Lorite, I. J., Cabezas-Luque, J. M., Arquero, O., Gabaldón-Leal, C., Santos, C., Rodríguez, A., et al. (2020). The role of phenology in the climate change impacts and adaptation strategies for tree crops: a case study on almond orchards in Southern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 294, 108142. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108142>
- 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(2), 98-116. <https://doi.org/10.1071/FP09191>
- Luciani, E., Palliotti, A., Frioni, T., Tombesi, S., Villa, F., Zadra, C., & Farinelli, D. (2020). Kaolin treatments on Tonda Giffoni hazelnut (*Corylus avellana* L.) for

- the control of heat stress damages. *Scientia Horticulturae*, 263, 109097. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109097>
- Lun Ju, Y., Yang, B., He, S., Tu, T., Min, Z., Fang, Y., & Sun, X. (2019). Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grapes and wines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.013>
- Luo, J., Brotchie, J., Pang, M., Marriott, P. J., Howell, K., & Zhang, P. (2019). Free terpene evolution during the berry maturation of five *Vitis vinifera* L. cultivars. *Food Chemistry*, 299, 125101. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125101>
- Luther, M., Parry, J., Moore, J., Meng, J., Zhang, Y., Cheng, Z., & Yu, L. L. (2007). Inhibitory effect of Chardonnay and black raspberry seed extracts on lipid oxidation in fish oil and their radical scavenging and antimicrobial properties. *Food Chemistry*, 104(3), 1065-1073. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.034>
- Lutterodt, H., Slavin, M., Whent, M., Turner, E., & Yu, L. L. (2011). Fatty acid composition, oxidative stability, antioxidant and antiproliferative properties of selected cold-pressed grape seed oils and flours. *Food Chemistry*, 128(2), 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.040>
- Ma, N., Szilagyi, J., & Zhang, Y. (2021). Calibration-free complementary relationship estimates terrestrial evapotranspiration globally. *Water Resources Research*, 57(9), e2021WR029691. <https://doi.org/10.1029/2021WR029691>
- Magalhães, N. (2015). *Tratado de Viticultura: a videira, a vinha e o terroir*.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.10.018>
- Mahmoudian, M., Rahemi, M., Karimi, S., Yazdani, N., Tajdini, Z., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2021). Role of kaolin on drought tolerance and nut quality of Persian walnut. *Journal of the Saudi Society of Agricultural*. 20, 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.002>
- Malheiro, R., Rodrigues, N., Bissaro, C., Leimann, F., Casal, S., Ramalhosa, E., & Pereira, J. A. (2017). Improvement of sensorial and volatile profiles of olive oil

- by addition of olive leaves. *European journal of lipid science and technology*, 119(11), 1700177. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700177>
- Malheiro, R., Casal, S., Rodrigues, N., Renard, C. M., & Pereira, J. A. (2018). Volatile changes in cv. Verdeal Transmontana olive oil: From the drupe to the table, including storage. *International Food Research Journal*. 106, 374-382. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.00>
- Mañas, F., López-Fuster, P., & López-Urrea, R. (2014). Effects of different regulated and sustained deficit irrigation strategies in almond production. *Acta Horticulturae* 1028, 391-394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1028.64>
- MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Superficies y Producciones Anuales de Cultivos. (2021). Available: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/> (accessed on 6 July 2022).
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) 2022. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/> (accessed on 1 July 2023).
- Maier, T., Schieber, A., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2009). Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as a valuable source of phenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 112, 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.005>
- Maj, G., Klimek, K., Kapłań, M., & Wrzesińska-Jędrusiak, E. (2022). Using wood-based waste from grapevine cultivation for energy purposes. *Energies*, 15(3), 890. <https://doi.org/10.3390/en15030890>
- Marangoni, F., Agostoni, C., Borghi, C., Catapano, A. L., Cena, H., Ghiselli, A., & Poli, A. (2020). Dietary linoleic acid and human health: Focus on cardiovascular and cardiometabolic effects. *Atherosclerosis*, 292, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.11.018>
- Marcotegui, A., Sánchez-Ramos, I., Pascual, S., Fernández, C. E., Cobos, G., Armendáriz, I., et al. (2015). Kaolin and potassium soap with thyme essential oil to control *Monosteira unicastata* and other phytophagous arthropods of almond trees in organic orchards. *Journal of pest science*, 88, 753-765. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0659-x>

- Marques, M. J., Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., García-Díaz, A., & Sastre, B. (2020). Effects of a permanent soil cover on water dynamics and wine characteristics in a steep vineyard in the Central Spain. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.1177/1178622120948069>.
- Martínez Gómez, P., Sánchez Pérez, R., Dicenta, F., Howad, W., Arus, P., & Gradziel, T. M. (2007). Almond, Fruits and Nuts. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. Springer 4: 229-242.
- Martins, J., Fraga, H., Fonseca, A., & Santos, J. A. (2021). Climate projections for precipitation and temperature indicators in the douro wine region: The importance of bias correction. *Agronomy*, 11(5), 990. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050990>
- Marusig, D., & Tombesi, S. (2020). Abscisic acid mediates drought and salt stress responses in *Vitis vinifera*—A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(22), 8648. <https://doi.org/10.3390/ijms21228648>
- Massantini, R., & Frangipane, M. T. (2022). Progress in almond quality and sensory assessment: An overview. *Agriculture*, 12(5), 710. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050710>
- Matthews, M. A., Ishii, R., Anderson, M. M., & O'Mahony, M. (1990). Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51(3), 321-335. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510305>
- McLaughlin, P. J., & Weihrauch, J. L. (1979). Vitamin E content of foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 75(6), 647-665. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(21\)05428-6](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(21)05428-6)
- Mele, M. A., Kang, H. M., Lee, Y. T., & Islam, M. Z. (2021). Grape terpenoids: Flavor importance, genetic regulation, and future potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(9), 1429-1447. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1760203>
- Melhaoui, R., Addi, M., Houmy, N., Abid, M., Mihamou, A., Serghini-Caid, H., Sindic, M., & Elamrani, A. (2019). Pomological characterization of main almond cultivars from the North Eastern Morocco. *International Journal of Fruit Science*. 19 413-422, <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1552232>

- Meier, U. (2001). Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2nd Edition, Bonn.
- Melgarejo, P., Martinez, J. J., Hernández, F. C. A., Martinez-Font, R., Barrows, P., & Erez, A. (2004). Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae*, 100(1-4), 349-353. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.09.006>
- Mendes, J. A., Prozil, S. O., Evtuguin, D. V., & Lopes, L. P. C. (2013). Towards comprehensive utilization of winemaking residues: Characterization of grape skins from red grape pomaces of variety Touriga Nacional. *Industrial crops and products*, 43, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.047>
- Meng, L., Jiao, Y., Zhou, X., Liang, C., Yan, K., Zhao, Y., et al. (2021). Leaf extract from *Vitis vinifera* L. reduces high fat diet-induced obesity in mice. *Food & Function*, 12(14), 6452-6463. <https://doi.org/10.1039/D1FO00460C>
- Merli, M. C., Magnanini, E., Gatti, M., Pirez, F. J., Pueyo, I. B., Intrigliolo, D. S., & Poni, S. (2016). Water stress improves whole-canopy water use efficiency and berry composition of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.) grapevines grafted on the new drought-tolerant rootstock M4. *Agricultural Water Management*, 169, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.025>
- Miarnau, X., Torguet, L., Batlle, I., Romero, A., Rovira, M., & Alegre, S. (2016). Comportamiento agronómico y productivo de las nuevas variedades de almendro. In *Fruticultura; Editorial Tècnica Quatrebcn: Barcelona, Spain*. 49, 42-59.
- Miarnau, X., Torguet, L., Zazurca, L., Maldonado, M., Girabet, R., Batlle, I., & Rovira, M. (2018). El futuro del almendro en España: ¿Será posible producir 4.000 kg de grano/ha?. *Horticultura* (22), 21-35.
- Mirás-Avalos, J. M., Gonzalez-Dugo, V., García-Tejero, I. F., López-Urrea, R., Intrigliolo, D. S., & Egea, G. (2023). Quantitative analysis of almond yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain. *Agricultural Water Management*, 279, 108208. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108208>

- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., & Orgaz, F. (2022). Almond responses to a single season of severe irrigation water restrictions. *Irrigation Science* 40, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00750-2>
- Monagas, M., Hernández-Ledesma, B., Gómez-Cordovés, C., & Bartolomé, B. (2006). Commercial dietary ingredients from *Vitis vinifera* L. leaves and grape skins: Antioxidant and chemical characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 319-327. <https://doi.org/10.1021/jf051807j>.
- Monselise, S. P., & Goldschmidt, E. E. (1982). Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural reviews*, 4(1), 128-173. <https://doi.org/10.1002/9781118060773.ch5>
- Morais, M. C., Aires, A., Barreales, D., Rodrigues, M. Â., Ribeiro, A. C., Gonçalves, B., & Silva, A. P. (2020). Combined soil and foliar nitrogen fertilization effects on rainfed almond tree performance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2552-2565. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00321-y>
- Morata, A., González, C., Tesfaye, W., Loira, I., & Suárez-Lepe, J. A. (2019). Maceration and fermentation: New technologies to increase extraction. In *Red wine technology* (pp. 35-49). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814399-5.00003-7>
- Moreira, M. M., Barroso, M. F., Porto, J. V., Ramalhosa, M. J., Švarc-Gajić, J., Estevinho, L., et al. (2018). Potential of Portuguese vine shoot wastes as natural resources of bioactive compounds. *Science of the Total Environment*, 634, 831-842. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.035>
- Mosedale, J. R., Abernethy, K. E., Smart, R. E., Wilson, R. J., & Maclean, I. M. (2016). Climate change impacts and adaptive strategies: lessons from the grapevine. *Global change biology*, 22(11), 3814-3828. <https://doi.org/10.1111/gcb.13406>
- Mota, N., Ribeiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Dinis, L. T. (2022). Silicon application effect on berry quality of Touriga Franca variety in the Douro Demarcated Region. In *VII International Congress of Mountain and Steep Slopes Viticulture* (pp. 357-362). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
- Moutinho-Pereira, J., Magalhães, N., Gonçalves, B., Bacelar, E., Brito, M., & Correia, C. (2007). Gas exchange and water relations of three *Vitis vinifera* L. cultivars

- growing under Mediterranean climate. *Photosynthetica*, 45, 202-207. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0033-1>
- Mphande, W., Kettlewell, P. S., Grove, I. G., & Farrell, A. D. (2020). The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. *Agricultural Water Management*, 236, 106143. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106143>
- Muhlack, R. A., Potumarthi, R., & Jeffery, D. W. (2018). Sustainable wineries through waste valorisation: A review of grape marc utilisation for value-added products. *Waste management*, 72, 99-118. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.011>
- Muncharaz, P. M. (2017). El almendro. Manual técnico. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2000). The significance of β -carotene, α -tocopherol and the xanthophyll cycle in droughted *Melissa officinalis* plants. *Functional Plant Biology*, 27(2), 139-146. <https://doi.org/10.1071/PP99107>
- Munné-Bosch, S. (2005). The role of α -tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of plant physiology*, 162(7), 743-748. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.022>
- Munné-Bosch, S. (2007). α -Tocopherol: a multifaceted molecule in plants. *Vitamins and Hormones*. 76, 375-392. [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(07\)76014-4](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76014-4)
- Nagegowda, D. A. (2010). Plant volatile terpenoid metabolism: biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS letters*, 584(14), 2965-2973. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2010.05.045>
- Nanos, G. D., Kazantzis, I., Kefalas, P., Petrakis, C., & Stavroulakis, G. G. (2002). Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition. *Scientia Horticulturae*, 96, 249-256. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00078-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00078-X)
- Nanos, P. G. (2015). Leaf and fruit responses to kaolin particle film applied onto mature olive trees. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(7), 17-27.
- Niculcea, M., López, J., Sánchez-Díaz, M., & Carmen Antolín, M. (2014). Involvement of berry hormonal content in the response to pre-and post-veraison water deficit in different grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(2), 281-291. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12064>

- Nitzsche, P., Berkowitz, G. A., & Rabin, J. (1991). Development of a seedling-applied antitranspirant formulation to enhance water status, growth, and yield of transplanted bell pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(3), 405-411. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.3.405>
- Noguera-Artiaga, L., Lipan, L., Vázquez-Araújo, L., Barber, X., Pérez-López, D., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2016). Opinion of Spanish consumers on hydrosustainable pistachios. *Journal of Food Science*, 81(10), S2559-S2565. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13501>
- Noguera-Artiaga, L., Sánchez-Bravo, P., Pérez-López, D., Szumny, A., Calin-Sánchez, Á., Burgos-Hernández, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Volatile, sensory and functional properties of hydrosos pistachios. *Foods*, 9(2), 158. <https://doi.org/10.3390/foods9020158>
- Nortes, P. A., Gonzalez-Real, M. M., Egea, G., & Baille, A. (2009). Seasonal effects of deficit irrigation on leaf photosynthetic traits of fruiting and non-fruiting shoots in almond trees. *Tree Physiology*, 29(3), 375-388. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn032>
- Novello, V. (2014). Soils, minimization of non-renewable resources recycling waste and by-products, ecological balance. *OENOBIO* (Bordeaux, France).
- OeMv Observatorio Español del Mercado del Vino. (2022). Principales exportadores mundiales de vino. Organización Interprofesional del Vino de España. 1-47. Disponible en: <https://www.oemv.es/dr/3203> (Consultado el 14 de noviembre de 2022).
- Oestreicher, A. (1996). La crisis filoxerica en España (estudio comparativo sobre las consecuencias socio-económicas de la Filoxera en algunas regiones vitivinícolas españolas). *Hispania*, 56(193), 587-622. <https://doi.org/10.3989/hispania.1996.v56.i193.738>
- OIV. International Organisation of Vine and Wine, (2018). Managing by-products of vitivinicultura origin. OIV publications, 1st Edition: November 2017. Paris – France. ISBN 979-10-91799-90-4. Disponible en: http://20.216.173.16/sites/default/files/import/tecnicl_documents/managing-viticulture-by-products-web_en.pdf

- OIV, (2019). OIV Statistical Report on World VitiViniculture 2019 World VitiViniculture Situation. International Org of Vine and Wine 19, Rued'Aguesseau 75008 Paris. <http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf>. Accessed 20 January 2020.
- OIV. (2022). Análisis anual del sector vitivinícola mundial en 2021. Organización Internacional de la Viña y el Vino Organización Intergubernamental. Disponible en: <https://www.oiv.int/public/medias/8780/es-state-of-the-world-vine-and-wine-sector-abril-2022.pdf> (Consultado el 10 de marzo de 2023).
- OIVE, 2020. Organización Interprofesional del Vino de España. Importancia económica y social del sector vitivinícola en España. Afi. Madrid. Disponible en: <https://www.interprofesionaldelvino.es/publicaciones/informes-importancia-sector/nacional/> (Acceso el 5 de agosto de 2023).
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of pre-and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261-267.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., et al. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European journal of agronomy*, 34(2), 96-112. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.003>
- Oliveira, M., & Duarte, E. (2016). Integrated approach to winery waste: Waste generation and data consolidation. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 10, 168-176. <https://doi.org/10.1007/s11783-014-0693-6>
- Oliveira, I., Meyer, A., Afonso, S., Ribeiro, C., & Gonçalves, B. (2018). Morphological, mechanical and antioxidant properties of Portuguese almond cultivars. *Journal of Fluid Science and Technology*. 55, 467-478. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2955-3>.
- Oliveira, I., Meyer, A.S., Afonso, S., Aires, A., Goufo, P., Trindade, H., & Gonçalves, B. (2019a). Phenolic and fatty acid profiles, α -tocopherol and sucrose contents, and antioxidant capacities of understudied Portuguese almond cultivars. *Journal of Food Biochemistry*. 43, 12887. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12887>

- Oliveira, I., Malheiro, R., Meyer, A.S., Pereira, J.A., & Gonçalves, B., (2019b). Application of chemometric tools for the comparison of volatile profile from raw and roasted regional and foreign almond cultivars (*Prunus dulcis*). *Journal of Food Science & Technology*. 56, 3764–3776. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03847-x>
- Oliveira, D. F., Benhadi-Marín, J., Neto, J., Sanz, L., Garzo, E., Aguiar, A. et al. (2022). Kaolin particle films disrupt landing, settling behavior and feeding of *Trioza erytrae* on lemon plants. *Pest Management Science*, 78(11), 4753-4763. <https://doi.org/10.1002/ps.7095>
- Ojeda, H. (2007). Riego cualitativo de precisión en la vid. *Revista Enología*, 1, 14-17
- Ortega-Farias, S., Villalobos-Soublett, E., Riveros-Burgos, C., Zúñiga, M., & Ahumada-Orellana, L. E. (2020). Effect of irrigation cut-off strategies on yield, water productivity and gas exchange in a drip-irrigated hazelnut (*Corylus avellana* L. cv. Tonda di Giffoni) orchard under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*. 238, 106173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106173>
- Ou, C., Du, X., Shellie, K., Ross, C., & Qian, M. C. (2010). Volatile compounds and sensory attributes of wine from cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) grown under differential levels of water deficit with or without a kaolin-based, foliar reflectant particle film. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(24), 12890-12898. <https://doi.org/10.1021/jf102587x>
- Özcan, M. M., Matthäus, B., Aljuhaimi, F., Mohamed Ahmed, I. A., Ghafoor, K., Babiker, E. E., et al. (2020). Effect of almond genotypes on fatty acid composition, tocopherols and mineral contents and bioactive properties of sweet almond (*Prunus amygdalus* Batsch spp. dulce) kernel and oils. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 4182-4192. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pachón, E. R., Mandade, P., & Gnansounou, E. (2020). Conversion of vine shoots into bioethanol and chemicals: Prospective LCA of biorefinery concept. *Bioresource technology*, 303, 122946. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122946>
- Pandey, P. P., Sharma, R., & Neelkanthe, S. S. (2017). Climate change: Combating drought with antitranspirants and super absorbent. *Plant Arch*, 17, 1146-1156.

- Paradelo, R., Moldes, A. B., González, D., & Barral, M. T. (2009). Evaluación de compost y vermicompost de orujo agotado de uva como componentes de sustratos. *Actas de Horticultura*, 54, 675-680. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i1.9450>
- Park, S., Mills, S. A., Moon, Y., & Waterland, N. L. (2016). Evaluation of antitranspirants for enhancing temporary water stress tolerance in bedding plants. *HortTechnology*, 26(4), 444-452. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.4.444>
- Pastore, C., Allegro, G., Valentini, G., Muzzi, E., & Filippetti, I. (2017). Anthocyanin and flavonol composition response to veraison leaf removal on Cabernet Sauvignon, Nero d'Avola, Raboso Piave and Sangiovese *Vitis vinifera* L. cultivars. *Scientia Horticulturae*. 218. 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.048>.
- Peres, F., Jeleń, H. H., Majcher, M. M., Arraias, M., Martins, L. L., & Ferreira-Dias, S. (2013). Characterization of aroma compounds in Portuguese extra virgin olive oils from Galega Vulgar and Cobrançosa cultivars using GC–O and GC× GC–ToFMS. *Food Research International*, 54(2), 1979-1986. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.015>
- Pérez-Álvarez, E. P., Molina, D. I., Vivaldi, G. A., García-Esparza, M. J., Lizama, V., & Álvarez, I. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, 248, 106772. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Perri, E., Iannotta, N., Muzzalupo, I., Russo, A., Caravita, M. A., Pellegrino, M., et al. 2006. Kaolin protects olive fruits from *Bactrocera oleae* (Gmelin) infestations un affecting olive oil quality. IOBC/WPRS Bulletin.
- Perrone, I., Gambino, G., Chitarra, W., Vitali, M., Pagliarani, C., Riccomagno, N., et al. (2012). The grapevine root-specific aquaporin VvPIP2; 4N controls root hydraulic conductance and leaf gas exchange under well-watered conditions but not under water stress. *Plant physiology*, 160(2), 965-977. <https://doi.org/10.1104/pp.112.203455>

- Phogat, V., Skewes, M. A., Mahadevan, M., & Cox, J. W. (2013). Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural water management*, 118, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.015>
- Pilati, S., Brazzale, D., Guella, G., Milli, A., Ruberti, C., Biasioli, F., et al. (2014). The onset of grapevine berry ripening is characterized by ROS accumulation and lipoxygenase-mediated membrane peroxidation in the skin. *BMC Plant Biology*, 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-8>.
- Pinelo, M., Arnous, A., & Meyer, A.S. (2006). Upgrading of grape skins: Significance of plant cell-wall structural components and extraction techniques for phenol release. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 579–590. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.05.003>
- Ping, L., Brosse, N., Sannigrahi, P., & Ragauskas, A. (2011). Evaluation of grape stalks as a bioresource. *Industrial crops and products*, 33(1), 200-204. <https://doi:10.1016/j.indcrop.2010.10.009>.
- Piqueras Haba, J. (2005). La filoxera en España y su difusión espacial: 1878-1926. *Cuadernos de Geografía*, 77: 101-136.
- Plaut, Z., Magril, Y., & Kedem, U. (2004). A new film forming material, which reduces water vapour conductance more than CO₂ fixation in several horticultural crops. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(4), 528-532. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511800>.
- Porto and Douro Wines Institute, Statistics, 2017. Área de vinha e sua composição. https://www.ivdp.pt/estatisticas_novo2.php?codIdioma=0&codEstatistica=2&codIdioma=0&periodos=461(accessed 1 March 2018).
- Prasad, R. K., Chatterjee, S., Mazumder, P. B., Gupta, S. K., Sharma, S., Vairale, M. G., et al. (2019). Bioethanol production from waste lignocelluloses: A review on microbial degradation potential. *Chemosphere*, 231, 588-606. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.142>
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of botany*, 114(8), 1571-1596. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu205>

- Prgomet, I., Pascual-Seva, N., Morais, M. C., Aires, A., Barreales, D., Ribeiro, A. C., et al. (2020). Physiological and biochemical performance of almond trees under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 261, 108990. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108990>
- Prosdocimi, M., Jordán, A., Tarolli, P., Keesstra, S., Novara, A., & Cerdà, A. (2016). The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 547, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.076>
- Prozil, S. O., Evtuguin, D. V., & Lopes, L. P. C. (2012). Chemical composition of grape stalks of *Vitis vinifera* L. from red grape pomaces. *Industrial crops and products*, 35(1), 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.035>.
- Prudencio, Á. S., Dicenta, F., & Martínez-Gómez, P. (2018). Monitoring dormancy transition in almond [*Prunus dulcis* (Miller) Webb] during cold and warm Mediterranean seasons through the analysis of a DAM (Dormancy-Associated MADS-Box) gene. *Horticulturae*, 4(4), 41. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040041>
- Puerto, P., Domingo, R., Torres, R., Pérez-Pastor, A., & García-Riquelme, M. (2013). Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. Water relations and yield. *Agricultural water management*, 126, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.013>.
- Puterka, G. J., Glenn, D. M., Sekutowski, D. G., Unruh, T. R., & Jones, S. K. (2000). Progress toward liquid formulations of particle films for insect and disease control in pear. *Environmental Entomology*, 29 (2), 329-339. <https://doi.org/10.1093/ee/29.2.329>
- Queirós, F., Sousa, R., Reis, J. M., & Falcão, J. M. (2023). Formas de condução de amendoal em sistema superintensivo: cinco anos de resultados. *Revista de Ciências Agrárias*, 46(2), 169-175. <https://doi.org/10.19084/rca.31333>
- Rai, R. K., Singh, V. P., & Upadhyay, A. (2017). Planning and evaluation of irrigation projects: methods and implementation. Academic press.
- Rahdari, P., & Hoseini, S. M. (2012). Drought stress: a review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3(10), 443-446.

- Ranjbar, A., & Imani, A. (2022). Grafting commercial cultivars of almonds on accurate rootstocks mitigates adverse effects of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 293, 110725. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110725>
- Rashid, M. A., Zhang, X., Andersen, M. N., & Olesen, J. E. (2019). Can mulching of maize straw complement deficit irrigation to improve water use efficiency and productivity of winter wheat in North China Plain?. *Agricultural Water Management*, 213, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.008>
- Reynolds, A. G., Lowrey, W. D., Tomek, L., Hakimi, J., & De Savigny, C. (2007). Influence of irrigation on vine performance, fruit composition, and wine quality of Chardonnay in a cool, humid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(2), 217-228. <https://doi.org/10.5344/ajev.2007.58.2.217>
- Rieger, K.A., Birch, N.P., Schiffman, J.D., et al. (2016). Electrospinning chitosan / poly (ethylene oxide) solutions with essential oils: correlating solution rheology to nanofiber formation. *Carbohydrate Polymers*. 139, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.073>.
- Rizvi, S., Raza, S. T., Ahmed, F., Ahmad, A., Abbas, S., & Mahdi, F. (2014). The role of vitamin E in human health and some diseases. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, 14(2), e157. <https://doi.org/10.1080/10408360802118625>
- Roby, G., Matthews, A. (2004). Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 10, 74-82. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00009.x>.
- Rodrigues, M. Â., Afonso, S., Ferreira, I. Q., & Arrobas, M. (2017). Response of stevia to nitrogen fertilization and harvesting regime in Northeastern Portugal. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(5), 626-637. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1230272>
- Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Castello, J., Van Hecke, E., & Lanoisellé, J. L. (2015). Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. *Industrial Crops and Products*, 63, 26-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.001>.

- Rockenbach, I. I., Gonzaga, L. V., Rizelio, V. M., Gonçalves, A. E. D. S. S., Genovese, M. I., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) pomace from Brazilian winemaking. *Food Research International*, 44(4), 897-901. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.049>
- Romero, P., Botia, P., & Garcia, F. (2004). Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant and Soil*, 260(1-2), 169-181. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030193.23588.99>
- Romero, P., García, J., & Botía, P. (2006). Cost–benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science*, 24(3), 175-184. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0008-6>
- Romero, A., Vargas, F. J., Tous, J., Ninot, A., & Miarnau, X. (2011). Industrial potential of new almond varieties from IRTA's breeding program. *Acta horticulturae*, (912), 399-404.
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., M. del Amor, F., Valdés, E., Fernández, J. I., Martínez-Cutillas, A., (2013). Regulated Deficit Irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agricultural Water Management*. 121, 85-101. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.01.007>.
- Romero Carnicero, F., Sanz Mínguez, C., y Górriz Gañán, C. (2009). «El vino entre las élites vacceas. De los más antiguos testimonios a la consolidación de su consumo», en *El vino y el banquete en la Europa prerromana*, eds. C. Sanz Mínguez y F. Romero Carnicero (Valladolid: Vaccea Monografías 2. Centro de estudios Vacceos «Federico de Wattenberg» de la Universidad de Valladolid.), 225-250.
- Romero, P., Botía, P., & Navarro, J. M. (2018). Selecting rootstocks to improve vine performance and vineyard sustainability in deficit irrigated Monastrell grapevines under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 209, 73-93. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.012>

- Romero Azorin, P., & Garcia Garcia, J. (2020). The Productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*, *12*(5), 1930. <https://doi.org/10.3390/su12051930>.
- Romero, P., Navarro, J. M., & Ordaz, P. B. (2022). Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*, *259*, 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
- Roncero, J. M., Álvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Rabadán, A., & Pardo, J. E. (2020). Review about non-lipid components and minor fat-soluble bioactive compounds of almond kernel. *Foods*, *9*(11), 1646. <https://doi.org/10.3390/foods9111646>
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E., & Lampinen, B. D. (2006). Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. *Annals of Botany*. *98*, 267–275. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl100>
- Rosati, A. (2007a). Physiological effects of kaolin particle film technology: A review. *Functional Plant Science and Biotechnology*, *1*, 100-105.
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E., & Lampinen, B. D. (2007b). Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. *Annals of botany*, *99*(2), 255-263. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl252>
- Rousserie, P., Lacampagne, S., Vanbrabant, S., Rabot, A., & Geny-Denis, L. (2020). Influence of berry ripeness on seed tannins extraction in wine. *Food chemistry*, *315*, 126307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126307>
- Rubio-Cabetas J.M. (2016). Almond Rootstocks: Overview. In: Kodad O. (ed.), López-Francos A. (ed.), Rovira M. (ed.), Socias i Company R. (ed.). XVI GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios. Zaragoza: CIHEAM. p. 133-143.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., & Castel, J.R. (2010). Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish journal of agricultural research*, (2), 5-20. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008S2-1343>

- Sabir, A., Unver, A., & Kara, Z. (2012). The fatty acid and tocopherol constituents of the seed oil extracted from 21 grape varieties (*Vitis* spp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1982-1987. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5571>
- Sadras, V. O., & Villalobos, F. J. (2021). Physiological characteristics related to yield improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.). In Genetic improvement of field crops. CRC Press. 287-320.
- Salomon, M. V., Purpora, R., Bottini, R., & Piccoli, P. (2016). Rhizosphere associated bacteria trigger accumulation of terpenes in leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Malbec that protect cells against reactive oxygen species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.007>
- Sancha, J. C. (2018). Reflexiones sobre la evolución de la viticultura en los últimos treinta años. *Tierras de Castilla y León: Agricultura* 267: 122-130.
- Sánchez, J. M., Simón, L., González-Piqueras, J., Montoya, F., & López-Urrea, R. (2021). Monitoring crop evapotranspiration and transpiration/evaporation partitioning in a drip-irrigated young almond orchard applying a two-source surface energy balance model. *Water*, 13(15), 2073. <https://doi.org/10.3390/w13152073>
- Sánchez-Bel, P., Egea, I., Martínez-Madrid, M. C., Flores, B., & Romojaro, F. (2008). Influence of irrigation and organic/inorganic fertilization on chemical quality of almond (*Prunus amygdalus* cv. Guara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10056-10062. <https://doi.org/10.1021/jf8012212>
- Sánchez-Bravo, P., Collado-Gonzalez, J., Corell, M., Noguera-Artiaga, L., Galindo, A., Sendra, E., et al. (2020). Criteria for hydroSOS quality index. Application to extra virgin olive oil and processed table olives. *Water*, 12(2), 555. <https://doi.org/10.3390/w12020555>
- Sánchez-Ramos, I., Pascual, S., Marcotegui, A., Fernández, C. E., & González-Núñez, M. (2014). Laboratory evaluation of alternative control methods against the false tiger, *Monosteira unicostata* (Hemiptera: Tingidae). *Pest management science*, 70(3), 454-461. <https://doi.org/10.1002/ps.3593>
- Sánchez-Ramos, I., Marcotegui, A., Pascual, S., Fernández, C. E., Cobos, G., & González-Núñez, M. (2017). Compatibility of organic farming treatments against *Monosteira unicostata* with non-target arthropod fauna of almond trees

- canopy. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(2), e1004-e1004. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-10515>
- Sánchez-Rodríguez, E., Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2014). How does grafting affect the ionome of cherry tomato plants under water stress?. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(2), 145-155. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.870873>
- Sánchez-Rodríguez, L., Kranjac, M., Marijanović, Z., Jerković, I., Corell, M., Moriana, A., et al. (2019). Quality attributes and fatty acid, volatile and sensory profiles of “Arbequina” hydrosustainable olive oil. *Molecules*, 24(11), 2148. <https://doi.org/10.3390/molecules24112148>
- Santos, J. A., Costa, R., & Fraga, H. (2017). Climate change impacts on thermal growing conditions of main fruit species in Portugal. *Climatic Change*, 140, 273-286. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1835-6>
- Sarkar, S., Paramanick, M., & Goswami, S. B. (2007). Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. *glauca*) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India. *Soil and Tillage Research*, 93(1), 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.015>
- Sarooghinia, F., Khadivi, A., Abbasifar, A., & Khaleghi, A. (2020). Foliar Application of Kaolin to Reduce Sunburn in 'Red Delicious' Apple. *Erwerbs-Obstbau*, 62(1).
- Schicchi, R., Speciale, C., Amato, F., Bazan, G., Di Noto, G., Marino, P., et al. (2021). The monumental olive trees as biocultural heritage of Mediterranean landscapes: The case study of Sicily. *Sustainability*, 13(12), 6767. <https://doi.org/10.3390/su13126767>
- Schoedl, K., Schuhmacher, R., & Forneck, A. (2013). Correlating physiological parameters with biomarkers for UV-B stress indicators in leaves of grapevine cultivars Pinot noir and Riesling. *The Journal of Agricultural Science*, 151(2), 189-200. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000536>
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., & Hammel, H. T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.3>

- Schultz, H. R. (2003). Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1393-1405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x>
- Schumacher, D. L., Keune, J., Dirmeyer, P., & Miralles, D. G. (2022). Drought self-propagation in drylands due to land–atmosphere feedbacks. *Nature geoscience*, 15(4), 262-268. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00912-7>
- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., & Restrepo-Diaz, H. (2015). Effect of kaolin application on growth, water use efficiency, and leaf epidermis characteristics of *Physalis peruviana* seedlings under two irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(6), 1585-1596.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., et al. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Şendoğdu, N., Aslan, M., Orhan, D. D., Ergun, F., & Yeşilada, E. (2006). Antidiabetic and antioxidant effects of *Vitis vinifera* L. leaves in streptozotocin-diabetic rats. *Turkish J Pharm Sci*, 3(1), 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.12.033>.
- Sgarbi, E., Fornasiero, R.B., Lins, A.P., & Bonatti, P.M. (2003). Phenol metabolism in differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. *Plant Science*. 165, 951-957. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00219-X).
- Sharma, R. R., Reddy, S. V. R., & Datta, S. C. (2015). Particle films and their applications in horticultural crops. *Applied Clay Science*, 116, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>
- Shell almond reception standards. Descalmenra, Aeofruse and Cooperativas Agro-Alimentarias of Spain. August 1, 2019. <https://www.agroalimentarias.coop/ficheros/doc/06019.pdf> (2019). (Accessed 13 September 2022)
- Shellie, K., & Glenn, D.M., (2008). Wine grape response to kaolin particle film under deficit and well watered conditions. *Acta Horticulturae*. 792, 587–591. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.69>

- Shellie, K. C. (2010). Water deficit effect on ratio of seed to berry fresh weight and berry weight uniformity in winegrape cv. Merlot. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 414-418. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.61.3.414>
- Shellie, K. C., & King, B. A. (2013a). Kaolin particle film and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *American journal of enology and viticulture*, 64(2), 223-230. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12115>.
- Shellie, K.C., & King, B.A., (2013b). Kaolin particle film and water deficit influence red winegrape color under high solar radiation in an arid climate. *American journal of enology and viticulture*. 64, 214–222. <https://doi.org/10.5344/ajev.2013.12067>
- Skirycz, A., & Inzé, D. (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current opinion in biotechnology*, 21(2), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.03.002>
- Sibille, I., Ojeda, H., Prieto, J., Maldonado, S., Lacapere, J.-N., & Carbonneau, A., 2007. Relation between the values of three pressure chamber modalities (midday leaf, midday stem and predawn water potential) of 4 grapevine cultivars in drought situation of the southern of France. Applications for the irrigation control. In: Proceedings of XVth Conference GESCO, Porec, Croatia, pp. 685–695.
- Simões, O. (2003). A vinha e o vinho em Portugal: contributos para o desenvolvimento local e regional. Portela & Caldas (Org), Portugal Chão, Oeiras: Celta, 425-447.
- Sivaci, A., Sivaci, E.R., & Sökmen, M. (2007). Changes in antioxidant activity, total phenolic and abscisic acid constituents in the aquatic plants *Myriophyllum spicatum* L. and *Myriophyllum triphyllum* Orchard exposed to cadmium. *Ecotoxicology*. 16, 423-428. <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0145-1>.
- Skala, O., Táborský, J., Pivec, V., Horníčková, S., & Hejtmankova, A. (2013, November). Potential of grapevine cultivars grown in the czech republic for grapeseed oil production. In *I International Symposium on Fruit Culture and Its Traditional Knowledge along Silk Road Countries 1032* (pp. 63-68). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1032.8>

- Socias i Company R., J. Gómez Aparisi, J.M. Alonso, M.J. Rubio-Cabetas & O. Kodad, (2009). Retos y perspectivas de los nuevos cultivares y patrones de almendro para un cultivo sostenible. In: ITEA, 105(2), p. 99-116.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., De Nisco, M., & Scopa, A. (2012). Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of plant physiology*, 169(11), 1023-1031. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.03.007>
- Song, J., Shellie, K. C., Wang, H., & Qian, M. C. (2012). Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.). *Food Chemistry*. 134, 841-850. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>
- Sotés, V. (2004). El sector de la viticultura en la última década y condicionantes futuros. *Vida Rural* 200: 176-181.
- Sparrow, A. M., Damberg, R. G., Bindon, K. A., Smith, P. A., & Close, D. C. (2015). Interactions of grape skin, seed, and pulp on tannin and anthocyanin extraction in Pinot noir wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(4), 472-481. <https://doi.org/10.5344/ajev.2015.15022>
- Spréa, R. M., Fernandes, Â., Calhella, R. C., Pereira, C., Pires, T. C., Alves, M. J., et al. (2020). Chemical and bioactive characterization of the aromatic plant *Levisticum officinale* WDJ Koch: A comprehensive study. *Food & function*, 11(2), 1292-1303. <https://doi.org/10.1039/C9FO02841B>
- Spigno, G., Pizzorno, T., & De Faveri, D. M. (2008). Cellulose and hemicelluloses recovery from grape stalks. *Bioresource Technology*, 99(10), 4329-4337. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.044>.
- Spigno, G., Marinoni, L., & Garrido, G. D. (2017). State of the art in grape processing by-products. *Handbook of grape processing by-products*, 1-27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809870-7.00001-6>
- Steven, J.B. & Diane, F.K. (2002). Warm temperature and drought during seed maturation increase free α -tocopherol in the seeds of soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 6058–6063. <https://doi.org/10.1021/jf0200016>

- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in food science & technology*, 15(1), 19-38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>
- Sun, M., Ren, A. X., Gao, Z. Q., Wang, P. R., Mo, F., Xue, L. Z., & Lei, M. M. (2018). Long-term evaluation of tillage methods in fallow season for soil water storage, wheat yield and water use efficiency in semiarid southeast of the Loess Plateau. *Field Crops Research*, 218, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.021>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>.
- Tangolar, S. G., özoğul, Y., Tangolar, S., & Torun, A. (2009). Evaluation of fatty acid profiles and mineral content of grape seed oil of some grape genotypes. *International journal of food sciences and nutrition*, 60(1), 32-39. <https://doi.org/10.1080/09637480701581551>
- Tejerina-Gaite, F. & Martín Gamoneda, C. (2022). Evolución del sector vinícola en Castilla y León en el periodo 2010-2020 desde una perspectiva económico-financiera. *Revista Española De Estudios Agrosociales Y Pesqueros*, (259), 175–200. <https://doi.org/10.24197/reeap.259.2022.175-200>
- Tobar, P., Moure, A., Soto, C., Chamy, R., & Zúñiga, M. E. (2005). Winery solid residue revalorization into oil and antioxidant with nutraceutical properties by an enzyme assisted process. *Water Science and Technology*, 51(1), 47-52. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0006>
- Toepfer, R., Hausmann, L., & Eibach, R. (2011). Molecular Breeding. En: A.F.; Adam-Blondon, Martínez Zapater, J. M.; Kole, C. (eds.) *Genetics, Genomics and Breeding of Grapes*. CRC Press.
- Togores, J.H., & Fernández-Cano, L.H. (2011). *Tratado de viticultura I (Vol. 1)*. Mundi-Prensa Libros.
- Toledo, Á., & Burlingame, B. (2006). Biodiversity and nutrition: A common path toward global food security and sustainable development. *Journal of food composition and analysis*, 19(6-7), 477-483. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.05.001>

- Tombesi, S., Lampinen, B. D., Metcalf, S., & DeJong, T. M. (2011). Relationships between spur-and orchard-level fruit bearing in almond (*Prunus dulcis*). *Tree Physiology*, 31(12), 1413-1421. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr119>
- Tomoiaga, L. L., & Chedea, V. S. (2020). Grapevine trunk diseases management in vineyards from Central Transylvania. *Bull. USMV Cluj-Napoca. Horticult.*, 77, 117-121. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2019.0041>
- Torrecillas, A., Alarcón, J. J., Domingo, R., Planes, J., & Sánchez-Blanco, M. J. (1996). Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant Science*, 118(2), 135-143. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(96\)04434-2](https://doi.org/10.1016/0168-9452(96)04434-2)
- Torres, N., Hilbert, G., Luquin, J., Goicoechea, N., & Antolín, M. C. (2017a). Flavonoid and amino acid profiling on *Vitis vinifera* L. cv Tempranillo subjected to deficit irrigation under elevated temperatures. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.05.001>
- Torres, N., Goicoechea, N., & Antolín, M. (2017b). Influence of irrigation strategy and mycorrhizal inoculation on fruit quality in different clones of Tempranillo grown under elevated temperatures. *Agricultural Water Management*, 202, 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.004>.
- Torres, C., Jordà, G., de Vilchez, P., Vaquer-Sunyer, R., Rita, J., Canals, V., et al. (2021). Climate change and its impacts in the Balearic Islands: a guide for policy design in Mediterranean regions. *Regional Environmental Change*, 21 (4), 107. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01810-1>
- Toscano, G., Riva, G., Duca, D., Pedretti, E. F., Corinaldesi, F., & Rossini, G. (2013). Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery. *Biomass and Bioenergy*, 55, 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.015>
- Tous-Martí, J. (1995). Frutales mediterráneos cultivados en California. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (769), 680-684.
- Tous, J., & Ferguson, L. (1996). Mediterranean fruits. *Progress in new crops*, 416, 430.
- Tzortzakis, N., Chrysargyris, A., & Aziz, A. (2020). Adaptive response of a native mediterranean grapevine cultivar upon short-term exposure to drought and heat

- stress in the context of climate change. *Agronomy*, 10(2), 249. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020249>
- UN (2022) SDG Indicators. Metadata repository. Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/>
- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Accessed 1 June 2023]. Available from: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.
- United Nations (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables; Working Paper No. ESA/P/WP/248; Department of Economic and Social Affairs, Population Division: New York, NY, USA, 2017.
- Ünlü, M., Kanber, R., Şenyigit, U., Onaran, H., & Diker, K. (2006). Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. *Agricultural water management*, 79(1), 43-71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.02.004>
- Ünver, A., Özcan, M., Arslan, D., & Akin, A. (2007). The Lactic Acid Fermentation of Three Different Grape Leaves Grown in Turkey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31, 73–82. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2007.00108.x>
- Valdés, E., Talaverano, M., Moreno, D., Prieto, M.H., Mancha, L.A., Uriarte, D., & Vilanova, M. (2019). Effect of the timing of water deficit on the must amino acid profile of Tempranillo grapes grown under the semiarid conditions of SW Spain. *Food chemistry*, 192, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.046>
- Van Leeuwen, C., & Seguin, G. (2006). The concept of terroir in viticulture. *Journal of wine research*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/09571260600633135>
- 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(1), 445-460. <https://doi.org/10.1104/pp.108.128645>

- Vargas, F., Romero, M., Clavé, J., Vergés, J., Santos, J., & Batlle, I. (2008). ‘Vayro’, ‘Marinada’, ‘Constanti’, and ‘Tarraco’ almonds. *HortScience*, 43(2), 535-537. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.2.535>
- Vargas, F., Romero, M., Clavé, J., Alegre, S., & Miarnau, X. (2014). Variedades de Almendro; IRTA. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries: Tarragona, Spain.
- Varzi, M. M., and N. Grigg. 2019. Alternative water transfer methods: Review of Colorado experiences. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145(7), 04019011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001401](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001401).
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine responses to heat stress and global warming. *Plants*, 9(12), 1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- Vicente-Vicente, J. L., García-Ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., & Smith, P. (2016). Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>
- Vickers, C. E., Gershenzon, J., Lerdau, M. T., & Loreto, F. (2009). A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nature chemical biology*, 5(5), 283-291. <https://doi.org/10.1038/nchembio.158>
- Vilanova, M., Rodríguez-Nogales, J. M., Vila-Crespo, J., & Yuste, J. (2019). Influence of water regime on yield components, must composition and wine volatile compounds of *Vitis vinifera* cv. Verdejo. *Australian journal of grape and wine research*, 25(1), 83-91.
- von Caemmerer, S. V., & Farquhar, G. D. (1981). Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153, 376-387. <https://doi.org/10.1007/BF00384257>
- Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M. H., Ali, B., Ullah, S., Shah, W., et al. (2022). Plants’ physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress: A comprehensive review. *Plants*, 11(13), 1620. <https://doi.org/10.3390/plants11131620>

- Wang, J., Abbey, T., Kozak, B., Madilao, L. L., Tindjau, R., Del Nin, J., & Castellarin, S. D. (2019). Evolution over the growing season of volatile organic compounds in Viognier (*Vitis vinifera* L.) grapes under three irrigation regimes. *Food Research International*, 125, 108512. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108512>
- Williams, L. E., & Araujo, F. J. (2002). Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3), 448-454. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.3.448>
- Williams, L. E. (2013). Physiological tools to assess vine water status for use in vineyard irrigation management: review and update. In *IX International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology 1157* (pp. 151-166). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1157.24>
- Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in plant biology*, 5, 218-223. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(02\)00256-X](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(02)00256-X).
- White, P. J., Crawford, J. W., Díaz Álvarez, M. C., & García Moreno, R. (2012). Soil management for sustainable agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/850739>
- WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- WWAP (2018). United Nations World Water Assessment Programme/UN-Water. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water; UNESCO: Paris, France.
- Wu, Y., Zhang, W., Song, S., Xu, W., Zhang, C., Ma, C., et al. (2020). Evolution of volatile compounds during the development of Muscat grape ‘Shine Muscat’ (*Vitis labrusca* × *V. vinifera*). *Food chemistry*, 309, 125778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125778>

- Wunsche, J.N., Lombardini, L., & Greer, D.H., (2004). Surround particle film applications - effects on whole canopy physiology of apple. *Acta Horticulturae*. 636, 565–571. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.72>
- Xi, Z.M., Meng, J.F., Huo, S.S., Luan, L.Y., Ma, L.N., & Zhang, Z.W. (2012). Exogenously applied abscisic acid to Yan73 (*V. vinifera*) grapes enhances phenolic content and antioxidant capacity of its wine. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(4), 444-451. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.746291>.
- Xia, E.-Q., Deng, G.-F., Guo, Y.-J., & Li, H.-B., (2010). Biological activities of polyphenols from grapes. *International Journal of Molecular*. 11, 622-646. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijms11020622>.
- Xiao, L., Lee, J., Zhang, G., Ebeler, S. E., Wickramasinghe, N., Seiber, J., & Mitchell, A.E. (2014). HS-SPME GC/MS characterization of volatiles in raw and dry-roasted almonds (*Prunus dulcis*). *Food Chemistry*. 151, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.052>
- Yada, S., Lapsley, K., & Huang, G. (2011). A review of composition studies of cultivated almonds: macronutrients and micronutrients. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24, 469–480. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.007>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021a). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
- Yang, C., Shang, K., Lin, C., Wang, C., Shi, X., Wang, H., & Li, H. (2021b). Processing technologies, phytochemical constituents, and biological activities of grape seed oil (GSO): A review. *Trends in Food Science & Technology*. 116, 1074–1083. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.011>
- Yari, M., Manafi, M., Hedayati, M., Karimi, R., Valizadeh, R., & Jonker, A. (2017). Nutritional Value, Fourier Transform Infrared Spectroscopic Molecular Structures, Mycotoxines and Heavy Metals Concentration of Un-Ripe, Ripe and Sun-Dried Fruit from ‘Sultana’ Grapevine for Ruminants. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 7(3), 411-420.

- Yildirim, A., Yildirim, F., Şan, B., Polat, M., & Sesli, Y. (2016). Variability of phenolic composition and tocopherol content of some commercial Almond cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.020>
- You, Q., Wang, B., Chen, F., Huang, Z., Wang, X., & Luo, P.G. (2011). Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry*, 125, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.063>
- Yu, L. L., Zhou, K. K., & Parry, J. (2005). Antioxidant properties of cold-pressed black caraway, carrot, cranberry, and hemp seed oils. *Food chemistry*, 91(4), 723-729. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.044>
- Yu, J., & Ahmedna, M. (2013). Functional components of grape pomace: Their composition, biological properties and potential applications. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2), 221-237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03197.x>.
- Yu, R., Torres, N., Tanner, J. D., Kacur, S. M., Marigliano, L. E., Zumkeller, M., et al. (2022). Adapting wine grape production to climate change through canopy architecture manipulation and irrigation in warm climates. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1015574>
- Zamany, A. J., Samadi, G. R., Kim, D. H., Keum, Y. S., & Saini, R. K. (2017). Comparative study of tocopherol contents and fatty acids composition in twenty almond cultivars of Afghanistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(6), 805-817. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-2989-8>
- Zhang, S. Q., & Outlaw Jr, W. H. (2001). Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard-cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant, Cell & Environment*, 24(10), 1045-1054. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00755.x>.
- Zhang, S.L., Lovdahl, L., Grip, H., Tong, Y.N., Yang, X.Y., & Wang, Q.J. (2009). Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*. 102 (1), 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.019>

- Zhang, X., & Liu, C.-J. (2015). Multifaceted regulations of gateway enzyme phenylalanine ammonia-lyase in the biosynthesis of phenylpropanoids. *Molecular Plant*, 8, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.001>.
- Zhang, N., Hoadley, A., Patel, J., Lim, S., & Li, C. E. (2017). Sustainable options for the utilization of solid residues from wine production. *Waste Management*, 60, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.006>
- Zhu, Y., Taylor, C., Sommer, K., Wilkinson, K., & Wirthensohn, M. (2014). Effect of deficit irrigation on almond kernel. *Acta Horticulturae* 1028. 221–223. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1028.35>
- Zhu, Y., Taylor, C., Sommer, K., Wilkinson, K., & Wirthensohn, M. (2015). Influence of deficit irrigation strategies on fatty acid and tocopherol concentration of almond (*Prunus dulcis*). *Food chemistry*, 173, 821-826. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.108>
- Zombardo, A., Mica, E., Puccioni, S., Perria, R., Valentini, P., Battista, M. et al. (2020). Berry quality of grapevine under water stress as affected by rootstock–scion interactions through gene expression regulation. *Agronomy* 10, 680. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050680>.
- Zribi, W., Aragüés, R., Medina, E., & Faci, J. M. (2015). Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil and Tillage Research*, 148, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.003>