



Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias,
Agroambientales y Alimentarias

APLICACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO EN OLIVAR. ¿CÓMO AFECTA A LA CALIDAD DEL ACEITE?

José Miguel García GarvÍ

Director de la tesis

Dr. D. Ángel Antonio Carbonell Barrachina

Codirector de la tesis

Dr. D. Luis Noguera Artiaga

Universidad Miguel Hernández de Elche

- 2025 -



La presente Tesis Doctoral, titulada “Aplicación de riego deficitario en olivar. ¿Cómo afecta a la calidad del aceite?”, se presenta bajo la modalidad de **tesis por compendio** de las siguientes **publicaciones**:

- García-Garvía, J. M., Sánchez-Bravo, P., Hernández, F., Sendra, E., Corell, M., Moriana, A., Burgos-Hernández, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2022). Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of ‘Arbequina’ Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agronomy*, 12(8), 1892. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081892>
- García-Garvía, J. M., Noguera-Artiaga, L., Hernández, F., Pérez-López, A. J., Burgos-Hernández, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2023). Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation. *Horticulturae*, 9(5), 557. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050557>



ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES

Publicación 1	
Tipo de publicación	Artículo original
Título	Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of 'Arbequina' Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard
Autores	José Miguel García-Garvía, Paola Sánchez-Bravo, Francisca Hernández, Esther Sendra, Mireia Corell, Alfonso Moriana, Armando Burgos-Hernández y Ángel A. Carbonell-Barrachina
DOI	https://doi.org/10.3390/agronomy12081892
Revista	Agronomy
Editorial	MDPI
Fecha de publicación	12 de agosto de 2022
Categoría JCR	Agronomy
Cuartil	Q1 (año 2022)
Ranking	16/88
Factor de impacto	3.7



ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES

Publicación 2	
Tipo de publicación	Artículo original
Título	Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation
Autores	José Miguel García-Garvía, Luis Noguera-Artiaga, Francisca Hernández, Antonio José Pérez-López, Armando Burgos-Hernández y Ángel A. Carbonell-Barrachina
DOI	https://doi.org/10.3390/horticulturae9050557
Revista	Horticulturae
Editorial	MDPI
Fecha de publicación	6 de mayo de 2023
Categoría JCR	Horticulture
Cuartil	Q1 (año 2023)
Ranking	7/38
Factor de impacto	3.1



El Dr. D. Ángel Antonio Carbonell Barrachina, director, y el Dr. D. Luis Noguera Artiaga, codirector/a de la tesis doctoral titulada “Aplicación de riego deficitario en olivar. ¿Cómo afecta a la calidad del aceite?”

INFORMAN:

Que D. José Miguel García Garvía ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo titulado “Aplicación de riego deficitario en olivar. ¿Cómo afecta a la calidad del aceite?” conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmamos para los efectos oportunos, en Orihuela a 16 de mayo de 2025.

Director/a de la tesis
Dr. D. Ángel A. Carbonell Barrachina

Codirector/a de la tesis
Dr. D. Luis Noguera Artiaga



La Dra. Dña. *Juana Fernández López*, Coordinadora del Programa de Doctorado en **Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias**

INFORMA:

Que D. José Miguel García Garví ha realizado bajo la supervisión de nuestro Programa de Doctorado el trabajo titulado “Aplicación de riego deficitario en olivar. ¿Cómo afecta a la calidad del aceite?” conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmo para los efectos oportunos, en Orihuela a 16 de mayo de 2025.

Profa. Dra. Dña. Juana Fernández López

Coordinadora del Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias,
Agroambientales y Alimentarias

Esta Tesis Doctoral ha sido posible gracias a la financiación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Miguel Hernández de Elche para el apoyo a la Formación de Personal Investigador, convocatoria 2020.

Los equipos de análisis *GC-MS* y *GC-FID* se han adquirido gracias a la Ayuda EQC2018-004170-P financiada por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER Una manera de hacer Europa.

Índice

1. Introducción	7
1.1. Historia	8
1.2. Sistemas de cultivo	9
1.3. Fenología del cultivo y necesidades hídricas	12
1.4. Producción y consumo de aceite de oliva	13
1.5. Legislación y calidad	17
1.6. Propiedades saludables	22
1.7. Sostenibilidad	23
2. Objetivos	25
3. Materiales y métodos	27
3.1. Diseño experimental 1	28
3.2. Diseño experimental 2	30
3.3. Parámetros de calidad	30
3.4. Determinación de actividad antioxidante y compuestos fenólicos	31
3.5. Perfil de ácidos grasos	31
3.6. Perfil de compuestos volátiles	32
3.7. Análisis sensorial descriptivo	33
3.8. Estudio de consumidores	34
3.9. Análisis estadístico	35
4. Resultados y discusión	36
4.1. Relación entre la reducción de agua de riego, estrés hídrico y producción	37
4.2. Efecto en los parámetros de calidad el aceite de oliva	39
4.3. Actividad antioxidante y contenido fenólico	43
4.4. Perfil volátil	45
4.5. Perfil lipídico	47
4.6. Efectos en la aceptación del consumidor	51
5. Conclusiones	53
6. Referencias	55
7. Anexo	67
7.1. Publicación 1	68
7.2. Publicación 2	82
8. Agradecimientos	94

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación comercial del aceite de oliva según su calidad	18
Tabla 2: Efecto de la campaña y del tratamiento de riego sobre el potencial hídrico del tallo, integral del estrés hídrico, agua aplicada y producción de aceite de oliva	38
Tabla 3: Parámetros oficiales de calidad establecidos por el Consejo Oleícola Internacional a lo largo de dos campañas productivas	39
Tabla 4: Perfil sensorial según los parámetros de calidad establecidos por el Consejo Oleícola Internacional.....	40
Tabla 5: Parámetros oficiales de calidad de los aceites de oliva analizados en la segunda publicación.....	41
Tabla 6: Perfil sensorial de los aceites analizados en la segunda publicación.....	42
Tabla 7: Actividad Antioxidante y contenido fenólico total en los aceites de oliva a lo largo de dos temporadas	43
Tabla 8: Actividad Antioxidante y Contenido fenólico total	44
Tabla 9: Perfil de compuestos volátiles (mg 100 mL ⁻¹ de aceite) obtenido en dos temporadas y riego deficitario	45
Tabla 10: Composición volátil de los aceites analizados en la segunda publicación.....	46
Tabla 11: Perfil lipídico del aceite de oliva Arbequina bajo riego deficitario durante dos temporadas.....	48 y 49
Tabla 12: Perfil de ácidos grasos de los aceites de oliva analizados en la segunda publicación.....	50
Tabla 13: Valores de aceptabilidad de los atributos sensoriales de los aceites por parte de los consumidores	41

Resumen

Uno de los efectos del cambio climático es la disminución de las precipitaciones y la disminución de recursos hídricos. En agricultura se ha generado la necesidad de buscar nuevas técnicas de riego y aprovechamiento del agua que sean más eficaces y eficientes, entre las que se encuentran las estrategias de Riego Deficitario (RD). La clave de este tipo de prácticas agrarias consiste en la reducción selectiva del agua de riego, hasta unos niveles por debajo de los requerimientos hídricos de la planta, pero que no se comprometa ni la productividad de la plantación ni la supervivencia a largo plazo en el caso de los cultivos leñosos. En este sentido se pueden aplicar dos estrategias, diferenciadas por el momento de reducción del agua de riego. El riego deficitario sostenido (RDS) mantiene la reducción del agua de riego a lo largo de todo el ciclo fenológico de la planta, mientras que el riego deficitario controlado (RDC) consiste en la aplicación de un determinado nivel de estrés en aquellas etapas fenológicas que son menos sensibles a la escasez de agua. En el caso del olivar se han establecido tres periodos fenológicos: desde la floración hasta el endurecimiento del hueso, el endurecimiento del hueso y la maduración del fruto y acumulación de aceite. La aplicación de riego deficitario no solamente puede comprometer la viabilidad del cultivo y la producción final, ya que también puede afectar de forma directa a la calidad del producto obtenido y sus derivados, como en el caso del aceite de oliva. Este aspecto debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar qué estrategias de RD permiten una reducción de agua de riego con mínimas pérdidas de producción, al mismo tiempo que se mantiene, o incluso aumenta, la calidad del producto final. En sentido opuesto, se están llevando a cabo prácticas agrarias con el objetivo de maximizar la producción y la tecnificación de la producción agraria, como el caso de los sistemas de cultivo de alta densidad o superintensivos, que a su vez aumentan las necesidades de insumos y de recursos hídricos de los cultivos.

Teniendo en cuenta estos escenarios y condicionantes, la hipótesis de esta Tesis Doctoral es que determinadas estrategias de riego deficitario pueden mantener e incluso mejorar la calidad final del aceite de oliva obtenida en condiciones de estrés hídrico en el olivar. De esta forma, los objetivos de este trabajo de investigación han sido analizar el efecto en la calidad fisicoquímica y sensorial de los aceites obtenidos bajo condiciones de riego deficitario, los cambios en los perfiles volátiles y lipídicos, la actividad antioxidante y el contenido en compuestos polifenólicos, además de indagar en la aceptación que muestran los consumidores de los aceites que han sido obtenidos mediante estrategias de RD frente a aquellos que han sido obtenidos en escenarios sin restricciones hídricas.

Los resultados indicaron que la aplicación de riego deficitario, tanto en su variante Sostenida como en la variante Controlada generaron cambios en la calidad de los aceites obtenidos, desde un punto de vista fisicoquímico y sensorial. Estos cambios se vieron reflejados en el estudio de consumidores, donde los consumidores mostraron una mayor aceptación por los aceites hidroSOSTenibles. Respecto a los perfiles químicos, la aplicación de riego deficitario generó cambios tanto en los compuestos volátiles, donde aumentaron los compuestos relacionados con aromas verdes, como en la proporción de ácidos grasos, desplazados hacia una composición más saludable. En lo relativo a los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante también se produjo un aumento, como respuesta al estrés abiótico generado al reducir el agua disponible.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la aplicación de riego deficitario en olivar superintensivo no sólo favorece la conservación de recursos hídricos en escenarios de escasez de agua, sino que permite a su vez mejorar la calidad global de los aceites obtenidos, sin afectar significativamente a la producción.

Abstract

One of the effects of climate change is the decrease in rainfall and water resources. In agriculture, this has created the need to seek new irrigation and water use techniques that are more effective and efficient, such as Deficit Irrigation (DI) strategies. The key to these agricultural practices is the selective reduction of irrigation water to levels below the plant's water requirements, without compromising the productivity of the plantation or the long-term survival of woody crops.

Two strategies can be applied, differentiated by the timing of the irrigation water reduction. Sustained Deficit Irrigation (SDI) maintains the reduction of irrigation water throughout the plant's entire phenological cycle, while Controlled Deficit Irrigation (CDI) involves applying a certain level of stress during phenological stages that are less sensitive to water scarcity. In the case of olive trees, three phenological periods have been established: from flowering to pit hardening, pit hardening, and fruit ripening and oil accumulation.

The application of deficit irrigation can not only compromise the viability of the crop and final production, but it can also directly affect the quality of the product obtained and its derivatives, such as olive oil. This aspect must be considered when selecting which DI strategies allow for a reduction in irrigation water with minimal production losses, while maintaining or even increasing the quality of the final product. Conversely, agricultural practices are being carried out with the aim of maximizing production and the technification of agricultural production, such as high-density or super-intensive cultivation systems, which in turn increase the input and water resource needs of the crops.

Given these scenarios and conditions, the hypothesis of this Doctoral Thesis is that certain deficit irrigation strategies can maintain or even improve the final quality of olive oil obtained under water stress conditions in olive groves. Thus, the objectives of this research work have been to analyze the effect on the physicochemical and sensory quality of oils obtained under deficit irrigation conditions, changes in volatile and lipid profiles, antioxidant activity, and polyphenolic compound content, as well as to investigate consumer acceptance of oils obtained through DI strategies compared to those obtained in scenarios without water restrictions.

The results indicated that the application of deficit irrigation, both in its Sustained and Controlled variants, generated changes in the quality of the oils obtained, from a physicochemical and sensory point of view. These changes were reflected in the consumer study, where consumers showed greater acceptance of hydroSOSustainable oils. Regarding chemical profiles, the application of deficit irrigation generated changes in volatile compounds, where compounds

related to green aromas increased, as well as in the proportion of fatty acids, shifted towards a healthier composition. In terms of phenolic compounds and their antioxidant capacity, there was also an increase, as a response to the abiotic stress generated by reducing the available water.

According to the results obtained, it can be concluded that the application of deficit irrigation in super-intensive olive groves not only favors the conservation of water resources in scenarios of water scarcity but also improves the overall quality of the oils obtained, without significantly affecting production.



1.1 Historia

El olivo (*Olea europaea ssp.*) es un cultivo de gran importancia histórica en la cuenca mediterránea. Las aceitunas se han utilizado como fuente de alimento y aceite durante siglos, así como en rituales y religiones (Diez *et al.*, 2015)

El olivo, al ser una especie de polinización anemófila, genera una gran cantidad de polen (Cuevas y Polito, 2004). Por ello, se ha encontrado restos de los mismos a través de diferentes estratos geológicos en la zona del Mediterráneo Sur, permitiendo así realizar estudios palinológicos. De esta forma se pueden encontrar evidencias de la presencia de variedades silvestres de olivo en el yacimiento de Gesher Benot Ya'akov (Israel) durante el Pleistoceno Medio (Goren-Inbar *et al.*, 2000), así como una disminución de la cantidad de polen, previsiblemente asociado a periodos glaciares o de sequía extrema. El estudio de los registros palinológicos de diferentes regiones mediterráneas parece indicar que el cultivo del olivo se empezó a desarrollar en el sureste del mediterráneo cerca de 6500 años antes de Cristo, aproximadamente 3000 años antes que en las regiones más al Norte y las penínsulas Ibérica y Egea. Durante la Edad de Bronce tardía se produjo una gran disminución de la cantidad de polen de olivo, lo que indica otro cambio climático hacia climas secos, mientras que durante la Edad del Hierro se produjo otro aumento en la cantidad de polen encontrado en los yacimientos (Litt *et al.*, 2012).

La primera evidencia arqueológica de la producción de aceite de oliva se encuentra en el yacimiento de Kfar Samir (Israel), donde aparecieron miles de huesos de aceituna triturados, datados entre el 7600 y el 7000 antes de Cristo (Barazani *et al.*, 2023). Estos registros, junto con los encontrados en Galilea en restos cerámicos, muestran el uso de las aceitunas para la extracción del aceite de oliva. La variabilidad de los huesos encontrados indica que en esta época se recolectaban las aceitunas de los olivos silvestres.

Las primeras evidencias de cultivo del olivar se encuentran en yacimientos del Calcolítico alejados de las áreas de distribución natural del olivo (Langgut y Garfinkel, 2022), como el yacimiento de Tel Tsaf (Israel). Estas evidencias se fundamentan en el aumento de la homogeneidad de los huesos encontrados, así como el aumento de las instalaciones de

prensado y recipientes con restos de aceite indica una mayor importancia de este producto en la sociedad del Antiguo Reino de Egipto.

Las plantaciones de olivos continuaron su expansión hacia el oeste, llegando a Sicilia, Cerdeña, Italia, Francia, España, Portugal, Argelia, Túnez y Marruecos. En general, se cree que los fenicios importaron las aceitunas a España y el norte de África alrededor del año 1000 a. C. y los griegos importaron los olivos a Italia. Los primeros escritos agronómicos registrados pueden atribuirse a los romanos, y ciertamente la expansión y prosperidad del Imperio Romano fue fundamental en la difusión de las plantaciones de olivos y de las instalaciones de procesamiento de aceite en toda la cuenca mediterránea (Vossen, 2007).

El olivo se considera el árbol más emblemático de la cuenca mediterránea. Hoy en día, se cultivan cientos de variedades de aceitunas para producir frutos de alta calidad para aceite y consumo de mesa (Besnard *et al.*, 2018). En España, las variedades más representativas de aceituna de aptitud almazara, aquellas cuyos frutos son destinados preferentemente a la obtención de aceite, son picual, arbequina, hojiblanca y cornicabra, siendo su distribución geográfica muy heterogénea (MAPA, 2007).

1.2 Sistemas de cultivo

La modernización de la agricultura y los cambios progresivos en los sistemas de cultivo han ido desarrollándose progresivamente en el olivar, existiendo actualmente, tres grandes sistemas de cultivo (Fernandez Escobar *et al.*, 2013).

1.2.1 Olivar Tradicional

El olivar tradicional (Ilustración 1) es el sistema predominante en muchas regiones olivareras de España, especialmente en Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura. Se caracteriza por su baja densidad de plantación y métodos de cultivo adaptados a las condiciones climáticas locales. Este sistema de plantación tiene una baja densidad de árboles, ya que cuenta con entre 70 y 120 olivos por hectárea, con escasa mecanización. Estos sistemas de plantación favorecen el desarrollo de los olivos a lo largo del tiempo, pudiendo encontrarse plantaciones centenarias. En función de la pendiente del terreno,

este sistema de plantación puede ser mecanizable, si es inferior al 20 %, o no mecanizable. Respecto al tipo de riego, en este método de plantación predomina el secano, aunque puede estar adaptado a un sistema de regadío. Las ventajas de este sistema de plantación son la menor inversión inicial, una menor dependencia de insumos agrícolas como fertilizantes y agua de riego, y los árboles pueden presentar una mayor longevidad, aunque es el sistema que menor productividad presenta por hectárea, depende en mayor medida de las condiciones climáticas y necesita una mayor mano de obra para su mantenimiento y recolección.



Ilustración 1: olivar tradicional. Fuente: Revista Quercus

1.2.2 Olivar Intensivo

El olivar intensivo busca optimizar la producción mediante una mayor densidad de plantación y el uso de tecnología avanzada en el manejo agronómico. En este sistema de plantación se pueden encontrar plantaciones con entre 200 y 500 árboles por hectárea, con marcos de plantación reducidos a 7X5 metros, 7X7 metros o 8X4 metros (Ilustración 2). En este sistema predomina el riego localizado por goteo, optimizando así el uso de agua y de fertilizantes. En estos sistemas la poda se realiza con el fin de permitir una recolección mecanizada, empleando vibradores y mantones acoplados a tractores. Los olivares intensivos presentan una mayor producción por hectárea de plantación que el sistema tradicional y una menor mano de obra, aunque requieren de una inversión inicial superior, además de un control más amplio en lo relativo a la gestión técnica de riego y fertilización. Este sistema de plantación se empezó a popularizar a partir de los años 70 en zonas con una mayor disponibilidad de agua.



Ilustración 2: Olivar intensivo. Fuente: Oleoestepa.com

1.2.3 Olivar Superintensivo

Este sistema moderno está diseñado para la producción en seto con alta densidad de árboles y plena mecanización. Los olivares en sistema superintensivo pueden estar formados por entre 1500 y 2000 olivos por hectárea, plantados en marcos muy reducidos, en torno a 1,5X4 metros (Ilustración 3). El método de recolección de este sistema de plantación se realiza mediante cosechadoras que se desplazan por encima de los setos. Las principales variedades adaptadas a estos sistemas de plantación son principalmente “Arbequina”, “Arbosana” y “Koroneiki”, aunque se están desarrollando nuevas especies mediante cruces selectivos (Rallo *et al.*, 2018). Las ventajas de este sistema de plantación residen en la rápida entrada en producción, una mayor eficiencia en la recolección de los frutos, con menor cantidad de mano de obra y una reducción de los costes de mantenimiento. Por otro lado, este sistema presenta una mayor inversión inicial, necesita de maquinaria y mano de obra más especializada, así como un manejo agronómico adaptado a las cosechadoras y una vida productiva de los olivos más reducida. Este sistema empezó a desarrollarse a principios de los años 90.

Además de estos grupos, se pueden encontrar otras divisiones, como ecológico, convencional, de montaña, de secano o de regadío, aunque son adaptaciones y modificaciones en función del terreno y disponibilidad de agua de riego.



Ilustración 3: olivar superintensivo. Fuente: Oleoestepa.com

1.3 Fenología del cultivo y necesidades hídrica.

El olivo (*Olea europaea*) tiene un tronco con corteza acanalada, agrietada y de color pardo-grisáceo. Sus ramas son delgadas y grisáceas, lloronas, erguidas o abiertas de corteza lisa. Presenta hojas pequeñas y succulentas en olivos jóvenes, mientras que estas se tornan alargadas y fusiformes en ejemplares adultos. Su inflorescencia es de tipo panícula, con flores bisexuales, llegando a tener entre 18 y 25 flores, aproximadamente, por inflorescencia. La corola está formada por cuatro pétalos y dos estambres. El cáliz está formado por cuatro sépalos y el pistilo está formado por un ovario súpero con dos carpelos. El fruto es de tipo drupa bicarpelar y carnoso, con una única semilla, y presenta un tamaño de entre 0,5 y 2 cm (en función de la variedad) (MAPA, 2008).

De acuerdo con el desarrollo del árbol, mediante el seguimiento de sus elementos externos, se establecen los siguientes estados fenológicos del olivo:

- Brotación: Es la primera fase del ciclo fenológico del olivo. Comienza al final del invierno con la aparición de las yemas. Estas yemas pueden ser vegetativas o florales.
- Floración: Ocurre entre abril y mayo, aunque puede variar según la climatología.
- Formación y cuajado del fruto: ocurre tras la floración, a partir de las flores fecundadas (~2 %). Los frutos comienzan a consolidarse y aumentar de tamaño. Ocurre a finales de primavera o principios de verano.
- Desarrollo del fruto: durante este periodo pueden distinguirse 3 fases fenológicas independientes:
 - o Fase 1: desde el inicio del desarrollo del fruto hasta el inicio del endurecimiento del hueso (~10 semanas).
 - o Fase 2: endurecimiento del hueso, durante la cual no hay crecimiento del fruto (~7 semanas).
 - o Fase 3: rehidratación; engorde del fruto, acumulación de aceite y maduración (~9-17 semanas).
- Envero: Es la fase en la que el fruto cambia de color, indicando el inicio de la maduración.
- Maduración: Finalmente, el fruto alcanza su madurez y está listo para la cosecha.

Además, se produce un mayor crecimiento de hojas entre los meses de marzo y noviembre, coincidiendo con los estados fenológicos anteriores (Sanz-Cortés *et al.*, 2002).

Para conocer las necesidades hídricas del olivar se deben tener en cuenta diferentes parámetros, como la localización, las temperaturas, el estado fenológico, la densidad de plantación y el volumen de copa, entre otros. Estas necesidades hídricas van desde los 1500 a 3000 m³ por hectárea y año y un olivar tradicional a más de 5000 m³ por hectárea y año en un olivar super intensivo (IVIA, 2022; Pastor, 2001).

1.4 Producción y consumo de aceite de oliva

Actualmente en España se dispone de más de 100 variedades comerciales de aceitunas (Junta de Andalucía, 2011). Algunas de estas variedades son autóctonas y se encuentran localizadas en zonas pequeñas, como la variedad “Gordal de Hellín”, que solo se

encuentra en dicha región de Castilla-La Mancha, mientras que otras variedades como la “Arbequina”, “Picual” o “Manzanilla” están ampliamente distribuidas por todo el país.

Una de las variedades que mejor se ha adaptado al cultivo en superintensivo ha sido la variedad *Arbequina*, además de presentar una mayor resistencia a nuevas condiciones ambientales, con un sabor suave que es muy apreciado por los consumidores. Esta variedad se caracteriza por su pequeño tamaño, precocidad, alto rendimiento en aceite, buena calidad del mismo y otras características agronómicas, como la flexibilidad de las ramas y la fácil abscisión del fruto (Vidal *et al.*, 2019).

En los últimos años, el sistema de cultivo del aceite de oliva está sufriendo cambios, desde los sistemas tradicionales de secano a los convencionales superintensivos, que tienen altas necesidades de agua de riego (Guerrero-Casado *et al.*, 2021). Los sistemas superintensivos generan problemas ambientales, como la falta de diversidad debido a que las variedades locales no están bien adaptadas a esta práctica (Morgado *et al.*, 2020), o el aumento de la demanda de agua de riego (Rodríguez-Cohard *et al.*, 2020). En España, la región con mayor superficie de cultivo de olivo es Andalucía, que es una región con un alto nivel de riesgo de desertificación, debido a sus bajas precipitaciones y altas temperaturas. Además, el aceite de oliva ha experimentado un gran aumento de producción a nivel global debido al aumento de publicaciones y de información acerca de los beneficios saludables que genera su consumo cotidiano (Lombardo *et al.*, 2018). En el Gráfico 1 se puede observar la evolución de la producción a nivel mundial. A lo largo del tiempo la tendencia se dirige hacia un aumento de la producción, aunque se pueden apreciar descensos y aumentos importantes entre la temporada de 2010-2011 y 2018-2019. Estos cambios pueden deberse a un proceso de vecería más acusado de lo normal. También se puede observar cómo a partir de la temporada 2020-2021 se ha producido otro descenso importante de la producción, debido principalmente a los efectos de la sequía continuada en la zona mediterránea.

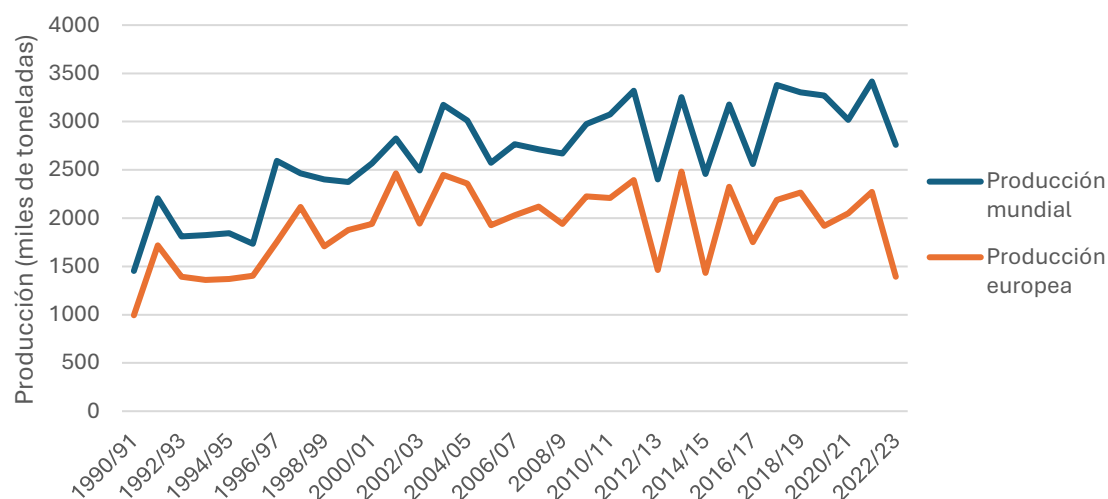


Gráfico 1: Evolución de la producción europea y mundial desde 1990. Los valores están expresados en miles de toneladas. Fuente: Consejo Oleícola Internacional (2024)

De acuerdo con los últimos datos, las previsiones de consumo para la campaña 2024/2025 presentan a la UE como la región con mayor consumo a nivel mundial (43 %) siendo España e Italia los principales países consumidores (Gráfico 2) (COI, 2025). Respecto a los países que no se encuentran dentro del Consejo Oleícola Internacional, consumirá el 33 % del aceite mundial, siendo Estados Unidos el mayor consumidor, mientras que el resto de los países que conforman dicho consejo consumirán el 24 % restante.

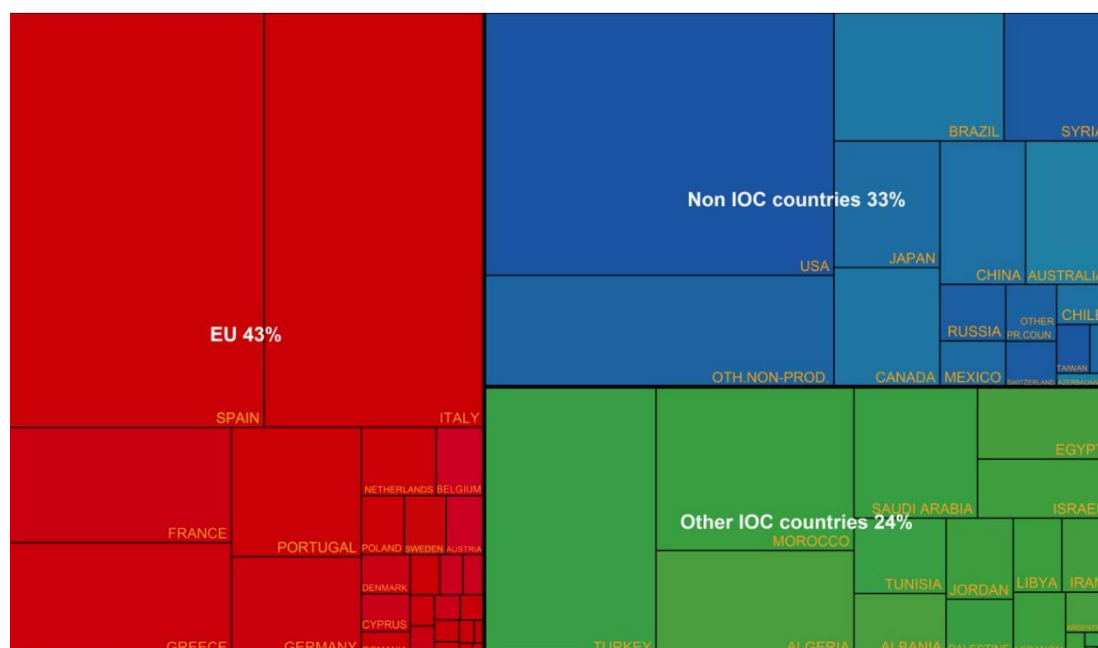


Gráfico 2: consumo estimado para la campaña 2024-2025. Fuente: Consejo Oleícola Internacional

En el caso particular de España, somos un país eminentemente exportador produciendo entre 100000 y 1 millón de toneladas más de aceite de las que consume (Gráfico 3). Se puede apreciar que, en la última campaña, la producción se redujo en gran medida, sobre todo por las condiciones climatológicas que se dieron en el sur de España, la zona con mayor producción del país. Otro aspecto que se puede analizar es la continuidad del consumo en valores en torno a 500000 toneladas anuales, a excepción del último año, donde el consumo de aceite ha caído drásticamente. Esto puede deberse en gran parte a la subida de precios generada por la disminución de la producción.

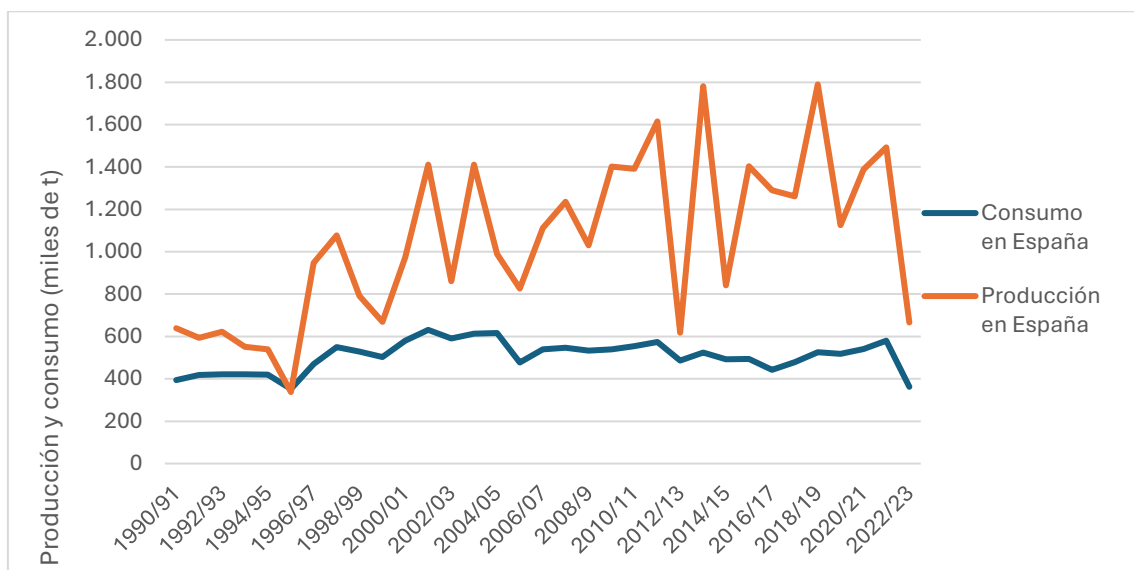


Gráfico 3: producción y consumo de aceite de oliva en España. Los valores están expresados en miles de toneladas. Fuente: Consejo Oleícola Internacional

1.5 Legislación y calidad

El Consejo Oleícola Internacional (Ilustración 4), IOOC por sus siglas en inglés y COI por sus siglas en español, es el organismo internacional encargado de legislar y controlar todos los parámetros de análisis del aceite de oliva, tanto sensoriales como organolépticos, que influyen a la hora de clasificar el aceite de oliva según su calidad.



Ilustración 4: Logo Consejo Oleícola Internacional

Para la clasificación realizada por el Comité Oleícola Internacional (COI) se emplean parámetros físico-químicos (% de acidez expresada en ácido oleico, índice de peróxidos, expresado en miliequivalentes de oxígeno de peróxidos por Kg de aceite, y la absorbancia en el espectro UV, entre otros) y organolépticos (sabor y olor, diferenciados en defecto y frutado), (COI, 2024a). Hay que tener en cuenta que el análisis sensorial oficial se debe realizar por un panel especializado en la cata de aceite y reconocido por el COI. La clasificación (Tabla 1) es la siguiente:

- **Aceite de oliva virgen extra (AOVE):** se trata del aceite de mejor calidad, obtenido de aceitunas en buen estado, con buen sabor, sin defectos y acidez inferior a 0.8 %.
- **Aceite de oliva virgen (AOV):** inferior al AOVE, puede presentar defectos organolépticos, una acidez máxima del 2 %.
- **Aceite de oliva virgen corriente (AOVC):** puede tener una acidez máxima de 3,3 %, y su comercialización no está permitida en todos los países.
- **Aceite de oliva virgen lampante (AOVL):** se trata de aceite no apto para consumo humano, por lo que necesita un proceso de refinado. La acidez de esta categoría es superior al 3,3 %.
- **Aceite de oliva refinado (AOR):** obtenido mediante el refinado de los aceites de oliva vírgenes por procesos que no modifiquen la estructura glicérica inicial, y deben tener una acidez máxima de 0,3 %.
- **Aceite de oliva (AO):** se trata del aceite formado por la mezcla de aceite de oliva refinado y aceite de oliva apto para el consumo, con una acidez máxima de 1 %.

- **Aceite de orujo de oliva:** es el aceite extraído por tratamientos con disolventes u otros procedimientos físicos de los orujos obtenidos de la elaboración de aceite en las almazaras, a excepción de procedimientos de reesterificación y aceites de otra naturaleza. Esta categoría se divide a su vez en tres grupos:
 - Aceite de orujo de oliva crudo: destinado a refinado para consumo humano o a usos técnicos.
 - Aceite de orujo de oliva refinado, obtenido a partir del aceite anterior por métodos que no modifiquen la estructura glicérica.
 - Aceite de orujo de oliva, elaborado a partir de la mezcla de aceite de orujo de oliva refinado y de aceite de oliva virgen apto para el consumo humano.

Tabla 1: Clasificación comercial del aceite de oliva según su calidad (COI, 2024a).

	AOVE*	AOV	AOVC	AOVL	AOR	AO	Aceite de orujo de oliva crudo	Aceite de orujo de oliva refinado	Aceite de orujo de oliva
Características organolépticas									
Olor y sabor					Aceptable	Bueno		Aceptable	Bueno
Mediana del defecto	Me* = 0	0 < Me < 3,5	3,5 < Me ≤ 6,00	Me > 6,0					
Mediana del frutado	Me > 0	Me > 0							
Color					Amarillo claro	Claro, Amarillo a verde		Amarillo a amarillo oscuro	Claro, amarillo a verde
Aspecto a 20°C tras 24 horas					Límpido	Límpido		Límpido	Límpido
Acidez libre									
% m/m expresada en ácido oleico	≤ 0,8	≤ 2,0	≤ 3,3	> 3,3	≤ 0,3	≤ 1,0	No limitada	≤ 0,3	≤ 1,0
Índice de peróxidos									
En meq. de oxígeno de peróxidos/kg de aceite	≤ 20	≤ 20	≤ 20	No limitado	≤ 5	≤ 15	No limitado	≤ 5	15
Absorbancia en UV (K 1%)1cm									
270 nm	≤ 0,22	≤ 0,25	≤ 0,30		≤ 1,10	≤ 0,90		≤ 2,00	≤ 1,70
K 232	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01		≤ 0,16	≤ 0,15		≤ 0,20	≤ 0,18

*AOVE: Aceite de Oliva Virgen Extra; AOV: Aceite de Oliva Virgen; AOVC: Aceite de Oliva Virgen Corriente; AOVL: Aceite de Oliva Virgen Lampante; AOR: Aceite de Oliva Refinado; AO: Aceite de Oliva

Uno de los aspectos más importantes de la calidad del aceite de oliva es el aspecto sensorial, ya que complementa a la calidad fisicoquímica. Por ello, el Consejo Oleícola Internacional ha desarrollado una serie de normas relativas a cómo se deben llevar a cabo los análisis y el vocabulario empleado en las sesiones de cata, entre otros aspectos.

El vocabulario empleado por el COI para realizar una cata de aceite de oliva se encuentra en dos normas específicas para el análisis sensorial (COI, 2005, 2024b), en las que aparece un listado de atributos, tanto positivos como negativos.

Los principales atributos positivos empleados por el COI son los siguientes:

- **Frutado:** Conjunto de sensaciones olfativas características del aceite que depende de la variedad y recuerda a olivas frescas y sanas, maduras o inmaduras. Se percibe directamente y a través de la parte posterior de la nariz.
- **Amargo:** sabor primario característico amargo del aceite obtenido de aceitunas verdes o aceitunas en el momento de viraje de color. Está relacionado con el estado fisiológico de la oliva en el momento de la cosecha.
- **Picante:** Sensación somatosensorial penetrante, característica de los aceites producidos al comienzo del año de cosecha, principalmente de olivas que aún no están maduras. Se puede percibir en toda la cavidad bucal, particularmente en la garganta una vez ingerido el aceite.

A partir del listado anterior de atributos, se pueden obtener atributos derivados, como suavidad del aceite, que depende de los valores obtenidos en los parámetros amargo y picante.

Respecto a los principales atributos negativos, los más comunes son los siguientes:

- **Atrojado:** flavor característico de las olivas que no han sido molidas tras la recogida, que han iniciado procesos de fermentación anaeróbica. Este defecto proviene del término “trojal”, que denominaba el lugar encargado, en la elaboración antigua y tradicional, de almacenar las olivas cosechadas antes de ser molturadas, donde podían pasar largos periodos de tiempo.

- **Moho:** flavor característico de las olivas que han sido recogidas y almacenadas en un ambiente húmedo, propiciando el desarrollo y crecimiento de hongos y levaduras. También se puede generar en olivas que han sido recogidas del suelo y no han sido lavadas antes de ser molturadas.
- **Borras:** flavor característico de los aceites que han estado un tiempo prolongado en contacto con los lodos generados durante la decantación. La aparición de este defecto se ha reducido en gran medida con el empleo de centrifugadoras, obteniendo aceites con una menor cantidad de restos.
- **Avinado o avinagrado:** flavor que recuerda a vino o vinagre.
- **Rancio:** flavor característico de los aceites con un grado elevado de oxidación.

Además de estos atributos negativos, también se pueden encontrar otros como el sabor metálico, sabor a cocido o sabor a esparto.

Por otro lado, el COI recomienda el uso de escalas lineales, en las que se encuentran agrupados los atributos negativos, seguidos de los atributos positivos, sin hacer distinciones entre los atributos percibidos de forma olfativa o gustativa. Además de la hoja de cata oficial, el director del panel puede elaborar otra para adaptarla a sus necesidades. En este caso, todos los atributos siempre deben contar con una definición clara, una serie de referencias, y en el caso de ser un atributo cuya valoración dependa de otros atributos, como la suavidad, se deben indicar los rangos establecidos.

El proceso de cata del aceite se debe realizar en una sala de catas normalizada según la norma COI (2007). La sala debe estar correctamente iluminada, contar con cabinas para aislar a los panelistas unos de otros, idénticas entre sí y capaces de aislar a los panelistas por delante y por los lados, para evitar influencias cruzadas entre ellos. Además, debe contar con asientos cómodos y regulables.

Las muestras se deben servir a una temperatura de 28 °C, por lo que es recomendable el empleo de elementos calefactores calibrados a dicha temperatura en el caso de servir varias muestras de forma simultánea. Cuando se va a realizar un análisis sensorial de más de una muestra, se le debe dar al panelista la instrucción de realizar un “Reposo”, un tiempo de espera entre muestra y muestra, de aproximadamente 1 minuto, y realizar

un “Limpiado” empleando un producto neutro distinto al catado con la finalidad de eliminar los restos de una muestra que puedan interferir en el resultado de la muestra siguiente. En el caso del aceite de oliva, es recomendable el empleo para este fin de manzanas, cortadas en medios gajos y sumergidos en agua para evitar que se oxide.

Las muestras deben servirse en copas de cristal con unas características específicas definidas en la norma COI (2020), con una forma y medidas determinadas. Una de las características más llamativas en la copa de cata de aceite de oliva es su color, que tradicionalmente ha sido azul oscuro y que recientemente se ha aceptado el empleo de copas de color granate. El uso de vidrio de estos colores se debe principalmente por su poder de ocultar el color del aceite, ya que puede influir en la decisión del panelista, teniendo en cuenta que el color no es un parámetro de calidad del aceite de oliva, puesto que es dependiente de muchos factores, como el grado de madurez de la oliva o la variedad de la misma.

Por otro lado, los tres parámetros fisicoquímicos más importantes son el índice de peróxidos, el índice de acidez y diferentes mediciones en el espectro ultravioleta, denominados como parámetros o valores K

La determinación del grado o índice de acidez libre del aceite, expresada en % de ácido oleico, se llevó a cabo siguiendo el protocolo establecido por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2017a). Este parámetro indica la cantidad de ácidos grasos libres que hay presentes en el aceite, y está relacionado con el proceso de extracción del aceite (León Mendoza *et al.*, 2021).

El índice de peróxidos, parámetro de calidad relacionado con la presencia de aceitunas dañadas, una oxidación inicial (Grossi *et al.*, 2015) y/o proceso de extracción del aceite incorrecto (Kamikata *et al.*, 2019), está recogido en otra normativa elaborada por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2017b).

El protocolo para analizar los coeficientes de extinción ultravioleta (K232, K270 y ΔK) están recogidos en la normativa elaborada por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2019). Estos coeficientes están relacionados con los compuestos que se producen durante las oxidaciones de los aceites (da Silveira *et al.*, 2017).

1.6 Propiedades saludables

El consumo de aceite de oliva, y en especial el aceite de oliva virgen extra, están relacionados con un efecto positivo en la salud de los consumidores. Uno de los efectos positivos que tiene su consumo está relacionado con las enfermedades cardiovasculares, observando un descenso de riesgo de sufrir este tipo de eventos médicos, así como la mortalidad de los mismos (Guasch-Ferré *et al.*, 2014). Diversos proyectos como *CORDIOPREV* han evaluado el efecto que tiene la dieta mediterránea, en la que el aceite de oliva tiene un papel fundamental como aporte de grasas y energía, en la salud de las personas, observando que su consumo favorece la disminución de los niveles de colesterol LDL en sangre, aumentando los niveles de colesterol HDL (Delgado-Lista *et al.*, 2022).

Otro campo de estudio relativo a los efectos del consumo de aceite de oliva en la salud está relacionado con la reducción de riesgo de padecer diversos tipos de cáncer, entre los que destacan el de colon, mama y próstata. Markellos *et al.* (2022) llevó a cabo una revisión de la información disponible en publicaciones científicas y observó que los grupos de estudio con una mayor ingesta de aceite de oliva, y en especial de aceite de oliva virgen extra, presentaron un menor riesgo de padecer cáncer de mama, en comparación con aquellos grupos que tenían en la dieta menores niveles de aceite de oliva.

Respecto al cáncer colorrectal, se han encontrado evidencias que señalan la transformación de diversos compuestos del aceite de oliva en metabolitos con actividad quimioprotector (Borzi *et al.*, 2019). Uno de los compuestos responsables de la actividad antiinflamatoria del aceite de oliva es el oleocantal, capaz de inhibir enzimas que participan en la síntesis de prostaglandinas, que pueden ser empleadas como marcadores oncológicos (Beauchamp *et al.*, 2005). Por otro lado, el consumo de aceite de oliva tiene un impacto directo en la microbiota intestinal, favoreciendo el desarrollo de bifidobacterias (Carmela *et al.*, 2018).

Otro aspecto que relaciona el consumo de aceite de oliva virgen extra con la prevención del cáncer es el contenido en polifenoles, entre los que destacan el hidroxitirosol, el tirosol y la oleuropeína (Fabiani, 2016), debido principalmente a su actividad

antioxidante y antiinflamatoria. La oleuropeína, perteneciente al grupo de los secoiridoides presenta además una actividad inhibidora del crecimiento de diferentes cepas de bacterias, hongos y virus, así como también reduce la agregación plaquetaria, disminuyendo el riesgo de generación de trombos (Benavente-García *et al.*, 2000).

Además, el aceite de oliva virgen extra, incluido en la dieta mediterránea, contribuye a la reducción de la presión arterial, debido principalmente a su alto contenido en ácidos grasos mono insaturados (Perona y Botham, 2013).

1.7 Sostenibilidad

El calentamiento global, acelerado por la acción humana, está generando graves problemas relacionados con los recursos hídricos, por lo que se están desarrollando diferentes planes y proyectos enfocados en la optimización del uso del agua, tanto en agricultura como en otras actividades humanas (Estrela, 2023). Al mismo tiempo, se está generando un aumento de la exigencia de la población para realizar cambios en el consumo de recursos naturales, en especial en el agua. La agricultura es una de las actividades humanas en las que se tiene la percepción que se produce un mayor consumo de recursos hídricos (FAO, 2019). Por ello, se están desarrollando nuevas estrategias agrícolas basadas en la reducción del agua de riego pero sin reducir la producción ni la calidad, como el uso de cubiertas vegetales (Bacelar *et al.*, 2007; Gómez *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2013), el riego de precisión (Arbizu-Milagro *et al.*, 2022) y/o la aplicación de riego deficitario (MAPA, 2024). Diferentes planes de investigación emplean el riego deficitario en diferentes cultivos de regadío, como almendros, pistachos y olivos (Lipan *et al.*, 2019; Noguera-Artiaga *et al.*, 2018; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2019) entre otros. En este sentido, se han desarrollado diferentes estrategias de manejo agrícola para reducir el volumen de agua de riego necesaria, pero sin comprometer la producción de aceite, como el riego deficitario sostenido (RDS), que se basa en una restricción hídrica uniforme durante el ciclo de producción de los olivos, y el riego deficitario controlado (RDC), en el que la restricción hídrica solo se aplica en los períodos fenológicos menos susceptibles, como el endurecimiento del hueso en el caso de los olivos (Cano-Lamadrid *et al.*, 2015). Estas técnicas de riego requieren de instalaciones

precisas de control del riego, así como del conocimiento de los diferentes parámetros sobre los que se puede aplicar la reducción del agua de riego, como los coeficientes de evapotranspiración (Corell *et al.*, 2019). De esta manera, desde la producción agrícola se contribuye a tratar de alcanzar el objetivo nº 12 (“Producción y consumo responsable”) de los Objetivos de Desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (United-Nations, 2015).

De hecho, el grupo de Calidad y Seguridad Alimentaria del Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Universidad Miguel Hernández de Elche ha creado una marca, HydroSOS Foods (Ilustración 5), con la intención de generar un distintivo a aquellos productores que, mediante el riego deficitario, consigan realizar una producción ecosostenible. Además, dicha marca implica un aspecto distintivo frente a la competencia, ya que permite acreditar algunas características funcionales y sensoriales de los productos, logrando que el consumidor esté dispuesto a pagar un precio más elevado por estos (Noguera-Artiaga Luis; Lipan Leontina, 2016).



Ilustración 5: Logo marca HydroSOS

A photograph of an olive branch with several green olives, set against a blurred background of an olive grove. The text "2. Objetivos" is overlaid on the left side of the image.

2. Objetivos

El objetivo general de la Tesis Doctoral consiste en comprobar el efecto que tienen diferentes tratamientos de riego deficitario en la calidad del aceite de oliva, su composición y en la apreciación de los consumidores.

A su vez, para lograr el objetivo principal se han planteado 3 objetivos específicos:

- **Objetivo específico 1:** Analizar el efecto del riego deficitario en los parámetros oficiales de calidad del aceite de oliva.
- **Objetivo específico 2:** Analizar el efecto del riego deficitario en la composición del aceite de oliva.
- **Objetivo específico 3:** Analizar el efecto del riego deficitario en la aceptación por parte del consumidor.

A photograph of an olive branch with several green olives, set against a blurred background of an olive grove. The text "3. Materiales y métodos" is overlaid on the image in a bold, green, sans-serif font.

3. Materiales y métodos

3.1 Diseño experimental 1

El ensayo agronómico experimental se llevó a cabo en olivos de 13 años de edad (var. Arbequina) cultivados bajo prácticas de agricultura convencional y alta densidad (4,0 × 1,5 m), en una finca localizada en el término municipal de Carmona, Sevilla (37,49 °N, -5,67 °O, Sevilla, España). El ensayo se desarrolló en los años 2018 y 2019.

Se distribuyeron aleatoriamente cuatro tratamientos de riego en bloques (Ilustración 6) con 60 árboles por parcela. Las aceitunas se cosecharon mecánicamente cuando presentaban un índice de madurez de 1,9 (Barranco Navero *et al.*, 2017); la cosechadora (New Holland Braud Olive) recolectó selectivamente muestras para cada tratamiento (línea central de cada parcela) y vació las aceitunas cosechadas en bolsas individuales; después, las muestras se limpiaron manualmente y se prepararon para la producción del aceite de oliva.

El aceite de oliva se obtuvo utilizando un molino de aceite modelo Frantoio Bio (Toscana Enologica Mori, Florencia, Italia) a 40–50 kg h⁻¹, con un sistema de extracción de aceite en dos fases. En total, se limpiaron 100 kg de muestras de aceitunas, se molieron (T < 28 °C, 20 min) con 1 % (p:p) de talco y 2 % (v:v) de agua.

Con objeto de poder realizar un seguimiento del estado fisiológico del cultivo durante la campaña de riego, se realizaron medidas puntuales del potencial hídrico del tallo al medio día (Ψ_{tallo}), en 4 árboles por tratamiento, empleando una cámara de presión (PMS Instrument Company, Albany, OR, EE. UU.). Se calculó la integral de estrés hídrico (SI) (Ecuación 1) para describir el efecto acumulativo de las estrategias de riego deficitario, desde el inicio del endurecimiento del hueso hasta la cosecha (19 de junio–14 de octubre en 2018 (117 días) y 14 de junio–24 de octubre en 2019 (132 días)).

$$SI = \sum [\Psi_{\text{Tallo}} - (-0.2)] \times n \quad \text{Ecuación 1}$$

donde *SI* es la integral de estrés, Ψ_{tallo} es el potencial hídrico del tallo al mediodía promedio para cualquier intervalo y *n* es el número de días en el intervalo.

Los tratamientos de riego estudiados fueron los siguientes:

- Control (T0): condiciones de riego completo (Corell *et al.*, 2022).

- RDI (T1): los árboles no tuvieron restricción de agua durante las fases I y III (el inicio del crecimiento del fruto del olivo y la maduración del fruto con acumulación de aceite, respectivamente), mientras que se aplicó riego regulado en la fase II (endurecimiento del hueso), con una reducción de agua del 37 % y 54 % en las temporadas 2018 y 2019, respectivamente.
- Confederación RDI (T2): mismas condiciones establecidas en T1 (riego deficitario aplicado en la fase II), pero con una restricción de agua establecida por la donación de la confederación hidrográfica del Guadalquivir (67 % de reducción de agua en 2018 y 72 % de reducción de agua en 2019).
- Confederación SDI (T3): riego deficitario sostenido con las mismas restricciones de agua que T2, pero durante todo el ciclo del olivo.

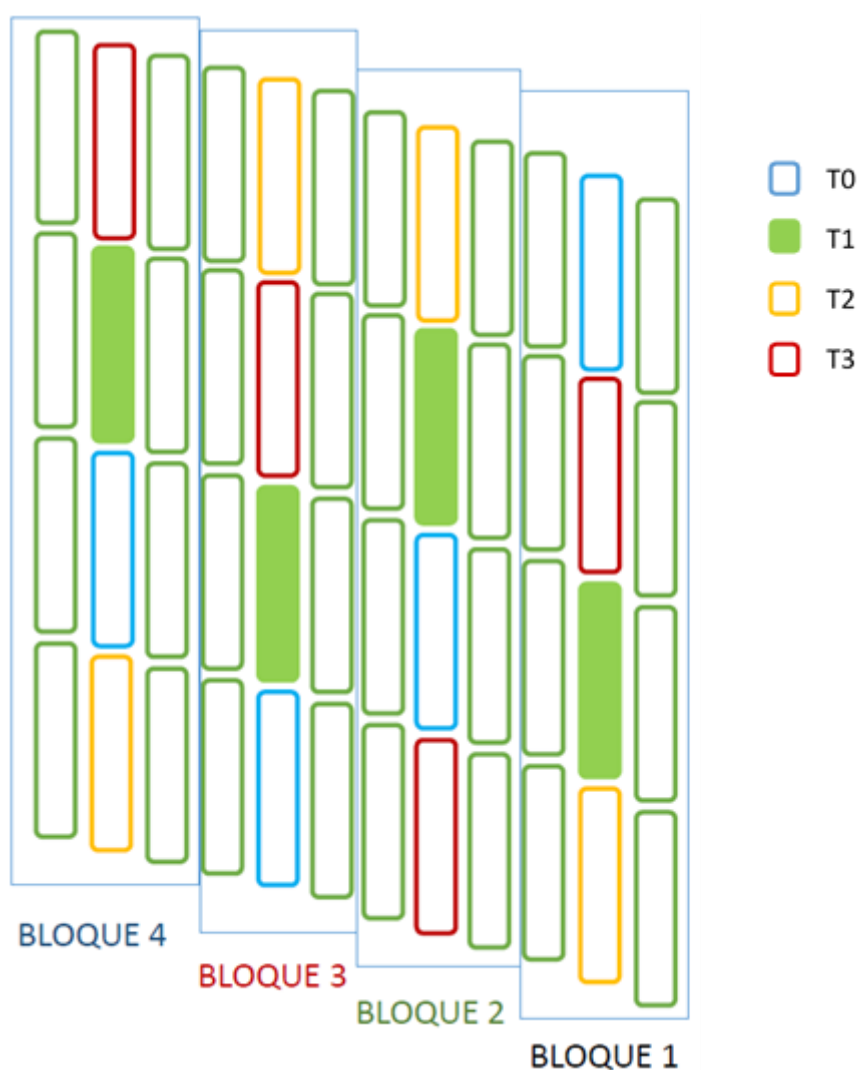


Ilustración 6: distribución de los tratamientos de riego.

3.2 Diseño experimental 2

El ensayo agronómico experimental se llevó a cabo en la finca comercial “La Matilla”(Carmona, Sevilla, España: 37.4 °N, -5.7 °O). Los árboles se encuentran bajo un marco de alta densidad (4,0 × 1,5 m), perteneciendo a dos variedades comerciales (cvs. Arbequina y Arbosana), típicas de sistemas de plantación en alta densidad. Se estudiaron un total de 60 árboles, organizados en 3 líneas (30 m), para cada uno de los tres tratamientos evaluados.

El sistema de riego era por goteo, de manera que el tratamiento control se estableció de manera independiente y el agua se suministró según las necesidades hídricas calculadas. Al igual que en el Experimento 1, se realizó un seguimiento del estado hídrico del cultivo mediante el desarrollo de medidas discretas de potencial hídrico de tallo al mediodía, con una determinación semanal mediante cámara de presión tipo Scholander (PMS Instrument Company, Albany, OR, EE. UU.).

Se aplicaron dos tratamientos de riego:

- Riego convencional (T0): condiciones de riego completo (Corell *et al.*, 2022).
- Tratamiento de riego hydroSOS (T2): condiciones de riego no limitadas durante la etapa I (inicio del desarrollo del fruto) y III (rehidratación), mientras que se aplicó riego deficitario controlado (RDI) durante la etapa II de endurecimiento del hueso (~70 % de reducción con respecto al T0).

3.3 Parámetros de Calidad

Se analizaron la acidez libre (% de ácido oleico), el valor de peróxidos (meq O₂ kg⁻¹ de aceite) y los coeficientes de extinción ultravioleta (UV) (índices K₂₃₂, K₂₇₀ y ΔK) siguiendo el procedimiento descrito por el Reglamento de la Comisión de la Unión Europea 2568/91 y las decisiones del Consejo Oleícola Internacional(COI, 2017a, 2017b, 2019). Los índices de absorción UV se determinaron en un espectrofotómetro UV-visible (modelo Helios Gamma, UVG 1002E; Helios, Cambridge, Reino Unido), utilizando ciclohexano y una cubeta de cuarzo de 10 mm.

3.4 Determinación de la Actividad Antioxidante y compuestos fenólicos

El extracto utilizado para la cuantificación del contenido fenólico total (TPC) y la actividad antioxidante (AA) se preparó como se describió anteriormente por Tuberoso *et al.* (2007) con algunas modificaciones. En resumen, se mezclaron 3 g de aceite de oliva con 5 mL de metanol/agua (80/20, v/v). La mezcla se agitó durante 2 minutos y la fase hidrofílica se filtró con un filtro de acetato de celulosa GD/X de 0,45 μm (Sartorius, Madrid, España). Este procedimiento se repitió dos veces con las fases lipofílicas, y todos los extractos hidrofílicos se evaporaron en un rotavapor a 35 °C. Finalmente, el residuo se disolvió en 1,5 mL de metanol.

La actividad antioxidante [ABTS+• (ácido azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) y DPPH• (2,2-difenil-1-pirilhidrazilo)] se llevó a cabo de acuerdo con los métodos descritos por Re *et al.* (1999) y Brand-Williams *et al.* (1995), respectivamente. La disminución de la absorbancia se midió a 734 nm (ABTS+•) y 515 nm (DPPH•) utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Helios Gamma, UVG 1002E; Helios, Cambridge, Reino Unido). Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mmol de Trolox eq L^{-1} de aceite de oliva.

El contenido fenólico total (TPC) se cuantificó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu según Gao *et al.* (2000). La absorción se midió a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Helios Gamma, UVG 1002E; Helios, Cambridge, Reino Unido). El análisis se realizó por triplicado y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) L^{-1} de aceite de oliva.

3.5 Perfil de Ácidos Grasos

El perfil de ácidos grasos se determinó siguiendo la norma ISO-12966-2 y utilizando C13:0 (0,04 mg mL^{-1}) como patrón interno para la posterior cuantificación. Después de la extracción y metilación, para la separación y cuantificación, se utilizó un cromatógrafo de gases (GC) Shimadzu GC-2030 acoplado a un detector de ionización de llama (FID) y un inyector automático AOC-20i. Se utilizó helio como gas portador a una velocidad de flujo lineal de 28,4 cm s^{-1} .

El FID utilizó hidrógeno y aire, con flujos de 35 mL min⁻¹ y 350 mL min⁻¹, respectivamente. El sistema GC utilizó una columna capilar Supelco SP®-2380 (longitud de 60 m; diámetro interno de 0,25 mm; y un espesor de película interna de 0,20 µm). Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 250 y 260 °C, respectivamente, y se utilizó un *split* de 1:20. La temperatura del horno comenzó a 70 °C y aumentó hasta 250 °C con incrementos de 3 °C min⁻¹.

Los ácidos grasos metílicos se identificaron comparando los tiempos de retención con los estándares FAME Supelco MIX-37 (Supelco Company, Bellefonte, PA, EE. UU.). Los resultados se calcularon como porcentaje de cada ácido graso en el perfil total de ácidos grasos.

Además, se calcularon el índice aterogénico (AI) (Ecuación 2) y el índice trombogénico (TI) (Ecuación 3) de acuerdo con la metodología descrita previamente por Sánchez-Rodríguez *et al.* (2019):

$$AI = (4 \times [14:0] + [16:0]) / [\sum PUFA (n-3) + \sum PUFA (n-6) + \sum MUFA] \quad \text{Ecuación 2}$$

$$TI = ([14:0] + [16:0] + [18:0]) / [0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum PUFA (n-6) + 3 \times \sum PUFA (n-3) + (n-3)/(n-6)] \quad \text{Ecuación 3}$$

donde [14:0], [16:0] y [18:0] son los contenidos (%) de los ácidos mirístico, palmítico y esteárico, respectivamente; y MUFA y PUFA son los contenidos de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, respectivamente.

3.6 Perfil de Compuestos Volátiles

Los compuestos volátiles se extrajeron mediante microextracción en fase sólida en el espacio de cabeza (HS-SPME). El análisis se realizó según Sánchez-Rodríguez *et al.* (2020) con algunas modificaciones. En resumen, se añadieron 10 mL de aceite de oliva a un vial de vidrio de 15 mL con 10 µL de acetato de bencilo como patrón interno (1000 mg L⁻¹) utilizando una fibra de 50/30 µm DVB/CAR/PDMS (Supelco Company, Bellefonte, PA, EE. UU.). Los viales se mantuvieron en un baño de agua controlado a 40 °C durante 60 min

(10 min de equilibrio previo y 50 min para la extracción de compuestos volátiles) con agitación continua (500 rpm) en un agitador magnético (IKA C-MAG HS 4, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemania). Finalizada la extracción, la fibra se insertó en el inyector a 250 °C durante 3 min para desorber directamente los compuestos volátiles en el equipo cromatográfico.

Se utilizó un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-2030 acoplado a un espectrómetro de masas (ShimadzuTQ8040 NX, Shimadzu Corporation, Kioto, Japón) para la separación e identificación de los compuestos volátiles. Para separar los compuestos volátiles, se utilizó una columna SLB-5 MS (Teknokroma, Barcelona, España) (longitud de 30 m; diámetro interno de 0,25 mm; y, espesor de película interno de 0. μm), utilizando Helio como gas portador a 0,6 mL s⁻¹ (*splitless*).

Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 230 y 300 °C, respectivamente. El programa del horno fue el siguiente: temperatura inicial 40 °C durante 3 min; tasa de 5 °C min⁻¹ hasta 100 °C; y tasa de 3 °C min⁻¹ hasta 300 °C, mantenida durante 3 min.

Para identificar los compuestos volátiles, el cromatograma se analizó utilizando el software GCMS Postrun Analysis (Shimadzu Corporation, Kioto, Japón) y los compuestos individuales se identificaron mediante tres métodos: (i) espectro de masas (compuesto químico original y colección de las bibliotecas de espectros Wiley 229 y NIST 14); (ii) índice de retención de estándares (RI); y (iii) índices de retención calculados utilizando la mezcla de alcanos de C7 a C16 (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania). El índice de retención experimental se comparó con el índice de la literatura obtenido del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST).

3.7 Análisis Sensorial Descriptivo

El análisis sensorial descriptivo se llevó a cabo utilizando el panel entrenado del grupo de investigación de Calidad y Seguridad Alimentaria (CSA) de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Este panel entrenado estaba formado por 8 panelistas (4 hombres y 4 mujeres, de edades comprendidas entre 25 y 50 años) con más de 1000 horas de entrenamiento en análisis sensorial, específicamente en vegetales y frutas. Además, los panelistas recibieron un entrenamiento especial en análisis sensorial de aceite de oliva

durante 2 días, utilizando muestras estándar proporcionadas por el Consejo Oleícola Internacional (COI).

Se realizaron cuatro sesiones, una sesión por cada tratamiento de riego, siguiendo la normativa europea n° 2568/91. Los descriptores utilizados fueron los definidos por el COI para clasificar los aceites de oliva en diferentes categorías comerciales y se clasificaron en dos grupos: (i) atributos positivos (afrutado, amargo, picante, floral, herbal, tomate, astringencia y picante) y (ii) atributos negativos (moho, atrojado y rancio).

Las muestras de aceite en estudio se presentaron en copas oficiales de vidrio azul a 28 °C, codificadas con números de tres dígitos, y se sirvieron a los panelistas en un orden aleatorio generado por el software RedJade (RedJade Sensory Solutions, LLC).

3.8 Estudio de Consumidores

Se realizó un estudio de consumidores en la Universidad de Sevilla con 96 consumidores de aceite de oliva; el único requisito de reclutamiento era el consumo de este producto al menos tres veces por semana. El cuestionario fue virtual, utilizando el software RedJade. Este software también se utilizó para crear el modelo de servicio aleatorio y balanceado, recopilar información y realizar el procesamiento de datos. Cada consumidor evaluó todas las muestras de aceite de oliva en estudio, cada una codificada con números de tres dígitos, escogidos de forma aleatoria.

El cuestionario se desarrolló en tres partes:

- Aceptación global, respondiendo a la pregunta de ¿cuánto te gusta el descriptor...?: olor del aceite de oliva, sabor del aceite de oliva, color, afrutado, amargo, picante, retrogusto y puntuación global). Se emplearon escalas de 9 puntos en las que 1 = me disgusta muchísimo y 9 = me gusta muchísimo).
- Intensidad, mediante escalas *Just About Right* (JAR) de 9 puntos, donde 1 = poca intensidad, 9 = intensidad elevada y 5 = intensidad justa, para cada uno de los atributos mencionados anteriormente.

- Preferencia, con preguntas CATA (*Check All That Apply*) para saber qué atributos consideraba el consumidor más importantes para decidir si un aceite de oliva en particular era de calidad. Además, todos los participantes tuvieron una pregunta de respuesta obligatoria sobre preferencia e intención de compra.

3.9 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en esta Tesis Doctoral son los valores medios de (al menos) 3 repeticiones. Para la obtención de estos se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) y una prueba de rangos múltiples de Tukey para hacer una comparación de las medias obtenidas. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas en $p < 0,05$. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el software XLSTAT (versión 2014.1).

A close-up photograph of an olive branch with several green olives. The branch is in sharp focus, while the background, showing a row of olive trees in a field, is blurred. The text "4. Resultados y discusion" is overlaid on the lower part of the image.

4. Resultados y discusion

4.1 Relación entre la reducción de agua de riego, el estrés hídrico y producción

En la Figura 1 se muestra la evapotranspiración de referencia diaria (ET_0) del cultivo y la precipitación diaria para las temporadas 2018 y 2019 (Diseño experimental 1). En la temporada 2018, las últimas lluvias de primavera se produjeron a finales de mayo (día del año, DOY, 146) y las lluvias de otoño comenzaron el DOY 284 (11 de octubre). En la temporada 2019, el período seco fue más largo, del 24 de abril al 19 de octubre (DOY 116 y 292, respectivamente). En las dos temporadas analizadas se pueden observar comportamientos similares en los valores de evapotranspiración, alcanzando los valores máximos en julio y agosto.

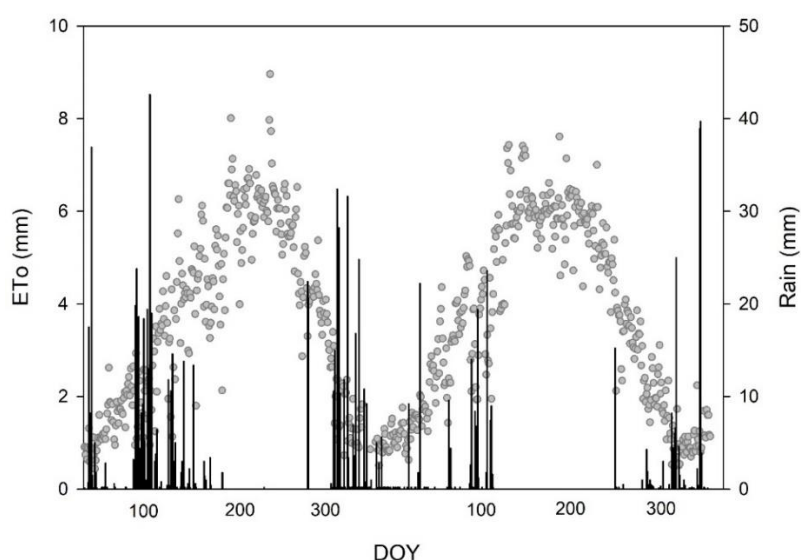


Figura 1: Valores de evapotranspiración de referencia (ET_0 , puntos) y precipitación diaria (barras verticales) a lo largo de las temporadas 2018 y 2019. Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Villanueva de Río y Minas

El estado hídrico del cultivo, analizado a través del potencial mínimo del tallo ($\text{Min}_{\psi_{\text{Tallos}}}$) y las integrales de estrés (SI), tanto en las fases fenológicas II y III (endurecimiento del hueso y maduración y acumulación de aceite, respectivamente), el agua aplicada en cada tratamiento (AW) y la producción de aceitunas se resumen en la Tabla 2. En 2019 se aplicó una lámina mayor de agua de riego para satisfacer las necesidades del tratamiento control que en 2018, siendo los tratamientos 2 y 3 en los que se empleó una menor cantidad de agua en los dos años analizados. Los valores del potencial mínimo del tallo

se correlacionan negativamente con el volumen de agua aplicada, por lo que los valores más bajos de $\text{Min}\psi_{\text{Tallos}}$ se observaron en los olivos T2 y T3.

Tabla 2: Efecto de la campaña y del tratamiento de riego sobre el potencial hídrico del tallo, la integral del estrés hídrico, el agua aplicada y la producción de aceite de oliva.

Factor	Min ψ_{Tallos} (MPa)	SI total (MPa día ⁻¹)	SI Fase II (MPa día ⁻¹)	SI Fase III (MPa día ⁻¹)	AW (L m ⁻²)	Aceite (Kg ha ⁻¹)
ANOVA[†]						
Temporada	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***	N.S.
Riego	**	**	**	**	***	N.S.
Temporada x Riego	**	**	**	**	***	N.S.
Test de Rangos Múltiples de Tukey[‡]						
Temporada						
2018	-3,35	76,0	54,6	16,9	304 ^b	2198
2019	-3,47	103	71,9	30,2	484 ^a	2025
Riego						
T ₀	-1,88 ^a	9,53 ^c	9,25 ^c	0,17 ^b	753 ^a	2192
T ₁	-2,94 ^{ab}	46,3 ^{bc}	43,24 ^{bc}	2,09 ^b	390 ^b	2162
T ₂	-4,96 ^c	179 ^a	127 ^a	48,8 ^a	221 ^c	2035
T ₃	-3,87 ^{bc}	123 ^{ab}	73,2 ^{ab}	43,9 ^a	212 ^c	2056
Temporada x Riego						
2018 × T ₀	-2,21 ^{ab}	18,4 ^b	18,2 ^b	0,00 ^b	533 ^b	2348
2018 × T ₁	-2,74 ^{abc}	40,7 ^b	38,7 ^b	0,48 ^b	334 ^{cd}	2169
2018 × T ₂	-4,71 ^{bc}	140 ^{ab}	104 ^{ab}	30,0 ^{ab}	173 ^e	2240
2018 × T ₃	-3,75 ^{abc}	105 ^{ab}	57,6 ^{ab}	37,1 ^{ab}	175 ^e	2034
2019 × T ₀	-1,54 ^a	0,681 ^b	0,338 ^b	0,34 ^b	972 ^a	2037
2019 × T ₁	-3,15 ^{abc}	51,8 ^b	47,8 ^{ab}	3,70 ^b	446 ^{bc}	2154
2019 × T ₂	-5,21 ^c	219 ^a	151 ^a	66,0 ^a	269 ^{de}	1831
2019 × T ₃	-3,99 ^{abc}	141 ^{ab}	88,9 ^{ab}	50,7 ^{ab}	248 ^{de}	2077

N.S.= no significativo a $p < 0,05$, ** y *** significativos a $p < 0,01$ y $p < 0,001$; [†]Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey.

La integral de estrés hídrico no se vio afectada por la temporada de análisis, pero sí varió entre los diferentes tratamientos, siendo la aplicación de riego deficitario controlado, reduciendo el aporte hídrico únicamente en la fase II, el tratamiento que generó un valor superior.

Respecto a la reducción del agua empleada, la mayor reducción del agua de riego se produjo en los tratamientos T2 y T3, con valores cercanos al 70 % en comparación con el agua empleada en el tratamiento control durante las tres etapas fenológicas del desarrollo de la oliva.

4.2 Efectos en los parámetros oficiales de calidad del aceite de oliva

Todas las muestras analizadas en las dos temporadas de estudio de la primera publicación, al igual que las analizadas para la segunda publicación, fueron clasificadas como aceite de oliva virgen extra según la Clasificación Comercial Oficial establecida por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2024a).

Analizando más detenidamente cada uno de los parámetros, sí se pueden observar diferencias entre los tratamientos. En lo relativo al índice de peróxidos, se produjo un aumento significativo entre la temporada 2018 y 2019 (Tabla 3), aunque en ambos casos se mantuvo por debajo del umbral establecido en 20 meq O₂ kg⁻¹ por el Consejo Oleícola Internacional. En ambas temporadas los valores se redujeron cuando se aplicó riego deficitario, independientemente del tipo o intensidad.

Tabla 3: Parámetros oficiales de calidad establecidos por el Consejo Oleícola Internacional a lo largo de dos campañas productivas.

Factor	Índice de peróxidos (meq O ₂ kg ⁻¹)	Índice de acidez (% ácido oleico)	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Δk	Clasificación Comercial
ANOVA[†]						
Temporada	***	N.S.	N.S.	***	N.S.	
Riego	***	***	**	N.S.	N.S.	
Temporada x Riego	***	***	N.S.	***	N.S.	
Test de Rangos Múltiples de Tukey[‡]						
Temporada						
2018	8,21 ^b	0,240	1,80	0,086 ^b	0,004	AOVE [¥]
2019	12,0 ^a	0,214	1,76	0,127 ^a	0,002	AOVE
Riego						
T ₀	12,6 ^a	0,317 ^a	2,00 ^a	0,101	0,002	AOVE
T ₁	9,73 ^b	0,207 ^b	1,78 ^{ab}	0,101	0,004	AOVE
T ₂	8,74 ^b	0,192 ^b	1,66 ^b	0,111	0,004	AOVE
T ₃	9,34 ^b	0,191 ^b	1,69 ^{ab}	0,113	0,002	AOVE
Temporada x Riego						
2018 × T ₀	11,8 ^{ab}	0,417 ^a	1,96	0,082 ^c	0,004	AOVE
2018 × T ₁	8,15 ^{bc}	0,206 ^b	1,96	0,086 ^{bc}	0,003	AOVE
2018 × T ₂	5,87 ^c	0,187 ^b	1,57	0,088 ^{bc}	0,004	AOVE
2018 × T ₃	7,02 ^{bc}	0,150 ^b	1,72	0,089 ^{bc}	0,004	AOVE
2019 × T ₀	13,4 ^a	0,218 ^b	2,04	0,120 ^{ab}	0,001	AOVE
2019 × T ₁	11,3 ^{ab}	0,208 ^b	1,61	0,116 ^{abc}	0,004	AOVE
2019 × T ₂	11,6 ^{ab}	0,197 ^b	1,75	0,134 ^a	0,004	AOVE
2019 × T ₃	11,7 ^{ab}	0,232 ^b	1,66	0,137 ^a	0,000	AOVE

†N.S.= no significativo a $p < 0,05$, ** y *** significativos a $p < 0,01$ y $p < 0,001$; [‡]Valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey. [¥]AOVE = Aceite de Oliva Virgen Extra.

Respecto a la acidez, volvió a ser superior en el caso de los aceites con tratamiento control, y un comportamiento similar se puede apreciar al analizar los resultados de los parámetros K.

Otro aspecto muy importante en la calidad de los aceites es el análisis sensorial. En la primera publicación (Tabla 4) sólo se analizaron los parámetros que el Consejo Oleícola Internacional marca como obligatorios (frutado, amargo y picante o pungente), además de un cómputo global de defectos (COI, 2005).

Tabla 4: Perfil sensorial según los parámetros de calidad establecidos por el Consejo Oleícola Internacional

Factor	Frutado	Amargo	Pungente/picante	Total defectos	Clasificación Comercial
ANOVA[†]					
Temporada	***	N.S.	***	N.S.	
Riego	***	**	***	N.S.	
Temporada x Riego	***	**	***	N.S.	
Test de Rangos múltiples de Tukey[‡]					
Temporada					
2018	4,1 ^b	1,9	1,1 ^b	0,0	AOVE [¥]
2019	5,8 ^a	2,2	3,1 ^a	0,0	AOVE
Riego					
T ₀	4,0 ^b	1,4 ^b	1,2 ^b	0,0	AOVE
T ₁	4,6 ^b	2,1 ^a	2,0 ^{ab}	0,0	AOVE
T ₂	5,5 ^a	2,3 ^a	2,7 ^a	0,0	AOVE
T ₃	5,7 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a	0,0	AOVE
Temporada x Riego					
2018 × T ₀	3,2 ^d	1,2 ^b	0,4 ^d	0,0	AOVE
2018 × T ₁	4,2 ^{cd}	2,0 ^{ab}	1,4 ^{cd}	0,0	AOVE
2018 × T ₂	4,1 ^{cd}	1,9 ^{ab}	1,3 ^{cd}	0,0	AOVE
2018 × T ₃	5,1 ^{bc}	2,7 ^a	1,4 ^{cd}	0,0	AOVE
2019 × T ₀	4,9 ^c	1,5 ^{ab}	2,0 ^c	0,0	AOVE
2019 × T ₁	5,1 ^{bc}	2,3 ^{ab}	2,5 ^{bc}	0,0	AOVE
2019 × T ₂	7,0 ^a	2,6 ^a	4,2 ^a	0,0	AOVE
2019 × T ₃	6,3 ^{ab}	2,2 ^{ab}	3,5 ^{ab}	0,0	AOVE

[†]N.S.= no significativo a $p < 0,05$, ** y *** significativos a $p < 0,01$ y $p < 0,001$; [‡]Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey. [¥]AOVE = Aceite de Oliva Virgen Extra.

En todos los casos, los aceites fueron clasificados como Aceite de Oliva Virgen Extra. Comparando las dos primeras temporadas de forma global, los aceites del segundo año obtuvieron un valor de frutado y picante superior al obtenido en el primer año.

Analizando los tratamientos, los aceites aumentan los valores en los atributos positivos cuando se reduce la cantidad de riego aportada, a diferencia de lo que apreció Stefanoudaki *et al.* (2009), pero siguiendo la tendencia de Sánchez-Rodríguez *et al.* (2020).

Respecto a los parámetros fisicoquímicos oficiales, en la segunda publicación uno de los aceites obtenidos tras aplicar riego deficitario presentó un mayor índice de peróxidos que el aceite control y el otro aceite HydroSOS (Tabla 5). Respecto a la acidez libre, el tratamiento control mostró un mayor valor frente a los dos tratamientos de riego deficitario aunque, al igual que en el resto de parámetros, se sitúan por debajo de máximo establecido.

Tabla 5: Parámetros oficiales de calidad de los aceites de oliva analizados en la segunda publicación

Parámetros	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) [‡]	Arbosana HydroSOS (T ₂) [‡]	Valores COI ^{††}
Índice de acidez (% ácido oleico)	*	0,485 ^{a‡}	0,212 ^b	0,281 ^b	≤0,8
Índice de peróxidos (meq O ₂ Kg ⁻¹)	*	13,67 ^b	16,46 ^a	13,40 ^b	≤20
K ₂₃₂	*	1,28 ^b	1,45 ^{ab}	2,06 ^a	≤2,5
K ₂₇₀	N.S.	0,066	0,066	0,046	≤0,22
ΔK	N.S.	-0,012	0,003	0,006	≤0,01
Clasificación Comercial		AOVE	AOVE	AOVE	AOVE

[†] N.S. no significativo a $p > 0,05$. * significativo a $p < 0,05$. [‡] Valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila y factor, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de menor significación de Tukey. ^{††} Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario. ^{††} Los valores COI son los establecidos como máximos para un Aceite de oliva Virgen Extra (AOVE) por el Consejo Oleícola Internacional.

Al mismo tiempo, 6 de los 11 atributos positivos analizados en el segundo ensayo presentaron una diferencia significativa (Tabla 6). El aceite de la variedad Arbequina y riego deficitario presentó un frutado menor, y, junto al aceite de la variedad Arbosana en riego deficitario, un amargor reducido, al tiempo que presentaban un valor más alto en el atributo “tomate”.

Tabla 6: Perfil sensorial de los aceites analizados en la segunda publicación

Atributo sensorial	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) [‡]	Arbosana HydroSOS (T ₂)
Frutado	**	3,8 ^{a‡}	3,0 ^b	3,8 ^a
Madurez: verde	**	4,9 ^a	5,0 ^a	3,4 ^b
Madurez: maduro	*	5,1 ^b	5,0 ^b	6,6 ^a
Floral	N.S.	0,1	0,2	0,1
Verde (alcachofa)	N.S.	0,4	0,1	0,2
Verde (herbáceo)	N.S.	0,2	0,2	0,1
Verde (pimiento)	N.S.	0,2	0,9	0,1
Tomate	*	0,5 ^b	1,1 ^a	1,4 ^a
Amargo	**	1,4 ^a	0,5 ^b	0,5 ^b
Astringente	N.S.	0,1	0,1	0,1
Pungente, picante	*	1,0 ^b	1,5 ^a	1,9 ^a
Oxidado	N.S.	0	0	0,1
Rancio	N.S.	0	0	0
Atrojado	N.S.	0	0	0
Moho	N.S.	0	0	0
Borras	N.S.	0	0	0
Clasificación comercial		AOVE	AOVE	AOVE

[†] N.S. no significativo a $p > 0,05$. * y ** significativos a $p < 0,05$ y $0,01$, respectivamente. [‡] Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de menor significación de Tukey. [‡] Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario.

Éste último aceite fue caracterizado como más “maduro”, es decir, los panelistas lo reconocieron como un aceite elaborado con aceitunas más maduras. Respecto a los defectos, los panelistas apreciaron levemente el defecto “oxidado” en la muestra de aceite de la variedad Arbosana, pero al realizar la mediana de todos los valores, el resultado determinaba que no existían defectos, por lo que podría ser calificado como Aceite de Oliva Virgen Extra. Otros estudios (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2020; Sastre *et al.*, 2023) determinaron que el riego deficitario no generaba cambios en el perfil sensorial, por lo que estas diferencias pueden deberse a factores como el momento de cosecha de las aceitunas, la intensidad de los riegos deficitarios aplicados o el momento fenológico de la aplicación de la restricción de agua.

Por tanto, y de forma global, la aplicación no altera la clasificación comercial de los aceites y, por lo tanto, la calidad de los aceites se mantiene, como también determinó Gómez del Campo y García (2013), aplicando diferentes tratamientos de riego en otra zona geográfica de España.

4.3 Actividad antioxidante y contenido fenólico

Respecto a la actividad antioxidante (Tabla 7), se produjo una diferencia significativa en los valores medios de cada temporada, siendo superior los valores obtenidos en la temporada 2019 frente a la temporada 2018, aunque el riego no generó diferencias generales.

Tabla 7: Actividad Antioxidante y contenido fenólico total en los aceites de oliva a lo largo de dos temporadas

Factor	TPC (mg GAE L ⁻¹)	ABTS (mmol Trolox eq L ⁻¹)	DPPH (mmol Trolox eq L ⁻¹)
ANOVA[†]			
Temporada	**	**	*
Riego	**	N.S.	N.S.
Temporada × Riego	**	**	*
Test de Rangos múltiples de Tukey[‡]			
Temporada			
2018	86,1 ^a	0,262 ^b	0,179 ^b
2019	74,9 ^b	0,439 ^a	0,289 ^a
Riego			
T ₀	53,7 ^b	0,325	0,233
T ₁	77,0 ^{ab}	0,404	0,223
T ₂	92,9 ^a	0,337	0,201
T ₃	98,5 ^a	0,337	0,279
Temporada x Riego			
2018 × T ₀	59,0 ^{ab}	0,198 ^b	0,089 ^b
2018 × T ₁	90,4 ^{ab}	0,341 ^{ab}	0,193 ^{ab}
2018 × T ₂	91,9 ^{ab}	0,220 ^b	0,196 ^{ab}
2018 × T ₃	103 ^a	0,289 ^{ab}	0,239 ^{ab}
2019 × T ₀	48,5 ^b	0,452 ^a	0,377 ^a
2019 × T ₁	63,6 ^{ab}	0,467 ^a	0,254 ^{ab}
2019 × T ₂	93,9 ^{ab}	0,454 ^a	0,206 ^{ab}
2019 × T ₃	93,7 ^{ab}	0,384 ^{ab}	0,319 ^{ab}

[†]N.S.= no significativo a $p < 0,05$, * y ** significativos a $p < 0,05$ y $p < 0,01$; [‡]Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey. TPC: Contenido total de fenoles. GAE: equivalentes de ácido gálico.

En cambio, además de presentar diferencias significativas entre las temporadas, el contenido total de polifenoles también se vio afectado por la aplicación de riego deficitario. En ambas temporadas el tratamiento control generó un menor contenido de compuestos fenólicos (59,0 mg GAE L⁻¹ en 2018 y 48,5 mg GAE L⁻¹ en 2019) frente a los tratamientos con una reducción de agua más intensa, cuyos valores se acercaron a los 100 mg GAE L⁻¹. Este aumento de contenidos fenólicos se debe principalmente a que son generados por la planta al ser sometida a estrés, en este caso hídrico (Sena-Moreno *et al.*, 2018). Por otro lado, autores como Dag *et al.* (2015) determinaron que un tratamiento que plantee una reducción del agua de riego de forma excesiva puede generar el efecto contrario al deseado, disminuyendo así la cantidad de compuestos fenólicos libres.

En la segunda publicación (Tabla 8) y en línea con los resultados obtenidos en el trabajo anterior, la aplicación de riego deficitario aumentó significativamente la actividad antioxidante según el método ABTS⁺ y el contenido de compuestos fenólicos de la variedad Arbequina, mientras que la variedad Arbosana obtuvo valores similares a la variedad Arbequina que no había sufrido riego deficitario. Estos valores coinciden con los obtenidos por otros autores al emplear riegos deficitarios con las mismas variedades (Shavakhi *et al.*, 2021).

Por tanto, el contenido fenólico y la actividad antioxidante de los aceites puede verse influenciada por las condiciones climáticas de la temporada y por el manejo agronómico y prácticas agrícolas como el riego deficitario (Allalout *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2022).

Tabla 8: Actividad Antioxidante y Contenido fenólico total

	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) [‡]	Arbosana HydroSOS (T ₂)
ABTS ⁺ (mmol Trolox L ⁻¹)	**	0,273 ^{b‡}	0,402 ^a	0,275 ^b
DPPH [•] (mmol Trolox L ⁻¹)	**	0,407 ^{ab}	0,515 ^a	0,347 ^b
TPC (mg GAE L ⁻¹)	**	90,3 ^b	111 ^a	76,1 ^b

[†]** significativo a $p < 0,01$. [‡]Valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de Tukey. TPC: Contenido total de fenoles. GAE: equivalentes de ácido gálico. [‡]Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario.

4.4 Perfil volátil

Un total de 18 compuestos volátiles fueron detectados y cuantificados en el primer ensayo (Tabla 9). En línea con lo sugerido por otros autores (da Silva *et al.*, 2012; Servili y Montedoro, 2002), los perfiles volátiles presentaron una ligera variabilidad entre los diferentes tratamientos, ya que solo ocho presentaron leves diferencias significativas. El compuesto mayoritario fue el *trans*-2-hexanal, siendo superiores tanto en el tratamiento control como en el tratamiento deficitario sostenido. Este compuesto está relacionado con los aromas verdes y florales (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2019).

Tabla 9: Perfil de compuestos volátiles (mg 100 mL⁻¹ de aceite) obtenido en dos temporadas y riego deficitario

Compuesto	TR (min) [‡]	IR _{Exp} [‡]	IR _{Lit} [‡]	ANOVA [†]	Tratamiento de riego			
					T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Etanol	2.263	419	427	***	12,85 ^{a‡}	7,10 ^b	7,16 ^b	7,87 ^b
Ácido Acético	3.383	680	660	N.S.	3,14	3,65	3,83	1,96
3-Pentanona	4.381	737	703	N.S.	1,35	1,35	0,77	1,05
Ácido propanoico	4.677	750	745	N.S.	0,11	0,33	0,83	1,05
Hexanal	6.688	831	826	N.S.	4,45	3,43	3,65	3,33
<i>trans</i> -2-Hexenal	8.903	904	854	***	91,67 ^a	70,69 ^b	56,08 ^c	96,28 ^a
<i>trans</i> -2-Hexen-1-ol	9.157	910	887	N.S.	47,22	47,46	38,06	43,98
4,8-Dimetil-1,7-nonadieno	12.998	1000	-	N.S.	1,67	1,72	1,70	2,54
Benzaldehído	13.893	1017	961	**	2,05 ^b	8,14 ^a	1,47 ^b	1,30 ^b
3-Hexen-1-ol acetato	14.579	1031	1009	N.S.	9,47	3,47	11,77	15,53
Hexil acetato	14.806	1035	997	**	3,54 ^a	0,35 ^c	2,33 ^b	4,77 ^a
Ácido hexanoico	15.571	1050	1010	N.S.	1,03	0,43	0,63	0,38
<i>trans</i> -β-Ocimeno	16.005	1058	1050	***	0,56 ^b	2,19 ^a	0,61 ^b	0,64 ^b
Bencil alcohol	18.621	1109	1046	*	2,66 ^a	0,15 ^b	2,15 ^a	0,99 ^b
1-Octanol	18.967	1115	1068	N.S.	0,47	0,28	0,26	0,06
Acetofenona	19.628	1127	1065	**	0,27 ^b	4,85 ^a	0,43 ^b	0,25 ^b
Ácido benzoico	27.670	1269	1210	**	3,89 ^a	1,04 ^b	3,67 ^a	2,50 ^b
Ácido nonanoico	31.899	1354	1303	N.S.	1,24	1,98	1,98	1,05
Total				***	188 ^a	159 ^b	137 ^b	186 ^a

[†] N.S.= no significativo a $p < 0,05$, *, ** y *** significativos a $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$; [‡] Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey. *TR = tiempo de retención; IR_{Exp} = índice de retención experimental, IR_{Lit} = índice de retención de la literatura.

Otro compuesto relacionado con dichos aromas es el *trans*-2-hexen-1-ol, aunque este compuesto no mostró una variación en su concentración al aplicar tratamientos de déficit hídrico. Estos compuestos han sido detallados por otros autores como los más presentes en diferentes aceites de oliva, y especialmente en aquellos que son virgen extra (Garrido-Delgado *et al.*, 2015). Otro compuesto importante en el aroma de los aceites es el hexil acetato, cuya menor concentración se encontró en el tratamiento de riego deficitario controlado aplicado en la segunda fase fenológica del olivo (T1). Este compuesto está asociado a aromas frutales, como la pera, plátano o manzana (Oliver-Pozo *et al.*, 2015).

En cuanto a los compuestos volátiles encontrados en el segundo estudio de la Tesis Doctoral (Tabla 10), once compuestos fueron identificados y cuantificados, siendo cuatro de ellos afectados por el tratamiento de riego aplicado. El aceite empleado como tratamiento control, de la variedad Arbequina, obtuvo una concentración menor de compuestos volátiles (1305 mg 100 ml⁻¹ de aceite) mientras que los dos aceites resultantes del tratamiento de riego deficitario presentaron concentraciones similares.

Tabla 10: Composición volátil de los aceites analizados en la segunda publicación

Compuesto	Descriptor sensorial	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) [‡]	Arbosana HydroSOS (T ₂)
Hexanal	Manzana verde	**	51,59 c [‡]	102 ^b	116 ^a
<i>trans</i> -2-Hexenal	Almendra amarga, fruta verde	*	332 ^b	339 ^b	369 ^a
<i>trans</i> -2-Hexen-1-ol	Césped, amargo astringente,	**	164 ^b	199 ^a	202 ^a
1-Hexanol	Frutal	**	576 ^b	688 ^a	695 ^a
2,4-Hexadienal	Fresco, verde, floral	N.S.	1,78	1,89	1,68
Ácido Hexanoico	Dulce, rancio, ácido	N.S.	1,03	0,59	0,72
<i>cis</i> -3-Hexen-1-ol acetato	Verde, frutal	N.S.	125	119	122
Hexil acetato	Verde, manzana, frutal	N.S.	35,4	35,05	33,3
Limoneno	Cítrico	N.S.	9,06	8,88	11,86
Nonanal	Nuez, cítrico	N.S.	8,01	8,93	8,37
Etil dodecanoato	Cera, floral, frutal	N.S.	0,29	0,23	0,19
TOTAL		*	1305 ^b	1501 ^a	1559 ^a

[†]N.S. no significativo a $p > 0,05$. *y ** significativos a $p < 0,05$ y $0,01$, respectivamente. [‡] Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila y factor, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de mínima significación de Tukey. [‡] Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario. Expresado en mg 100 ml⁻¹ de aceite.

El estudio llevado a cabo por Bubola *et al.* (2022) determinó que los diferentes sistemas de riego pueden afectar a la composición volátil de los aceites, en este caso elaborados en Croacia. En este caso, el compuesto mayoritario en los tres aceites fue el 1-hexanol. Los siguientes compuestos más abundantes fueron el *trans*-2-hexenal, *trans*-2-hexen-1-ol y *cis*-2-hexen-1-ol acetato, asociados al componente *frutado* de los aceites de oliva virgen extra (Luna *et al.*, 2006).

4.5 Perfil lipídico

En el primer artículo publicado de la tesis, se detectaron y cuantificaron un total de quince ácidos grasos en los aceites de oliva analizados (Tabla 11). El ácido graso mayoritario fue el ácido oleico, con un porcentaje medio total de todos los tratamientos de cada temporada de 49,6 % y 44,1 % para los años 2018 y 2019, respectivamente.

Dicho porcentaje fue sensiblemente inferior al esperado y reportado por otros autores (Ahumada-Orellana *et al.*, 2018; Gómez del Campo y García, 2013), aunque otros autores encontraron valores similares para la variedad Arbequina (Hernández *et al.*, 2018). La concentración de este ácido graso se ve influenciada por la reducción de agua de riego, siendo el tratamiento de riego deficitario sostenido el que generó un mayor contenido. El segundo ácido graso más abundante en las muestras fue el ácido palmítico, con valores entre el 14 % y el 19 % el total de ácidos grasos detectados, mientras que el tercer ácido graso más abundante fue el ácido linoleico, con valores medios entre el 11 % y el 17,5 %.

Tabla11: Perfil lipídico del aceite de oliva Arbequina bajo riego deficitario durante 2 temporadas

Factor	C14:0	C16:0	C16:1	C16:1	c17:0	c17:1 cis	c18:0	c18:1cis9	c18:1cis11	c18:2cis6	c20:0	c20:1n9	c18:3n3	c22:0	c20:4n6	Total
ANOVA [†]																
Temporada	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Riego	N.S.	N.S.	N.S.	***	***	***	N.S.	***	N.S.	***	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***
Temporada × Riego	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Test de Rangos múltiples de Tukey [‡]																
Temporada																
2018	0,031 ^b	14,6 ^b	0,152 ^b	1,76 ^b	0,083 ^b	0,179 ^b	1,82 ^b	49,6 ^a	10,01 ^a	11,6 ^b	0,355 ^b	0,264 ^b	0,598 ^b	0,111 ^b	0,234 ^a	91,4 ^b
2019	0,045 ^a	18,4 ^a	0,430 ^a	3,8 ^a	0,386 ^a	0,703 ^a	4,17 ^a	44,1 ^b	5,74 ^b	17,4 ^a	1,11 ^a	0,764 ^a	1,77 ^a	0,387 ^a	0,005 ^b	99,3 ^a
Riego																
T ₀	0,043	16,7	0,281	2,96 ^a	0,191 ^b	0,374 ^c	2,90	45,6 ^b	8,04	15,5 ^a	0,722	0,521	1,262	0,253	0,114	95,5 ^{ab}
T ₁	0,037	16,3	0,284	2,72 ^b	0,222 ^{ab}	0,412 ^{bc}	2,93	46,0 ^b	7,88	14,3 ^{bc}	0,721	0,516	1,158	0,240	0,113	93,8 ^b
T ₂	0,035	16,3	0,299	2,84 ^{ab}	0,265 ^a	0,502 ^a	3,07	46,9 ^b	7,56	13,7 ^c	0,747	0,484	1,132	0,261	0,118	94,1 ^b
T ₃	0,037	16,8	0,300	2,68 ^b	0,260 ^a	0,475 ^{ab}	3,10	48,9 ^a	8,16	14,5 ^b	0,749	0,534	1,185	0,242	0,133	98,0 ^a
Temporada × Riego																
2018 × T ₀	0,038 ^{abc}	14,6 ^{bc}	0,154 ^b	1,58 ^c	0,069 ^c	0,155 ^d	1,93 ^c	49,2 ^b	10,0 ^a	12,1 ^c	0,362 ^b	0,273 ^b	0,640 ^b	0,111 ^b	0,222 ^a	91,6 ^b
2018 × T ₁	0,029 ^{bc}	14,1 ^c	0,145 ^b	1,65 ^c	0,083 ^c	0,168 ^d	1,70 ^c	47,7 ^{bc}	10,2 ^a	11,3 ^{cd}	0,328 ^b	0,248 ^b	0,564 ^b	0,099 ^b	0,221 ^a	88,5 ^b
2018 × T ₂	0,028 ^{bc}	14,3 ^c	0,153 ^b	1,92 ^c	0,095 ^c	0,193 ^d	1,81 ^c	48,8 ^b	9,46 ^a	10,8 ^d	0,362 ^b	0,265 ^b	0,570 ^b	0,129 ^b	0,232 ^a	89,1 ^b
2018 × T ₃	0,027 ^c	15,3 ^b	0,154 ^b	1,88 ^c	0,087 ^c	0,198 ^d	1,86 ^c	52,5 ^a	10,6 ^a	12,3 ^c	0,369 ^b	0,269 ^b	0,617 ^b	0,105 ^b	0,260 ^a	96,6 ^a
2019 × T ₀	0,048 ^a	18,8 ^a	0,407 ^a	4,34 ^a	0,314 ^b	0,592 ^c	3,86 ^b	42,0 ^e	6,05 ^b	18,9 ^a	1,08 ^a	0,768 ^a	1,88 ^a	0,395 ^a	0,005 ^b	99,4 ^a
2019 × T ₁	0,044 ^{ab}	18,5 ^a	0,424 ^a	3,79 ^b	0,362 ^{ab}	0,656 ^{bc}	4,16 ^{ab}	44,3 ^{de}	5,56 ^b	17,4 ^b	1,12 ^a	0,785 ^a	1,75 ^a	0,382 ^a	0,005 ^b	99,2 ^a
2019 × T ₂	0,041 ^{abc}	18,2 ^a	0,445 ^a	3,76 ^b	0,436 ^a	0,811 ^a	4,33 ^a	44,9 ^{cde}	5,66 ^b	16,6 ^b	1,13 ^a	0,703 ^a	1,70 ^a	0,393 ^a	0,005 ^b	99,1 ^a
2019 × T ₃	0,046 ^a	18,2 ^a	0,445 ^a	3,49 ^b	0,434 ^a	0,752 ^{ab}	4,34 ^a	45,3 ^{cd}	5,70 ^b	16,7 ^b	1,13 ^a	0,798 ^a	1,75 ^a	0,378 ^a	0,006 ^b	99,5 ^a

[†]N.S.= no significativo a $p < 0,05$ y *** significativo a $p < 0,001$; [‡]Valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey. *AGMI = Ácido graso monoinsaturado; AGPI = Ácido graso poliinsaturado; AGS = Ácido graso saturado; TI = Índice trombogénico; AI = Índice aterogénico

Tabla 11 (continuación): Perfil lipídico del aceite de oliva Arbequina bajo riego deficitario durante 2 temporadas

Factor	AGMI [¥]	AGPI [¥]	AGS [¥]	TI [¥]	AI [¥]
ANOVA [†]					
Temporada	***	***	***	***	***
Riego	***	***	***	N.S.	***
Temporada × Riego	***	***	***	***	***
Test de Rangos múltiples de Tukey [‡]					
Temporada					
2018	62,0 ^a	12,5 ^b	17,0 ^b	0,424 ^b	0,198 ^b
2019	55,6 ^b	19,2 ^a	24,5 ^a	0,541 ^a	0,249 ^a
Riego					
T ₀	57,8 ^b	16,9 ^a	20,8 ^{ab}	0,482	0,226 ^a
T ₁	57,8 ^b	15,6 ^{bc}	20,4 ^b	0,482	0,224 ^{ab}
T ₂	58,6 ^b	14,9 ^c	20,6 ^{ab}	0,486	0,223 ^{ab}
T ₃	61,1 ^a	15,8 ^b	21,2 ^a	0,479	0,221 ^b
Temporada × Riego					
2018 × T ₀	61,5 ^b	13,0 ^{cd}	17,1 ^{bc}	0,426 ^b	0,198 ^b
2018 × T ₁	60,1 ^{bc}	12,1 ^{cd}	16,3 ^c	0,422 ^b	0,197 ^b
2018 × T ₂	60,8 ^b	11,6 ^d	16,7 ^{bc}	0,428 ^b	0,199 ^b
2018 × T ₃	65,6 ^a	13,2 ^c	17,8 ^b	0,420 ^b	0,196 ^b
2019 × T ₀	54,1 ^d	20,8 ^a	24,5 ^a	0,538 ^a	0,254 ^a
2019 × T ₁	55,5 ^d	19,2 ^b	24,5 ^a	0,543 ^a	0,250 ^a
2019 × T ₂	56,3 ^d	18,3 ^b	24,5 ^a	0,543 ^a	0,246 ^a
2019 × T ₃	56,5 ^{cd}	18,4 ^b	24,6 ^a	0,539 ^a	0,246 ^a

[†]N.S.= no significativo a $p < 0,05$, *** significativo a $p < 0,001$; [‡]Valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey. [¥]AGMI = Ácido graso monoinsaturado; AGPI = Ácido graso poliinsaturado; AGS = Ácido graso saturado; TI = Índice trombogénico; AI = Índice aterogénico.

Respecto a las familias de ácidos grasos, la familia de ácidos grasos monoinsaturados fue la mayoritaria, siendo el ácido oleico el mayor exponente, seguido de los ácidos grasos saturados y de los ácidos grasos poliinsaturados. En este aspecto, tanto el riego deficitario como el factor estacional tuvieron una influencia en la mayor o menor presencia de cada familia química. Respecto a los dos marcadores de salud analizados, el riego deficitario solo mostró efecto en el índice de aterogenicidad, presentando valores más bajos cuando se mantuvo el olivar bajo riego deficitario sostenido, mientras que el índice de trombogenicidad se mantuvo estable independientemente del tratamiento aplicado. Estos parámetros contribuyen a una mejor circulación de la sangre (Ulbricht y Southgate, 1991).

En el segundo estudio realizado, se detectaron 13 ácidos grasos (Tabla 13). Al igual que en el estudio anterior, el ácido graso mayoritario fue el ácido oleico, con un porcentaje

de presencia entre el 60 % y el 70 %, siendo superior en el aceite de la variedad Arbequina con tratamiento control, seguido por la variedad Arbosana HydroSOS (66,92 %) y de la variedad Arbequina con tratamiento HydroSOS. Esta última variedad presentó valores de ácido palmítico y ácido linoleico (16,43 % y 12,60 %, respectivamente) superiores. Respecto a las familias químicas, los ácidos grasos monoinsaturados fueron los predominantes en las tres muestras bajo estudio. El aceite de Arbequina HydroSOS presentó un contenido más bajo, mostrando a su vez un mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados. Ambas familias están extensamente relacionadas con efectos beneficiosos sobre la salud, como la protección de las mitocondrias neuronales (Rumora *et al.*, 2019).

Tabla 12: Perfil de ácidos grasos de los aceites analizados en la segunda publicación

Ácido graso	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) ⁺	Arbosana HydroSOS (T ₂)
C14:0	N.S.	0,01	0,02	0,01
C16:0	***	13,28 ^{c‡}	17,43 ^a	16,74 ^b
C16:1 c9	**	0,13 ^b	0,14 ^a	0,067 ^c
C16:1 c9	***	1,22 ^b	1,53 ^a	1,53 ^a
C17:0	*	0,08 ^c	0,15 ^a	0,18 ^a
C17:1	***	0,16 ^c	0,28 ^b	0,35 ^a
C18:0	***	2,53 ^a	1,86 ^c	2,15 ^b
C18:1 c9	***	70,31 ^a	61,68 ^c	66,92 ^b
C18:1 t11	**	2,10 ^b	3,17 ^a	2,85 ^a
C18:2 n6c	***	9,39 ^b	12,70 ^a	8,29 ^c
C18:3 n3	***	0,39 ^c	0,61 ^a	0,44 ^b
C20:1 n9	N.S.	0,30	0,33	0,31
C22:0	N.S.	0,11	0,12	0,16
AGS	***	16,01 ^b	19,57 ^a	19,24 ^a
AGMI	**	74,21 ^a	67,12 ^b	72,03 ^a
AGPI	***	9,78 ^b	13,31 ^a	8,73 ^b

[†] N.S. no significativo a $p > 0,05$. *, ** y *** significativos a $p < 0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente. [‡] Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de menor significación de Tukey. AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados. +Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario

4.6 Efectos en la aceptación del consumidor

El resultado del estudio de consumidores realizado en el segundo ensayo publicado se muestra en la Tabla 14. Se emplearon ocho descriptores positivos, como “olor a aceite de oliva”, “frutado” y “postgusto”, entre otros. En el diseño del formulario no se incluyeron los defectos debido a que un panel entrenado no fue capaz de detectarlos, pudiendo influir en la decisión de los consumidores. Todos ellos mostraron diferencias significativas. Los consumidores mostraron una mayor aceptabilidad del aceite proveniente de riego deficitario controlado frente al control, mientras que la variedad Arbosana presentó una aceptabilidad intermedia. Un 46 % de los encuestados prefirió la muestra de Arbequina HydroSOS, un 30 % la muestra de aceite de la variedad Arbosana, mientras que el aceite empleado como control fue el elegido por un 24 % de los participantes.

A pesar de no ser un parámetro oficial de calidad, el color es un aspecto fundamental para la toma de decisiones de los consumidores, y en este sentido, los dos aceites de oliva HydroSOS obtuvieron una mayor valoración. En el presente estudio, el color fue el segundo atributo más importante para los consumidores, siendo seleccionado por el 55 % de los participantes, solo por detrás del atributo relacionado con el sabor característico del aceite de oliva, elegido por un 85 % de los encuestados.

Tabla 13: Valores de aceptabilidad de los atributos sensoriales de los aceites por parte de los consumidores

Atributo sensorial	ANOVA [†]	Arbequina Convencional (T ₀)	Arbequina HydroSOS (T ₂) [‡]	Arbosana HydroSOS (T ₂)
Olor a aceite	***	5,4 ^{b‡}	6,8 ^a	6,0 ^b
Sabor a aceite	***	5,5 ^b	6,4 ^a	5,8 ^{ab}
Afrutado	*	5,0 ^b	5,9 ^a	5,6 ^{ab}
Amargor	*	4,6 ^b	5,5 ^a	5,0 ^{ab}
Pungente/picante	*	4,6 ^b	5,5 ^a	5,3 ^{ab}
Postgusto	*	5,3 ^b	6,3 ^a	5,8 ^{ab}
Color del aceite	*	5,1 ^b	7,1 ^a	6,6 ^a
Aceptación general	**	5,3 ^b	6,3 ^a	5,8 ^{ab}

[†] *, ** y *** significativos a $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente. [‡] Los valores seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila y factor, no fueron significativamente diferentes, según la prueba de mínima significación de Tukey. * Los aceites HydroSOS son obtenidos tras aplicar riego deficitario.

El estudio de penalizaciones (PA, por sus siglas en inglés) llevado a cabo con los datos obtenidos permite identificar las posibles opciones de mejora, indicando aquellos atributos que tienen mayor peso a la hora de reducir la aceptabilidad de los consumidores (Figura 2). El aceite menos penalizado fue el obtenido después de aplicar riego deficitario en la variedad Arbequina, valorado negativamente solo por presentar un sabor ligeramente más amargo del esperado. Por otro lado, la muestra elaborada a partir del olivar control obtuvo valoraciones bajas de los atributos “sabor”, “olor”, “color”, “amargor”, “afrutado” y “postgusto”. Por último, el aceite Arbosana obtenido de riego deficitario fue penalizado por la baja intensidad de los atributos “sabor”, “olor”, “afrutado” y “postgusto”, y un “amargor” más alto de lo esperado

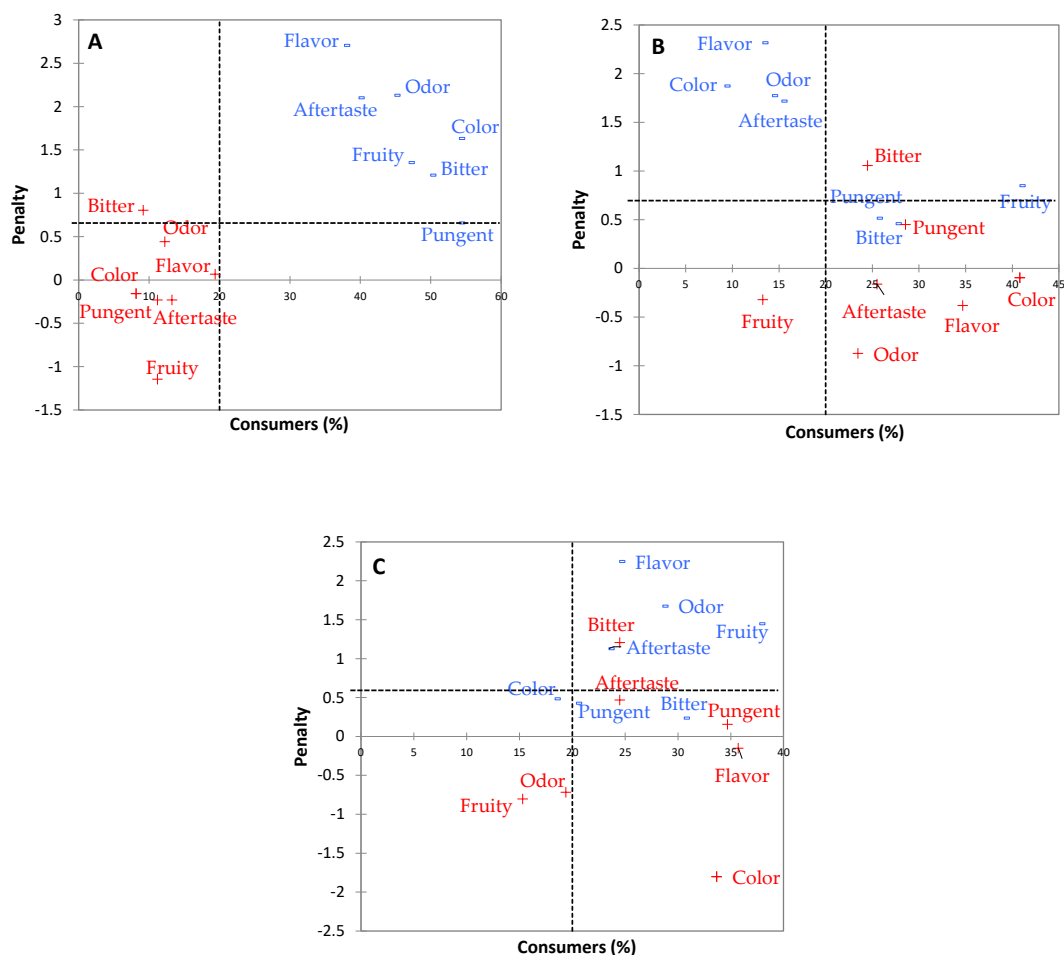


Figura 2: Análisis de penalizaciones (eje x: efecto sobre la media; eje y: porcentaje de consumidores). el color azul (-) indican intensidad reducida y el color rojo (+) indica intensidad excesiva. A: Arbequina convencional, B: Arbequina HydroSOS, C: Arbosana HydroSOS.



La aplicación del riego deficitario en olivar superintensivo favorece la conservación de los recursos hídricos, no afecta significativamente a la producción y mejora la calidad fisicoquímica del aceite de oliva.

La aplicación de técnicas de riego deficitario controlado en olivar incrementa el contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante, mejora el perfil lipídico relacionado con indicadores de salud, incrementa compuestos aromáticos relacionados con descriptores de aceituna verde y mejora los atributos sensoriales del aceite de oliva.

Los consumidores demuestran una mayor aceptación de los aceites obtenidos a partir de olivares hidroSOSostenibles, siendo el sabor y el color los descriptores principales en los que basan su preferencia.

A photograph of an olive branch with several green olives, set against a blurred background of an olive grove. The text "6. Referencias" is overlaid on the image in a green, stylized font.

6. Referencias

- Ahumada-Orellana, L. E., Ortega-Farías, S., y Searles, P. S. (2018). Olive oil quality response to irrigation cut-off strategies in a super-high density orchard. *Agricultural Water Management*, 202, 81-88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.008>
- Allalout, A., Krichène, D., Methenni, K., Taamalli, A., Oueslati, I., Daoud, D., y Zarrouk, M. (2009). Characterization of virgin olive oil from Super Intensive Spanish and Greek varieties grown in northern Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 77-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.006>
- Arbizu-Milagro, J., Castillo-Ruiz, F. J., Tascón, A., y Peña, J. M. (2022). How Could Precision Irrigation Based on Daily Trunk Growth Improve Super High-Density Olive Orchard Irrigation Efficiency? [Article]. *Agronomy*, 12(4), Article 756. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040756>
- Bacelar, E. A., Moutinho-Pereira, J. M., Gonçalves, B. C., Ferreira, H. F., y Correia, C. M. (2007). Changes in growth, gas exchange, xylem hydraulic properties and water use efficiency of three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 183-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.10.003>
- Barazani, O., Dag, A., y Dunseth, Z. (2023). The history of olive cultivation in the southern Levant [Review]. *Frontiers in Plant Science*, Volume 14 - 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1131557>
- Barranco Navero, D., Fernández Escobar, R., y Rallo Romero, L. (2017). *El cultivo del olivo* 7ª ed. Ediciones Mundi-Prensa.
- Beauchamp, G. K., Keast, R. S. J., Morel, D., Lin, J., Pika, J., Han, Q., Lee, C.-H., Smith, A. B., y Breslin, P. A. S. (2005). Ibuprofen-like activity in extra-virgin olive oil. *Nature*, 437(7055), 45-46. <https://doi.org/10.1038/437045a>
- Benavente-García, O., Castillo, J., Lorente, J., Ortuño, A., y Del Río, J. A. (2000). Antioxidant activity of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves. *Food Chemistry*, 68(4), 457-462. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00221-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00221-6)
- Besnard, G., Terral, J. F., y Cornille, A. (2018). On the origins and domestication of the olive: a review and perspectives. *Ann Bot*, 121(3), 385-403. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx145>

- Borzì, A. M., Biondi, A., Basile, F., Luca, S., Vicari, E. S. D., y Vacante, M. (2019). Olive Oil Effects on Colorectal Cancer. *Nutrients*, 11(1), 32. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/1/32>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Bubola, K. B., Kolega, Š., Marčelić, Š., Šikić, Z., Pinto, A. G., Zorica, M., Klisović, D., Novoselić, A., Špika, M. J., y Kos, T. (2022). Effect of Different Watering Regimes on Olive Oil Quality and Composition of Coratina Cultivar Olives Grown on Karst Soil in Croatia. *Foods*, 11(12), Article 1767. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11121767>
- Cano-Lamadrid, M., Girón, I. F., Pleite, R., Burló, F., Corell, M., Moriana, A., y Carbonell-Barrachina, A. A. (2015). Quality attributes of table olives as affected by regulated deficit irrigation. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 1), 19-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.063>
- Carmela, S., Rosaria, V., Beatrice, S., Patrizia De, S., Claudio, G., Massimo, D. A., y Roberta, M. (2018). Anti-inflammatory Activity of Extra Virgin Olive Oil Polyphenols: Which Role in the Prevention and Treatment of Immune-Mediated Inflammatory Diseases? *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 18(1), 36-50. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2174/1871530317666171114114321>
- COI. (2005). COI/T.20/Doc. No 22 – Evaluación organoléptica del aceite de oliva virgen extra que opta a una denominación de origen. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-N%C2%BA-22-2005-Esp.pdf>
- COI. (2007). COI/T.20/Doc. No 6 – Guía para la instalación de una sala de cata. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-N%C2%BA-6-Rev-1-2007-Esp.pdf>
- COI. (2017a). COI/T.20/Doc. No 34 – Determinación de los ácidos grasos libres, método de análisis en frío. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-No-34-Rev-1-2017.pdf>

- COI. (2017b). *COI/T.20/Doc. No 35 – Determinación del valor del peróxido*.
<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/Method-COI-T.20-Doc.-No-35-Rev-1-2017.pdf>
- COI. (2019). *COI/T.20/Doc. Nº 19 – Prueba de espectrometría-UV*.
<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/Method-COI-T.20-Doc.-No-19-Rev-5-2019-2.pdf>
- COI. (2020). *COI/T.20/Doc. No 5 – Copa para la degustación de aceites*.
<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2024/10/COI-T20-Doc-5-rev2-ESP-rev.pdf>
- COI. (2024a). *COI/T.15/NC nº 3 Consejo Oleícola Internacional: Norma comercial aplicable a los aceites de oliva y los aceites de orujo de oliva*
- COI. (2024b). *COI/T.20/Doc. No 15 – Análisis sensorial del aceite de oliva: método de evaluación organoléptica del aceite de oliva*.
<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2024/10/COI-T20-Doc.-15-REV-11-2024-ES.pdf>
- COI. (2025). *Estadísticas del sector - Enero 2025*. Retrieved 2025 from
<https://www.internationaloliveoil.org/estadisticas-del-sector-enero-2025/?lang=es>
- Corell, M., Martín-Palomo, M. J., Sánchez-Bravo, P., Carrillo, T., Collado, J., Hernández-García, F., Girón, I., Andreu, L., Galindo, A., López-Moreno, Y. E., Centeno, A., Pérez-López, D., Carbonell-Barrachina, A. A., y Moriana, A. (2019). Evaluation of growers' efforts to improve the sustainability of olive orchards: Development of the hydroSOSustainable index. 257.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108661>
- Corell, M., Pérez-López, D., Andreu, L., Recena, R., Centeno, A., Galindo, A., Moriana, A., y Martín-Palomo, M. J. (2022). Yield response of a mature hedgerow oil olive orchard to different levels of water stress during pit hardening. *Agricultural Water Management*, 261, 107374.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107374>
- Cuevas, J., y Polito, V. S. (2004). The Role of Staminate Flowers in the Breeding System of *Olea europaea* (Oleaceae): an Andromonoecious, Wind-pollinated Taxon. *Ann Bot*, 93(5), 547-553. <https://doi.org/10.1093/aob/mch079>

- da Silva, M. D. G., Freitas, A. M. C., Cabrita, M. J., y Garcia, R. (2012). Olive oil composition: Volatile compounds. *Olive Oil: Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions*, 17.
- da Silveira, R., Vágula, J. M., de Lima Figueiredo, I., Claus, T., Galuch, M. B., Santos Junior, O. O., y Visentainer, J. V. (2017). Rapid methodology via mass spectrometry to quantify addition of soybean oil in extra virgin olive oil: A comparison with traditional methods adopted by food industry to identify fraud. *Food Research International*, 102, 43-50.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.076>
- Dag, A., Naor, A., Ben-Gal, A., Harlev, G., Zipori, I., Schneider, D., Birger, R., Peres, M., Gal, Y., y Kerem, Z. (2015). The effect of water stress on super-high- density 'Koroneiki' olive oil quality. 95(10), 2016-2020.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.6913>
- Delgado-Lista, J., Alcalá-Díaz, J. F., Torres-Peña, J. D., Quintana-Navarro, G. M., Fuentes, F., García-Ríos, A., Ortiz-Morales, A. M., González-Requero, A. I., Pérez-Caballero, A. I., Yubero-Serrano, E. M., Rangel-Zuñiga, O. A., Camargo, A., Rodríguez-Cantalejo, F., López-Segura, F., Badimon, L., Ordovas, J. M., Pérez-Jiménez, F., Pérez-Martínez, P., López-Miranda, J., Alcalá-Díaz, J. F., Almadén Peña, Y., Aranda, E., Arenas de Larriva, A. P., Badimon, L., Badimon, J. J., Blanco-Molina, A., Blanco-Rojo, R., Bolívar-Muñoz, J., Caballero-Villarraso, J., Camargo, A., Chica, J., Corina, A., Criado-García, J., Cruz-Teno, C., Daponte-Codina, A., de Teresa Galván, E., Delgado-Casado, N., Delgado-Lista, J., Estruch, R., Fernández, J. M., Fernández-Gandara, C., Fuentes-Jiménez, F., García-Carpintero, Fernández-Pacheco, S., García-Ríos, A., Gómez-Delgado, F., Gómez-Garduño, A., Gómez-Luna, P., Gómez-Luna, M. J., González-Guardia, L., González-Requero, A. I., Gutiérrez-Mariscal, F. M., Haro-Mariscal, C. M., Jiménez-Lucena, R., Jiménez-Morales, A. I., León-Acuña, A., López-Miranda, J., López-Segura, F., Marín-Hinojosa, C., Meneses Álvarez, M. E., Mesa-Luna, D., Moya-Garrido, M. N., Muñoz-Carvajal, I., Navarro-Martos, V., Ochoa, J. J., Ordovas, J. M., Ortiz-Minuesa, J. A., Ortiz-Morales, A. M., Pan, M., Peña-Orihuela, P., Pérez-Caballero, A. I., Pérez-Corral, I., Pérez-Jiménez, F., Pérez-Martínez, P., Pi-Sunyer, F. X., Quintana-Navarro, G. M., Ramírez-Lara, I., Rangel-Zuñiga, O. A., Rodríguez-Artalejo, F., Rodríguez-Cantalejo, F., Romero, M.

- A., Roncero-Ramos, I., Ruano-Ruiz, J. A., Ruiz de Castroviejo, J., Sanchez-Villegas, P., Suarez de Lezo, J., Suarez de Lezo, J., Torres-Peña, J. D., Vals-Delgado, C., Valverde, R., Visioli, F., y Yubero-Serrano, E. M. (2022). Long-term secondary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet and a low-fat diet (CORDIOPREV): a randomised controlled trial. *The Lancet*, 399(10338), 1876-1885. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00122-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00122-2)
- Diez, C. M., Trujillo, I., Martinez-Urdiroz, N., Barranco, D., Rallo, L., Marfil, P., y Gaut, B. S. (2015). Olive domestication and diversification in the Mediterranean Basin. *New Phytologist*, 206(1), 436-447.
- Estrela, T. (2023). La gestión del agua en un escenario de adaptación al cambio climático.
- Fabiani, R. (2016). Anti-cancer properties of olive oil secoiridoid phenols: a systematic review of in vivo studies [10.1039/C6FO00958A]. *Food & Function*, 7(10), 4145-4159. <https://doi.org/10.1039/C6FO00958A>
- FAO. (2019). *Food and Agricultural Organization of the Unnited Nations; Lands and water*. <http://www.fao.org>
- Fernandez Escobar, R., de la Rosa, R., Leon, L., Gomez, J. A., Testi, F., Orgaz, M., Gil-Ribes, J. A., Quesada-Moraga, E., y Trapero, A. (2013). Evolution and sustainability of the olive production systems. In J. Caballero, R. D'Andria, M. Fernández, A. Garrido, L. Rallo, F. N. Arroyo López, N. Arcas, R. Fernandez Escobar, J. López-Miranda, M. Msallem, M. Parras, & R. Zanolli (Eds.), *Present and future of the Mediterranean olive sector* (Vol. 106, pp. 11-42). Zaragoza: CIHEAM / IOC. <http://om.ciheam.org/web/controleurFrontal.php?action=exporterCitationRIS&IDART=6803>
- Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Björk, L., y Trajkovski, V. (2000). Changes in Antioxidant Effects and Their Relationship to Phytonutrients in Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during Maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1485-1490. <https://doi.org/10.1021/jf991072g>
- Garrido-Delgado, R., Dobao-Prieto Mdel, M., Arce, L., y Valcárcel, M. (2015). Determination of volatile compounds by GC-IMS to assign the quality of virgin olive oil. *Food Chem*, 187, 572-579. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.082>

- Gómez del Campo, M., y García, J. M. (2013). Summer Deficit-Irrigation Strategies in a Hedgerow Olive cv. Arbequina Orchard: Effect on Oil Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(37), 8899-8905. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf402107t>
- Gómez, J. A., Guzmán, M. G., Giráldez, J. V., y Fereres, E. (2009). The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 137-144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2009.04.008>
- Goren-Inbar, N., Feibel, C. S., Verosub, K. L., Melamed, Y., Kislev, M. E., Tchernov, E., y Saragusti, I. (2000). Pleistocene Milestones on the Out-of-Africa Corridor at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science*, 289(5481), 944-947. <https://doi.org/doi:10.1126/science.289.5481.944>
- Grossi, M., Di Lecce, G., Arru, M., Gallina Toschi, T., y Riccò, B. (2015). An opto-electronic system for in-situ determination of peroxide value and total phenol content in olive oil. *Journal of Food Engineering*, 146, 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.015>
- Guasch-Ferré, M., Hu, F. B., Martínez-González, M. A., Fitó, M., Bulló, M., Estruch, R., Ros, E., Corella, D., Recondo, J., Gómez-Gracia, E., Fiol, M., Lapetra, J., Serra-Majem, L., Muñoz, M. A., Pintó, X., Lamuela-Raventós, R. M., Basora, J., Buil-Cosiales, P., Sorlí, J. V., Ruiz-Gutiérrez, V., Martínez, J. A., y Salas-Salvadó, J. (2014). Olive oil intake and risk of cardiovascular disease and mortality in the PREDIMED Study. *BMC Medicine*, 12(1), 78. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-78>
- Guerrero-Casado, J., Carpio, A. J., Tortosa, F. S., y Villanueva, A. J. (2021). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Science of the Total Environment*, 798, Article 149212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149212>
- Hernández, M. L., Velázquez-Palmero, D., Sicardo, M. D., Fernández, J. E., Diaz-Espejo, A., y Martínez-Rivas, J. M. (2018). Effect of a regulated deficit irrigation strategy in a hedgerow 'Arbequina' olive orchard on the mesocarp fatty acid composition and desaturase gene expression with respect to olive oil quality [Article]. *Agricultural Water Management*, 204, 100-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.002>

- IVIA. (2022). *Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Ficha técnica nº 9: riego del olivo*. Retrieved 19/04/2025 from http://riegos.ivia.es/ficheros/recursos/ficha_tecnica_riego_del_olivo.pdf
- Junta de Andalucía. (2011). *Producción integrada de olivar*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/export/drupalida/1337159656Produccixn_Integrada_Olivar.pdf
- Kamikata, K., Vicente, E., Ariseto-Bragotto, A. P., Miguel, A. M. R. D. O., Milani, R. F., y Tfouni, S. A. V. (2019). Occurrence of 3-MCPD, 2-MCPD and glycidyl esters in extra virgin olive oils, olive oils and oil blends and correlation with identity and quality parameters. *Food Control*, 95, 135-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.051>
- Langgut, D., y Garfinkel, Y. (2022). 7000-year-old evidence of fruit tree cultivation in the Jordan Valley, Israel. *Scientific Reports*, 12(1), 7463. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10743-6>
- León Mendoza, L., Casanova Pavel, D., y González Cabeza, J. (2021). Estabilidad de la calidad sensorial de aceites de oliva *Olea europea* (Oleaceae) extra virgen varietal y mono varietal. *Arnaldoa*, 28, 613-624. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28308>
- Lipan, L., Martín-Palomo, M. J., Sánchez-Rodríguez, L., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., Burló, F., Vázquez-Araújo, L., Andreu, L., y Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019). Almond fruit quality can be improved by means of deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, 217, 236-242. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062517321&doi=10.1016%2fj.agwat.2019.02.041&partnerID=40&md5=f9ebf19d08d83a185e6d269aad5761ec>
- Litt, T., Ohlwein, C., Neumann, F. H., Hense, A., y Stein, M. (2012). Holocene climate variability in the Levant from the Dead Sea pollen record. *Quaternary Science Reviews*, 49, 95-105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.012>
- Lombardo, L., Grasso, F., Lanciano, F., Loria, S., y Monetti, E. (2018). Broad-Spectrum Health Protection of Extra Virgin Olive Oil Compounds. *Studies in Natural Products Chemistry*, 57, 41-77.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045756679&doi=10.1016%2fB978-0-444-64057-4.00002-8&partnerID=40&md5=07a2843e07c0e2c93cb18233b79c8d2b>

- Luna, G., Morales, M. T., y Aparicio, R. (2006). Characterisation of 39 varietal virgin olive oils by their volatile compositions. *Food Chemistry*, 98(2), 243-252.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.069>
- MAPA. (2007). *Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Variedades de aceituna de aptitud almazara cultivadas en España*. Retrieved 20/04/2025 from <https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=16>
- MAPA. (2008). *Ministerio de Medio Ambiente y Meddio Rural y Medio Marino. Información del olivo*. Retrieved 16/04/2025 from https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/Docs/caracteres_morfologicos_olivo.JPG
- MAPA. (2024). *Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE)*. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/>
- Markellos, C., Ourailidou, M.-E., Gavriatopoulou, M., Halvatsiotis, P., Sergeantanis, T. N., y Psaltopoulou, T. (2022). Olive oil intake and cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 17(1), e0261649.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261649>
- Morgado, R., Santana, J., Porto, M., Sánchez-Oliver, J. S., Reino, L., Herrera, J. M., Rego, F., Beja, P., y Moreira, F. (2020). A Mediterranean silent spring? The effects of olive farming intensification on breeding bird communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, 106694.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106694>
- Nations,, U. *Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World*. Retrieved 2023 from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- Noguera-Artiaga, L., Pérez-López, D., Burgos-Hernández, A., Wojdyło, A., y Carbonell-Barrachina, Á. A. (2018). Phenolic and triterpenoid composition and inhibition of

- α -amylase of pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) as affected by rootstock and irrigation treatment. *Food Chemistry*, 261, 240-245.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058420351&doi=10.1016%2fj.foodchem.2018.04.033&partnerID=40&md5=c412a3cb5e9cada6a8b7dd9a76cd941a>
- Noguera-Artiaga Luis; Lipan Leontina, V.-A. L. ; Barber Xavi,; Pérez-López, David,; Carbonell-Barrachina, Ángel 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>
- Oliver-Pozo, C., Aparicio-Ruiz, R., Romero, I., y García-González, D. L. (2015). Analysis of Volatile Markers for Virgin Olive Oil Aroma Defects by SPME-GC/FID: Possible Sources of Incorrect Data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(48), 10477-10483. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03986>
- Pastor, M. (2001). *Programación de riegos en olivar*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Perona, J. S., y Botham, K. M. (2013). Olive Oil as a Functional Food: Nutritional and Health Benefits. In R. Aparicio & J. Harwood (Eds.), *Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties* (pp. 677-714). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8_18
- Rallo, L., Barranco, D., De La Rosa, R., y León, L. (2018). New olive cultivars and selections in Spain: Results after 25 years of breeding. *Acta Horticulturae*,
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rodríguez-Cohard, J. C., Sánchez-Martínez, J. D., y Garrido-Almonacid, A. (2020). Strategic responses of the European olive-growing territories to the challenge of globalization. *European Planning Studies*, 28(11), 2261-2283.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1716691>
- Rumora, A. E., LoGrasso, G., Hayes, J. M., Mendelson, F. E., Tabbey, M. A., Haidar, J. A., Lentz, S. I., y Feldman, E. L. (2019). The divergent roles of dietary saturated and monounsaturated fatty acids on nerve function in murine models of obesity. *Journal of Neuroscience*, 39(19), 3770-3781.

- Sánchez-Rodríguez, L., Kranjac, M., Marijanović, Z., Jerković, I., Corell, M., Moriana, A., Carbonell-Barrachina, Á. A., Sendra, E., y Hernández, F. (2019). Quality Attributes and Fatty Acid, Volatile and Sensory Profiles of “Arbequina” hydroSOStainable Olive Oil. *Molecules*, 24(11), 2148. <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/11/2148>
- Sánchez-Rodríguez, L., Kranjac, M., Marijanović, Z., Jerković, I., Pérez-López, D., Carbonell-Barrachina, Á. A., Hernández, F., y Sendra, E. (2020). “Arbequina” Olive Oil Composition Is Affected by the Application of Regulated Deficit Irrigation during Pit Hardening Stage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97(5), 449-462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aocs.12332>
- Sanz-Cortés, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M. L., Bleiholder, H., Hack, H., Llacer, G., y Meier, U. (2002). Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2), 151-157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x>
- Sastre, B., Arbonés, A., Pérez-Jiménez, M. Á., Pascual, M., Benito, A., de Lorenzo, C., Villar, J. M., Bonet, L. J., Paz, S., Santos, Á., Hermoso, J. F., Romero, A., Farolfi, C., y Rufat, J. (2023). Influence of Regulated Deficit Irrigation on Arbequina's Crop Yield and EVOOs Quality and Sensory Profile. *Agronomy*, 13(1), 31. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy13010031>
- Sena-Moreno, E., Cabrera-Bañegil, M., Pérez-Rodríguez, J. M., De Miguel, C., Prieto, M. H., y Martín-Vertedor, D. (2018). Influence of Water Deficit in Bioactive Compounds of Olive Paste and Oil Content. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(3), 349-359. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045957729&doi=10.1002%2faocs.12017&partnerID=40&md5=8bee0e48621339bdf5ed8b958d634960>
- Servili, M., y Montedoro, G. (2002). Contribution of phenolic compounds to virgin olive oil quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 602-613. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200210\)104:9/10](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1438-9312(200210)104:9/10)
- Shavakhi, F., Rahmani, A., y Moradi, P. (2021). Characterization of Iranian olive oils based on biophenolic minor polar compounds and their contribution to organoleptic properties. <https://doi.org/https://doi.org/10.29133/yyutbd.880140>

- Stefanoudaki, E., Williams, M., Chartzoulakis, K., y Harwood, J. (2009). Effect of Irrigation on Quality Attributes of Olive Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 7048-7055. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf900862w>
- Torres, J., Fernández-Ondoño, E., Garcia-Fuentes, A., Valenzuela, L., Siles, G., y Valle-Tendero, F. (2013). Las cubiertas vegetales como herramienta en el olivar ecológico. *Revista Agropecuaria Agricultura*, 967, 742-970.
- Tuberoso, C. I. G., Kowalczyk, A., Sarritzu, E., y Cabras, P. (2007). Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chemistry*, 103(4), 1494-1501. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.014>
- Ulbricht, T. L. V., y Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. 338(8773), 985-992. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- United-Nations. (2015). *Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World*. Retrieved 2023 from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- Vidal, A. M., Alcalá, S., de Torres, A., Moya, M., y Espínola, F. (2019). Characterization of Olive Oils from Superintensive Crops with Different Ripening Degree, Irrigation Management, and Cultivar: (Arbequina, Koroneiki, and Arbosana). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(4), 1800360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ejlt.201800360>
- Vossen, P. (2007). Olive oil: history, production, and characteristics of the world's classic oils. *HortScience*, 42(5), 1093-1100.
- Zhang, Y., Zhang, C., Xu, C., Deng, Y., Wen, B., Xie, P., y Huang, L. (2022). Effect of geographical location and soil fertility on main phenolic compounds and fatty acids compositions of virgin olive oil from Leccino cultivar in China. *Food Research International*, 157, Article 111207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111207>



Article

Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of ‘Arbequina’ Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard

José Miguel García-Garvía ¹, Paola Sánchez-Bravo ¹ , Francisca Hernández ² , Esther Sendra ¹ , Mireia Corell ³ , Alfonso Moriana ³ , Armando Burgos-Hernández ⁴ and Ángel A. Carbonell-Barrachina ^{1,*} 

- ¹ Research Group “Food Quality and Safety”, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Miguel Hernández University, Carretera de Beniel, Km 3.2, 03312 Orihuela, Spain
 - ² Grupo de Investigación en Fruticultura y Técnicas de Producción, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Miguel Hernández University, Carretera de Beniel, Km 3.2, 03312 Orihuela, Spain
 - ³ Departamento de Agronomía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA), Universidad de Sevilla, Carretera de Utrera, Km 1, 41004 Sevilla, Spain
 - ⁴ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo 1658, Mexico
- * Correspondence: angel.carbonell@umh.es



Citation: García-Garvía, J.M.; Sánchez-Bravo, P.; Hernández, F.; Sendra, E.; Corell, M.; Moriana, A.; Burgos-Hernández, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of ‘Arbequina’ Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agronomy* **2022**, *12*, 1892. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081892>

Academic Editor: Giovanni Caruso

Received: 17 July 2022

Accepted: 10 August 2022

Published: 12 August 2022

Publisher’s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The expansion of the super-high-intensive cultivation of olive groves requires irrigation techniques that are compatible with the increasing scarcity of water due to climate change and olive oil demand. For this, the effect of two regulated deficit irrigation treatments (RDI) and a sustained deficit irrigation (SDI) treatment was studied. The treatments consisted of: (i) control treatment, which supplied 100% of the water lost by evapotranspiration (ET₀); (ii) the “optimal RDI” treatment, which only reduced irrigation water (~37–54% reduction) during the pit hardening stage; (iii) the “confederation RDI” which limited water restriction to the donation of the Guadalquivir hydrographic confederation (~72% reduction); and, (iv) the “confederation SDI”, similar water restriction (~72%) but during the whole tree cycle. In general, the reduction in the irrigation water caused no negative effects on the studied parameters. However, the total phenolic content (TPC) was increased when the deficit irrigation was applied. Fatty acid profile showed changes with respect to the control, increasing oleic acid and the total content of monounsaturated fatty acids (MUFA). For the volatile compound profile, reducing water intake caused changes in mayor volatile compound (*trans*-2-hexenal), related with green flavors. The application of deficit irrigation treatments increased the value obtained in the fruity parameter with respect to the control. On the other hand, irrigation deficit treatments did not generate changes in the olive oil yield.

Keywords: antioxidants; fatty acids; *Olea europaea*; sensory profile; volatile composition

1. Introduction

In Spain, one of the most important olive oil producers worldwide [1], olive trees have traditionally been cultivated extensively under rainfed conditions, but in recent decades, there has been a shift towards super-intensive cultivation methods, increasing the number of trees per hectare, mainly due to the increase in consumer demand, promoted by the recommendations of the Food and Agriculture of the United Nations [2] based on its nutritional and sensory profiles [3]. This change in the irrigation system has drastically increased the water needs of olive orchards.

In Spain, the region with the highest cultivation area of olive trees is Andalucía, which is a region with a high level of desertification risk, due to its low rainfall and high temperature. For these reasons, new agricultural strategies are being developed

based on reducing irrigation water but without reducing production or quality, such as the use of plant covers [4–6], precision irrigation [7] and/or the application of deficit irrigation [8]. The main two deficit irrigation strategies are: (i) regulated deficit irrigation (RDI), which reduces water during one or more phenological stages of fruit development, and (ii) sustained deficit irrigation (SDI), which reduces water throughout the whole fruit development process.

In the case of olive trees, previous studies have shown that the application of deficient water during pit hardening (phase II) [9,10] did not negatively affect production. In this sense, the Food Quality and Safety research group of the Miguel Hernández University (UMH, Spain) developed a brand, hydroSOSustainable products, to recognize farmers and producers that apply and control deficit irrigation techniques and fulfil the brand requirements [11,12]. Thus, the aim of this study was to analyze the effects of two RDI treatments with different intensities and one SDI treatment (adjusted to the reality of the Spanish agriculture and water availability), on the quality of the hydroSOSustainable olive oil produced, by analyzing the effects on: (i) the IOC (International Olive Council) quality parameters, (ii) the antioxidant activity (ABTS⁺• and DPPH• methods), (iii) the total phenolic content (TPC) and (iv) the lipidic, volatile and sensory profiles, along two consecutive seasons (2018 and 2019).

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Design and Sample Processing

Olive oil was obtained from 13-year-old ‘Arbequina’ olive trees cultivated in a super-high density (4.0 m × 1.5 m) orchard located in Carmona (37.49° N, −5.67° W, Seville, Spain). Four irrigation treatments were randomly distributed in blocks (Figure 1) with 60 trees per plot. Olives were mechanically harvested when presented a maturity index of 1.9 [13]; the grape straddle harvester (New Holland Braud Olive) selectively collected samples for each treatment (central line of each plot) and emptied the harvested olives into individual bags; then, the samples were manually cleaned and prepared for the production of the olive oil.

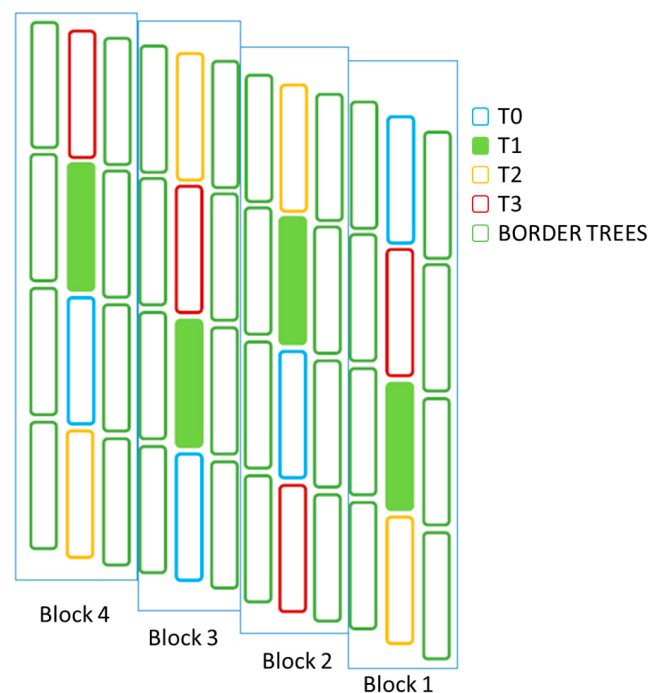


Figure 1. Distribution of deficit irrigation treatments (2018 and 2019 seasons) at a super-high density ‘Arbequina’ olive trees orchard.

Olive oil was obtained using an olive mill model Frantoio Bio (Toscana Enologica Mori, Florence, Italy) at 40–50 kg h^{−1}, with an aqueous two-phase oil extraction system. In total, 100 kg of olive samples was cleaned, grounded ($T < 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 min) with 1% ($w:w$) talc ore and 2% ($w:w$) water.

A pressure chamber (PMS Instrument Company, Albany, OR, USA) was used in 4 trees per treatment to determine the *midday stem water potential* (Ψ_{stem}). The water stress integral (SI) was calculated (Equation (1)) to describe the accumulative effect of deficit irrigation strategies, from the beginning of pit hardening to harvest (19 June–14 October in 2018 (117 days) and 14 June–24 October in 2019 (132 days)):

$$SI = \sum [\Psi - (-0.2)] \times n \quad (1)$$

where SI is the stress integral, Ψ_{stem} is the average midday stem water potential for any interval and n is the number of the days in the interval.

Four irrigation treatments were established and conditions were monitored and controlled using the pressure chamber technique and the threshold values of midday stem water potential before and after the pit hardening period:

- **Control** (T_0): full irrigated conditions [14].
- **RDI** (T_1): trees had no water restriction along phases I and III (the beginning of olive fruit growth and fruit maturation with oil accumulation, respectively, while regulated irrigation was applied at phase II (pit hardening), with 37% and 54% of water reduction in the 2018 and 2019 seasons, respectively.
- **Confederation RDI** (T_2): same conditions established in T_1 (deficit irrigation applied at phase II), but with a water restriction set up at donation of Guadalquivir hydrographic confederation (67% of water reduction in 2018 and 72% of water reduction in 2019).
- **Confederation SDI** (T_3): sustained deficit irrigation with the same water restrictions as T_2 but during the whole cycle of the olive tree.

2.2. Quality Parameters

Chemical quality parameters of olive oil are defined by European Union Regulation [15] and are used to classify olive oils in different commercial categories. Free acidity (% of oleic acid), peroxide value (meq O₂ kg^{−1} oil) and ultraviolet (UV) extinction coefficients (K_{232} , K_{270} and ΔK indexes) were analyzed following the procedure described by European Union Commission Regulation 2568/91 [15] and International Olive Council decisions [16–18]. UV absorption indexes were determined in a UV–visible spectrophotometer (Helios Gamma model, UVG 1002E; Helios, Cambridge, UK), using cyclohexane and a 10 mm quartz cuvette.

2.3. Determination of Antioxidant Activity and Quantification of Total Phenolic Content

The extract used for total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (AA) quantification was prepared as previously described by Tuberoso et al. [19] with some modifications. Briefly, 3 g of olive oil was mixed with 5 mL of methanol/water (80/20, v/v). The mixture was shaken for 2 min and the hydrophilic phase was filtered with a GD/X 0.45 μm cellulose acetate filter (25 mm, Sartorius, Madrid, Spain). This procedure was repeated twice with the lipophilic phases, and all of the hydrophilic extracts were evaporated in a rotary evaporator at 35 $^{\circ}\text{C}$. Finally, the residue was dissolved in 1.5 mL of methanol.

The antioxidant activity [ABTS^{•+} (azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) and DPPH[•] (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)] were carried out as described by Re et al. [20] and Brand-Williams et al. [21], respectively. The decrease in absorbance was measured at 734 nm (ABTS^{•+}) and 515 nm (DPPH[•]) using a UV–visible spectrophotometer (Helios Gamma model, UVG 1002E; Helios, Cambridge, UK). Analyses were run in triplicate and the results were expressed as mmol Trolox eq L^{−1} of olive oil.

Total phenolic content (TPC) was quantified using Folin–Ciocalteu reagent according to Gao et al. [22]. Absorption was measured at 760 nm using a UV–visible spectropho-

tometer (Helios Gamma model, UVG 1002E; Helios, Cambridge, UK). Analysis was run in triplicate, and the results were expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) L⁻¹ of olive oil.

2.4. Fatty Acid Profile

The fatty acid profile was determined following ISO-12966-2 [23] and using C13:0 (0.04 mg mL⁻¹) as internal standard for later quantification. After extraction and methylation, for separation and quantification, a gas chromatograph (GC) Shimadzu GC-2030 coupled with a flame ionization detector (FID) an automatic injector AOC-20i was used. Helium was used as carrier gas and nitrogen as a make-up gas (40 mL min⁻¹). FID used hydrogen and air, at rates of 35 mL min⁻¹ and 350 mL min⁻¹, respectively. The GC system used a Supelco SP[®]-2380 capillary column (length: 60 m, internal diameter: 0.25 mm and film thickness: 0.20 µm). The injector and detector temperatures were 250 and 260 °C, respectively and a 1:20 split ratio was used. A helium lineal flow velocity of 28.4 cm s⁻¹ was also used. The oven temperature started at 70 °C and increased up to 250 °C at a rate of 3 °C min⁻¹. Methyl fatty acids were identified as compared with retention times with FAME Supelco MIX-37 standards (Supelco Company, Bellefonte, PA, USA). Results were calculated as percentage of each fatty acid in the total fatty acid profile.

Additionally, atherogenic index (AI) (Equation (2)) and thrombogenic index (TI) (Equation (3)) were calculated according to Sánchez-Rodríguez et al. [24].

$$AI = (4 \times [14 : 0] + [16 : 0]) / \left[\sum_{PUFA (n-3)} + \sum_{PUFA (n-6)} + \sum_{MUFA} \right] \quad (2)$$

where [14:0] and [16:0] are the contents (%) of myristic and palmitic acids, respectively, and MUFA and PUFA are the contents of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, respectively.

$$TI = ([14 : 0] + [16 : 0] + [18 : 0]) / \left[0.5 \times \sum_{MUFA} + 0.5 \times \sum_{PUFA (n-6)} + 3 \times \sum_{PUFA (n-3)} + (n-3)/(n-6) \right] \quad (3)$$

where [18:0] is the content (%) of stearic acid.

2.5. Volatile Compound Profile

Volatile compounds were extracted by headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME). Analysis was carried out according to Sánchez-Rodríguez et al. [25] with some modifications. Briefly, 10 mL of olive oil was added to a 15 mL glass vial with 10 µL of benzyl acetate as internal standard (1000 mg L⁻¹) using 50/30 µm DVB/CAR/PDMS fiber (Supelco Company, Bellefonte, PA, USA). Vials were maintained in a temperature-controlled water bath at 40 °C for 60 min (10 for equilibration and 50 min for extraction) with continuous agitation (500 rpm) in a magnetic stirrer (IKA C-MAG HS 4, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Germany). After that, fiber was inserted into the injector at 250 °C for 3 min to directly desorb volatile compounds into the GC column.

A gas chromatograph Shimadzu GC-17A coupled to a mass spectrometer (Shimadzu QP-5050A (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) was used for the isolation and identification of the volatile compounds. To separate volatile compounds, an Rxi-1301Sil MS (Restek Corporation, Bellefonte, PA, USA) column was used (length: 30 m, internal diameter: 0.25 mm and film thickness: 1.0 µm), using helium as a carrier gas at 0.6 mL s⁻¹ in a splitless mode. Injector and detector temperatures were 230 and 300 °C, respectively. The oven program was as follows: initial temperature 40 °C for 3 min; rate of 5 °C min⁻¹ up to 100 °C; and rate of 3 °C min⁻¹ until 300 °C and held for 3 min.

To characterize volatile compounds, chromatogram was analyzed using GCMS Postrun Analysis (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) software and individual compounds were identified by three methods: (i) mass spectrum (original chemical compound and collection of the Wiley 229 and NIST 14 spectrum libraries); (ii) retention index of standards (RI); and (iii) retention indexes calculated using the C7 to C16 *n*-alkane mix (Sigma-Aldrich,

Steinheim, Germany). Experimental retention index was compared with literature index obtained from National Institute of Standards and Technology [26].

2.6. Descriptive Sensory Analysis

Descriptive sensory analysis was carried out using the trained panel of the Food Quality and Safety (CSA) research group of the Miguel Hernández University. This trained panel consisted of 8 panelists (4 males and 4 females, between 25 and 50 years old) with more than 1000 training hours in sensory analysis, specifically in vegetables and fruits. Moreover, panelists had special training in olive oil sensory analysis for 2 days, using standard samples kindly provided by the International Olive Oil Council (IOC).

Four sessions were carried out, one session per each irrigation treatment, following the European regulation n° 2568/91 [15]. The descriptors used were those defined by IOC [27] to classify olive oils into different commercial categories and were classified in two groups: (i) positive attributes (fruity, bitter and pungent) and (ii) negative attributes (musty, fusty and rancid, all scored in the general attribute “defects”).

2.7. Statistical Treatment

Two-way analysis of variance, with factors being (i) season (2018 and 2019) and (ii) irrigation treatment (T_0 , T_1 , T_2 and T_3), and Tukey’s multiple range test were carried out. XLSTAT software (Addinsoft, version 2014.1, Paris, France) was used. Statistical significance was established at $p < 0.05$, and all analyses were run, at least, in triplicate.

3. Results and Discussion

3.1. Irrigation Stress, Water Used and Production

Figure 2 shows the daily crop reference evapotranspiration (ET_0) and daily rainfall for the 2018 and 2019 seasons. In the 2018 season, last spring rains occurred at the end of May (day of year, DOY, 146) and autumn rains started on DOY 284 (11 October). In the 2019 season, the dry period was longer, from 24 April to 19 October (DOY 116 and 292, respectively). These climatic conditions are typical of Mediterranean areas, with dry and hot periods from late spring until early autumn. Similar reference evapotranspiration (ET_0) behaviors were observed in both seasons, with the highest ET_0 values reached in July and August.

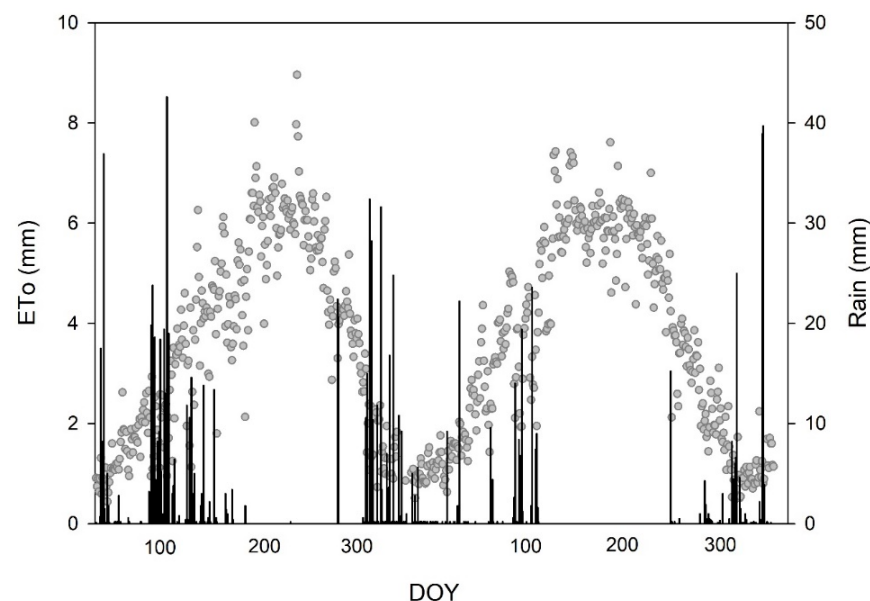


Figure 2. Daily crop reference evapotranspiration (ET_0 , dots) and daily rainfall (vertical bars) for the 2018 and 2019 seasons. Data obtained from Villanueva de Rio y Minas (Seville) meteorological station.

Crop water status (minimum stem water potential, $\min \Psi_{stem}$ and water stress integral, SI), applied water (AW) and olive production are summarized in Table 1. The water used in 2019 to reach the targeted water conditions was higher (484 L m^{-2} or mm) compared to that needed (304 L m^{-2}) in 2018. In both seasons under study, the highest volume of irrigation water was that used in the control treatment, T_0 (mean of the two seasons 753 L m^{-2}) while the lowest volume was applied in T_2 and T_3 treatments, with 221 L m^{-2} and 212 L m^{-2} , respectively. Minimum Ψ_{stem} values were negatively correlated with the applied water volume ($R^2 = 0.6689$); this way, the lowest values of Ψ_{stem} were observed in T_2 and T_3 olive trees.

Table 1. Effect of the season (2018 and 2019) and irrigation treatment (T_0 , T_1 , T_2 and T_3) on minimum stem water potential ($\min \Psi_{stem}$), water stress integral (SI , MPa day^{-1}), applied water (AW , L m^{-2}) and olive oil production in each deficit irrigation treatment during pit hardening in a super-high-density ‘Arbequina’ olive tree orchard.

Factor	Min Ψ_{stem} (MPa)	SI Total (MPa Day $^{-1}$)	SI Phase II (MPa Day $^{-1}$)	SI Phase III (MPa Day $^{-1}$)	AW (L m^{-2})	Olive Oil Production (kg Oil ha $^{-1}$)
ANOVA [†]						
Season	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.
Irrigation	**	**	**	**	***	n.s.
Season $\times$ Irrigation	**	**	**	**	***	n.s.
Tukey Multiple Range Test [‡]						
Season						
2018	−3.35	76.0	54.6	16.9	304 b	2198
2019	−3.47	103	71.9	30.2	484 a	2025
Irrigation						
T_0	−1.88 a	9.53 c	9.25 c	0.17 b	753 a	2192
T_1	−2.94 ab	46.3 bc	43.24 bc	2.09 b	390 b	2162
T_2	−4.96 c	179 a	127 a	48.8 a	221 c	2035
T_3	−3.87 bc	123 ab	73.2 ab	43.9 a	212 c	2056
Season $\times$ Irrigation						
2018 $\times$ T_0	−2.21 ab	18.4 b	18.2 b	0.00 b	533 b	2348
2018 $\times$ T_1	−2.74 abc	40.7 b	38.7 b	0.48 b	334 cd	2169
2018 $\times$ T_2	−4.71 bc	140 ab	104 ab	30.0 ab	173 e	2240
2018 $\times$ T_3	−3.75 abc	105 ab	57.6 ab	37.1 ab	175 e	2034
2019 $\times$ T_0	−1.54 a	0.681 b	0.338 b	0.34 b	972 a	2037
2019 $\times$ T_1	−3.15 abc	51.8 b	47.8 ab	3.70 b	446 bc	2154
2019 $\times$ T_2	−5.21 c	219 a	151 a	66.0 a	269 de	1831
2019 $\times$ T_3	−3.99 abc	141 ab	88.9 ab	50.7 ab	248 de	2077

[†] n.s. = not significant at $p > 0.05$, ** and *** significant at $p < 0.01$ and $p < 0.005$; [‡] Values followed by the same letter, within the same column and factor, were not significantly different ($p > 0.05$), according to the Tukey’s least significant difference test.

Regarding the applied water, the T_2 and T_3 treatments (Guadalquivir hydrographic confederation RDI and confederation SDI) resulted in the highest reductions regarding the volume of applied water, reaching values as high as 69.9 and 70.8%, respectively (mean of seasons 2018 and 2019), of the total water applied in the control trees.

The seasonal stress integral (SI total) was not affected by the factor season, but it was affected by the irrigation treatment, as expected. The highest SI value was achieved in T_2 trees (179 MPa day^{-1}) followed by those included in T_3 . Finally, the SI values also depended on the phenological stage, with the highest values being found in the T_2 trees, especially at phase II (pit hardening). Moreover, the minimum Ψ_{stem} and the SI were negatively correlated, with SI total increasing as the Ψ_{stem} decreased ($R^2 = 0.9337$).

3.2. Analytical Parameters of Olive Oil Quality

In general, no important differences were found for the quality parameters (Table 2); this was expected because all samples were obtained from freshly harvested olives without significant defects. However, in the 2018 season, the peroxide index was higher in the control treatment, T_0 ($11.8 \text{ meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$) compared to that observed in the stressed samples.

Similar effects have been previously observed, with lower peroxide index values in samples from water-stressed olive trees [28].

Table 2. Quality parameters of ‘Arbequina’ olive oil samples, obtained from a super-high-density olive tree orchard, according to the requirements of the International Olive Council [27].

Factor	Peroxide Index (meq O ₂ kg ^{−1})	Acidity Index (% Oleic Acid)	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Δk	Commercial Classification
ANOVA [†]						
Season	***	n.s.	n.s.	***	n.s.	
Irrigation	***	***	**	n.s.	n.s.	
Season × Irrigation	***	***	n.s.	***	n.s.	
Tukey Multiple Range Test [‡]						
Season						
2018	8.21 b	0.240	1.80	0.086 b	0.004	EVOO [¥]
2019	12.0 a	0.214	1.76	0.127 a	0.002	EVOO
Irrigation						
T ₀	12.6 a	0.317 a	2.00 a	0.101	0.002	EVOO
T ₁	9.73 b	0.207 b	1.78 ab	0.101	0.004	EVOO
T ₂	8.74 b	0.192 b	1.66 b	0.111	0.004	EVOO
T ₃	9.34 b	0.191 b	1.69 ab	0.113	0.002	EVOO
Season × Irrigation						
2018 × T ₀	11.8 ab	0.417 a	1.96	0.082 c	0.004	EVOO
2018 × T ₁	8.15 bc	0.206 b	1.96	0.086 bc	0.003	EVOO
2018 × T ₂	5.87 c	0.187 b	1.57	0.088 bc	0.004	EVOO
2018 × T ₃	7.02 bc	0.150 b	1.72	0.089 bc	0.004	EVOO
2019 × T ₀	13.4 a	0.218 b	2.04	0.120 ab	0.001	EVOO
2019 × T ₁	11.3 ab	0.208 b	1.61	0.116 abc	0.004	EVOO
2019 × T ₂	11.6 ab	0.197 b	1.75	0.134 a	0.004	EVOO
2019 × T ₃	11.7 ab	0.232 b	1.66	0.137 a	0.000	EVOO

[†] n.s.= not significant at $p > 0.05$, ** and *** significant at $p < 0.01$ and $p < 0.005$; [‡] Values followed by the same letter, within the same column and factor, were not significantly different ($p > 0.05$), according to Tukey’s least significant difference test. [¥] EVOO = Extra Virgin Olive Oil.

A similar behavior to that previously described for the peroxide index was also found for the acidity index in the 2018 season, where the T₀ value (0.42% oleic acid) was higher than those found for the rest of treatments (mean of 0.18%).

All samples under study were classified as extra virgin olive oil according to the Official Commercial Classification established by International Olive Oil Council [27]. This way, it can be concluded that deficit irrigation treatments did not reduce the quality of the olive oil; similar results were previously reported by Gómez del Campo and García [29] for the same olive variety, in Toledo (central Spain), despite the water reduction levels.

3.3. Determination of Antioxidant Activity and Quantification of Total Phenolic Content

The irrigation treatment did not have a significant ($p < 0.05$) effect on antioxidant activity (AA) as determined by the two methods used (ABTS⁺ and DPPH[•]) (Table 3); however, the antioxidant activity was significantly ($p < 0.05$) higher for the samples from the 2019 season compared to those determined in the samples from the 2018 season. However, the total phenolic content (TPC) was significantly ($p < 0.05$) affected by both factors, the season and the irrigation treatment, with the trees included in the treatments with deficit irrigation (T₁–T₃) showing significantly higher values than those observed in oil samples obtained from the control trees (T₀), and the samples from 2018 had higher values than those from the 2019 season. This experimental positive finding on polyphenol content was possibly due to climatologic conditions.

Table 3. Antioxidant activity (mmol Trolox eq L^{−1}) and total phenolic content (mg GAE L^{−1}) in ‘Arbequina’ olive oil samples obtained from a super-high-density olive tree orchard.

Factor	TPC (mg GAE L ^{−1})	ABTS (mmol Trolox eq L ^{−1})	DPPH (mmol Trolox eq L ^{−1})
ANOVA †			
Season	**	**	*
Irrigation	**	n.s.	n.s.
Season × Irrigation	**	**	*
Tukey Multiple Range Test ‡			
Season			
2018	86.1 a	0.262 b	0.179 b
2019	74.9 b	0.439 a	0.289 a
Irrigation			
T ₀	53.7 b	0.325	0.233
T ₁	77.0 ab	0.404	0.223
T ₂	92.9 a	0.337	0.201
T ₃	98.5 a	0.337	0.279
Season × Irrigation			
2018 × T ₀	59.0 ab	0.198 b	0.089 b
2018 × T ₁	90.4 ab	0.341 ab	0.193 ab
2018 × T ₂	91.9 ab	0.220 b	0.196 ab
2018 × T ₃	103 a	0.289 ab	0.239 ab
2019 × T ₀	48.5 b	0.452 a	0.377 a
2019 × T ₁	63.6 ab	0.467 a	0.254 ab
2019 × T ₂	93.9 ab	0.454 a	0.206 ab
2019 × T ₃	93.7 ab	0.384 ab	0.319 ab

† n.s. = not significant at $p > 0.05$, * and ** significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$; ‡ Values followed by the same letter, within the same column and factor, were not significantly different ($p > 0.05$), according to Tukey’s least significant difference test.

Sena-Moreno et al. [30] observed increases in the antioxidant activity of 218.1% and 153.4% when irrigation water was supplied at 20% and 15% of control water dose, respectively. A similar trend to that described for the AA can be observed in the current study but for TPC; this way, the two treatments following the confederation restrictions (T₂ and T₃) reached values of 92.9 and 98.5 mg GAE L^{−1} compared to 53.7 mg GAE L^{−1} found for the control oil (Table 3). Those TPC values were lower than those reported in previous studies [25,31]. On the other hand, Dag et al. [32] concluded that an extremely intense irrigation deficit could negatively affect the TPC.

The effects caused by water stress on the values of the TPC were similar to those previously reported in the literature. For example, Ahumada-Orellana et al. [28] showed that polyphenols increased by 26.8%, 52.2% and 49.3% when minimum Ψ_{stem} was reduced from −1.2 MPa to −3.5 MPa, −5.0 MPa and −6.0 MPa, respectively. In the current study, in the 2018 season, the TPC increased by 55.2%, 56.9% and 77.6% compared to the value of the control treatment when the control min Ψ_{stem} (−2.21 MPa) was reduced to −2.74 MPa, −4.71% and −3.75%, respectively. A similar trend was also observed in the 2019 season, with TPC increasing by 31.3%, 93.8% and 93.8% compared to the control when min Ψ_{stem} decreased from the −1.54 MPa of the control down to −3.15, −5.21 and −3.99 MPa, respectively.

3.4. Fatty Acids Profile

Fifteen fatty acids were identified and quantified in ‘Arbequina’ extra virgin olive oils (Table 4). In both years, oleic acid (C18:1 *cis* 9) was the major fatty acid in all olive oil samples (49.6% in 2018 and 44.1% in 2019). Regarding the irrigation treatment, higher oleic acid content was reached by sustained deficit irrigation (T₃, 48.9%). These oleic acid contents were lower than that expected for olive oil samples. For instance, Ahumada-Orellana et al. [28] and Gómez del Campo and García [29] observed values close to 70% of total fatty acids for the same variety, although no changes were reported in water-stressed samples. However, Hernández et al. [33] observed similar effects in the oleic acid content of

other 'Arbequina' orchards when deficit irrigation was applied. Those differences could be generated by the different locations of the orchards [34] and edaphoclimatic conditions [35]. In this sense, the highest concentration of oleic acid was reached in samples obtained from trees subjected to sustained deficit irrigation (T_3 , 48.9%). The second most abundant compound was palmitic acid (C16:0), with 14.6% and 18.4% in the 2018 and 2019 season, respectively. This fatty acid did not present significative differences among irrigation treatments. The third predominant compound was linoleic acid (C18:2 *cis6*), which had a season mean content of 11.6% in 2018 and 17.4 in 2019.

Regarding fatty acid families, monounsaturated fatty acids (MUFAs), with oleic acid as the main compound, were the predominant family (62% in 2018 and 55.6% in 2019), and their content depended on the irrigation treatment, especially higher after T_3 (61.1%). This family is extensively associated with beneficial effects on human health [36]. Saturated fatty acids (SFAs) were the second most concentrated family, with 17% in 2018 and 24.5% in 2019. Finally, polyunsaturated fatty acids (PUFAs) were lower in the 2018 season than in the 2019 season (12.5% and 19.2%, respectively), and control irrigation treatment reached the highest content (16.9%) and lower PUFA content was reached after T_2 , 14.9%.

Regarding the health indicators, thrombogenic index (TI) and atherogenic index (AI) values were higher in the 2019 season (0.541 and 0.249, respectively). On the other hand, irrigation treatments only had an effect on the atherogenic index, with lower values reached when sustained deficit irrigation was applied (T_3 , 0.221). Both parameters are associated with correct blood circulation [37]. Similar values were obtained by Sánchez-Rodríguez et al. [24] with the same variety and other irrigation treatments.

3.5. Volatile Compound Profile

In general, the concentration of the volatile compounds in olive oil was significantly affected by the irrigation practices, as previously reported by other authors [38,39], but not by the factor season, with 18 compounds being identified and quantified in the volatile profile of the super-high-intensive 'Arbequina' oils under study (Table 5). These compounds provide olive oils with notes of alcohol, apple, sweet, sour, bitter, green, pungent, almond, astringent, leaves, earthy, fruity, floral and herbal, among others, all of them positive characteristics of an extra virgin olive oil, EVOO [25,40,41].

No effect caused by the factor season was observed on the volatile profile of these oils and the mean values of the 2018 and 2019 seasons are summarized in Table 5. The two predominant compounds were *trans*-2-hexenal and *trans*-2-hexen-1-ol; however, the irrigation treatment only caused significant effects on the content of the first compound, with T_1 and T_3 generating equivalent contents (91.67 and 96.28, respectively). The *trans*-2-hexenal compound is one of the main compounds in the volatile fraction of olive oils, especially in extra virgin olive oils [42]. In this sense, the concentration of this compound significantly affected the final concentration of volatile compounds present in the oils, representing ~46.5%. Oils obtained after T_0 and T_3 had the highest values for total volatile content (188 and 186, respectively). These results agreed with those obtained by Gómez-Rico et al. [43], who observed that the volatile compounds most affected by irrigation in 'Cornicabra' oils were *trans*-2-hexenal, *trans*-2-hexen-1-ol and the hexen-1-ol.

Olive oils also showed significant differences in the contents of ethanol, benzaldehyde, hexyl acetate, *trans*- β -ocimene, benzyl alcohol, acetophenone and benzoic acid. Oil samples obtained after T_1 had the highest values of benzaldehyde and *trans*- β -ocimene (8.14 mg 100 g⁻¹ olive oil and 2.19 mg 100 g⁻¹ olive oil, respectively). However, some aldehydes present in olive oils can provide undesirable sensory attributes such as sweaty, musty-damp or vinegary [42], although this is not the case. On the other hand, the control and confederation SDI treatments led to olive oil with the highest contents of hexyl acetate (3.54 mg 100 g⁻¹ olive oil and 4.77 mg 100 g⁻¹ olive oil, respectively). Finally, oil samples from T_0 and T_2 stood out for their contents of benzyl alcohol and benzoic acid.

Table 4. Fatty acid composition (% of total fatty acids) in ‘Arbequina’ olive oil samples obtained from a super-high-density olive tree orchard.

Factor	C14:0	C16:0	C16:1	C16:1	C17:0	C17:1cis10	C18:0	C18:1cis9	C18:1cis11	C18:2cis6	C20:0	C20:1n9	C18:3n3	C22:0	C20:4n6	Total	MUFA [‡]	PUEFA [‡]	SFA [‡]	TI [‡]	AI [‡]
ANOVA [†]																					
Season	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Irrigation	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***	***	n.s.	***
Season × irrigation	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Tukey's Multiple Range Test [‡]																					
Season																					
2018	0.031 b	14.6 b	0.152 b	1.76 b	0.083 b	0.179 b	1.82 b	49.6 a	10.01 a	11.6 b	0.355 b	0.264 b	0.598 b	0.111 b	0.234 a	91.4 b	62.0 a	12.5 b	17.0 b	0.424 b	0.198 b
2019	0.045 a	18.4 a	0.430 a	3.8 a	0.386 a	0.703 a	4.17 a	44.1 b	5.74 b	17.4 a	1.11 a	0.764 a	1.77 a	0.387 a	0.005 b	99.3 a	55.6 b	19.2 a	24.5 a	0.541 a	0.249 a
Irrigation																					
T ₀	0.043	16.7	0.281	2.96 a	0.191 b	0.374 c	2.90	45.6 b	8.04	15.5 a	0.722	0.521	1.262	0.253	0.114	95.5 ab	57.8 b	16.9 a	20.8 ab	0.482	0.226 a
T ₁	0.037	16.3	0.284	2.72 b	0.222 ab	0.412 bc	2.93	46.0 b	7.88	14.3 bc	0.721	0.516	1.158	0.240	0.113	93.8 b	57.8 b	15.6 bc	20.4 b	0.482	0.224 ab
T ₂	0.035	16.3	0.299	2.84 ab	0.265 a	0.502 a	3.07	46.9 b	7.56	13.7 c	0.747	0.484	1.132	0.261	0.118	94.1 b	58.6 b	14.9 c	20.6 ab	0.486	0.223 ab
T ₃	0.037	16.8	0.300	2.68 b	0.260 a	0.475 ab	3.10	48.9 a	8.16	14.5 b	0.749	0.534	1.185	0.242	0.133	98.0 a	61.1 a	15.8 b	21.2 a	0.479	0.221 b
Season × irrigation																					
2018 × T ₀	0.038 abc	14.6 bc	0.154 b	1.58 c	0.069 c	0.155 d	1.93 c	49.2 b	10.0 a	12.1 c	0.362 b	0.273 b	0.640 b	0.111 b	0.222 a	91.6 b	61.5 b	13.0 cd	17.1 bc	0.426 b	0.198 b
2018 × T ₁	0.029 bc	14.1 c	0.145 b	1.65 c	0.083 c	0.168 d	1.70 c	47.7 bc	10.2 a	11.3 cd	0.328 b	0.248 b	0.564 b	0.099 b	0.221 a	88.5 b	60.1 bc	12.1 cd	16.3 c	0.422 b	0.197 b
2018 × T ₂	0.028 bc	14.3 c	0.153 b	1.92 c	0.095 c	0.193 d	1.81 c	48.8 b	9.46 a	10.8 d	0.362 b	0.265 b	0.570 b	0.129 b	0.232 a	89.1 b	60.8 b	11.6 d	16.7 bc	0.428 b	0.199 b
2018 × T ₃	0.027 c	15.3 b	0.154 b	1.88 c	0.087 c	0.198 d	1.86 c	52.5 a	10.6 a	12.3 c	0.369 b	0.269 b	0.617 b	0.105 b	0.260 a	96.6 a	65.6 a	13.2 c	17.8 b	0.420 b	0.196 b
2019 × T ₀	0.048 a	18.8 a	0.407 a	4.34 a	0.314 b	0.592 c	3.86 b	42.0 e	6.05 b	18.9 a	1.08 a	0.768 a	1.88 a	0.395 a	0.005 b	99.4 a	54.1 d	20.8 a	24.5 a	0.538 a	0.254 a
2019 × T ₁	0.044 ab	18.5 a	0.424 a	3.79 b	0.362 ab	0.656 bc	4.16 ab	44.3 de	5.56 b	17.4 b	1.12 a	0.785 a	1.75 a	0.382 a	0.005 b	99.2 a	55.5 d	19.2 b	24.5 a	0.543 a	0.250 a
2019 × T ₂	0.041 abc	18.2 a	0.445 a	3.76 b	0.436 a	0.811 a	4.33 a	44.9 cde	5.66 b	16.6 b	1.13 a	0.703 a	1.70 a	0.393 a	0.005 b	99.1 a	56.3 d	18.3 b	24.5 a	0.543 a	0.246 a
2019 × T ₃	0.046 a	18.2 a	0.445 a	3.49 b	0.434 a	0.752 ab	4.34 a	45.3 cd	5.70 b	16.7 b	1.13 a	0.798 a	1.75 a	0.378 a	0.006 b	99.5 a	56.5 cd	18.4 b	24.6 a	0.539 a	0.246 a

[†] n.s. = not significant at $p > 0.05$ and *** significant at $p < 0.005$; [‡] Values followed by the same letter, within the same column and factor, were not significantly different ($p > 0.05$), according to the Tukey's least significant difference test. [‡] MUFA = Monounsaturated fatty acid; PUEFA = Polyunsaturated fatty acid; SFA = Saturated fatty acid; TI = Thrombogenic index; AI = Atherogenic index.

In previous studies, Sánchez-Rodríguez et al. [24] and Sánchez-Rodríguez et al. [25] demonstrated that RDI and SDI led to extra virgin olive oil with similar or even higher amounts of the main volatile. These results agreed well with those obtained in the current study in the sense that both studies demonstrated that the applications of irrigation strategies had no negative effects on the volatile profiles of olive oil.

Table 5. Volatile composition (mg 100 g^{−1} olive oil) of ‘Arbequina’ olive oil samples obtained from a super-high-density olive tree orchard. Data are the mean of two seasons, 2018 and 2019.

Compound	RT (min) [‡]	RI _{Exp} [‡]	RI _{Lit} [‡]	ANOVA [†]	Irrigation Treatment			
					T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Ethanol	2.263	419	427	***	12.85 a [‡]	7.10 b	7.16 b	7.87 b
Acetic acid	3.383	680	660	n.s.	3.14	3.65	3.83	1.96
3-Pentanone	4.381	737	703	n.s.	1.35	1.35	0.77	1.05
Propanoic acid	4.677	750	745	n.s.	0.11	0.33	0.83	1.05
Hexanal	6.688	831	xxx	n.s.	4.45	3.43	3.65	3.33
<i>trans</i> -2-Hexenal	8.903	904	854	***	91.67 a	70.69 b	56.08 c	96.28 a
<i>trans</i> -2-Hexen-1-ol	9.157	910	887	n.s.	47.22	47.46	38.06	43.98
4,8-Dimethyl-1,7-nonadiene	12.998	1000	-	n.s.	1.67	1.72	1.70	2.54
Benzaldehyde	13.893	1017	961	**	2.05 b	8.14 a	1.47 b	1.30 b
3-Hexen-1-ol, acetate	14.579	1031	1009	n.s.	9.47	3.47	11.77	15.53
Hexyl acetate	14.806	1035	997	**	3.54 a	0.35 c	2.33 b	4.77 a
Hexanoic acid	15.571	1050	1010	n.s.	1.03	0.43	0.63	0.38
<i>trans</i> -β-Ocimene	16.005	1058	1050	***	0.56 b	2.19 a	0.61 b	0.64 b
Benzyl alcohol	18.621	1109	1046	*	2.66 a	0.15 b	2.15 a	0.99 b
1-Octanol	18.967	1115	1068	n.s.	0.47	0.28	0.26	0.06
Acetophenone	19.628	1127	1065	**	0.27 b	4.85 a	0.43 b	0.25 b
Benzoic acid	27.670	1269	1210	**	3.89 a	1.04 b	3.67 a	2.50 b
Nonanoic acid	31.899	1354	1303	n.s.	1.24	1.98	1.98	1.05
Total				***	188 a	159 b	137 b	186 a

[†] n.s. = not significant at $p > 0.05$, * and *** significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.005$; [‡] Values followed by the same letter, within the same row, were not significantly different ($p > 0.05$), according to Tukey’s least significant difference test. [‡] RT = retention time; RI_{Exp} = experimental retention index; RI_{Lit} = literature retention index.

3.6. Descriptive Analysis

The sensory profiles of the oils under study were established by a trained panel (Table 6). Olive oils from the 2019 season had higher fruity and pungent intensities than those obtained during the 2018 season. In general, water-stressed trees (T₃ and T₂) led to olive oils with a higher intensity of the fruity, bitter and pungent notes compared to those of the control samples, T₀. Previous studies reported that water stress in olive trees negatively affected the attributes of “bitterness” and “pungent” [44]; however, this was not the case in the irrigation treatments applied to the super-high-intensive ‘Arbequina’ orchard under study, where water stress led to oils of even higher sensory quality than the control samples. A similar trend has also been reported by Sánchez-Rodríguez et al. [25].

An important characteristic for the oils to be classified as “extra virgin” is the absence of defects [27]. Regarding the overall defects presented in the samples under study (rancid, moldy, oxidized, humid and others), none of the studied samples showed significant values of the attribute “defect”.

Table 6. Sensory profile (fruity, bitter, pungent and overall defects) by the trained panel of ‘Arbequina’ olive oil samples obtained from a super-high-density olive tree orchard with deficit irrigation.

Factor	Fruity	Bitter	Pungent	Overall Defects [‡]	Commercial Classification
ANOVA [†]					
Season	***	n.s.	***	n.s.	
Irrigation	***	**	***	n.s.	
Season × Irrigation	***	**	***	n.s.	

Table 6. Cont.

Factor	Fruity	Bitter	Pungent	Overall Defects [¥]	Commercial Classification
Tukey's Multiple Range Test [‡]					
Season					
2018	4.1 b	1.9	1.1 b	0.0	EVOO [§]
2019	5.8 a	2.2	3.1 a	0.0	EVOO
Irrigation					
T ₀	4.0 b	1.4 b	1.2 b	0.0	EVOO
T ₁	4.6 b	2.1 a	2.0 ab	0.0	EVOO
T ₂	5.5 a	2.3 a	2.7 a	0.0	EVOO
T ₃	5.7 a	2.5 a	2.5 a	0.0	EVOO
Season × irrigation					
2018 × T ₀	3.2 d	1.2 b	0.4 d	0.0	EVOO
2018 × T ₁	4.2 cd	2.0 ab	1.4 cd	0.0	EVOO
2018 × T ₂	4.1 cd	1.9 ab	1.3 cd	0.0	EVOO
2018 × T ₃	5.1 bc	2.7 a	1.4 cd	0.0	EVOO
2019 × T ₀	4.9 c	1.5 ab	2.0 c	0.0	EVOO
2019 × T ₁	5.1 bc	2.3 ab	2.5 bc	0.0	EVOO
2019 × T ₂	7.0 a	2.6 a	4.2 a	0.0	EVOO
2019 × T ₃	6.3 ab	2.2 ab	3.5 ab	0.0	EVOO

[†] n.s. = not significant at $p > 0.05$, ** and *** significant at $p < 0.01$ and $p < 0.005$; [‡] Values followed by the same letter, within the same column and factor, were not significantly different ($p > 0.05$) according to Tukey's least significant difference test. [¥] Overall defects included musty, fusty and rancid. [§] EVOO = Extra virgin olive oil.

4. Conclusions

This study showed the positive effects of deficit irrigation strategies on the total phenolic content (TPC), variations in the fatty acid profiles, with an increase in the content of oleic acid, as well as an improvement in the sensory profile, especially the fruity attribute. Seasonal effect is another factor that can produce changes in olive oil composition. Moreover, the irrigation treatment did not affect the antioxidant activity of 'Arbequina' oils, but the basic quality parameters were maintained or even improved compared to the control. In addition, the yield of olive oil did not decrease when the applied volume of irrigation water was lower than the control. Therefore, the application of deficit irrigation techniques maintained or improved the quality and composition of olive oil coming from super-high-intensive 'Arbequina' orchards without negatively affecting production.

Author Contributions: Conceptualization, J.M.G.-G. and Á.A.C.-B.; Methodology, F.H. and E.S.; Investigation, J.M.G.-G.; Resources, M.C. and A.M.; Data Curation, M.C. and A.M.; Writing—Original Draft Preparation, J.M.G.-G. and P.S.-B.; Writing—Review and Editing, Á.A.C.-B. and A.B.-H.; Supervision, F.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: José Miguel García-Garvía was funded by the grant for hiring researcher in training from Vice-rectorate for Research of the Miguel Hernández University. Paola Sánchez-Bravo was funded by the grant for the recall of the Spanish university system for the training of young doctors (Margarita Salas, 04912/2021) funded by the European Union-Next Generation EU, Ministry of Universities of Spain. Part of the analytical equipment used in this study was purchased through the grant EQC2018-004170-P funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by ERDF "A way to make Europe".

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. IOC. Olive Oil Production in Europe. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/economic-affairs-promotion-unit/#figures> (accessed on 15 July 2022).
2. FAO. Food-Based Dietary Guidelines-Spain. Available online: <http://www.fao.org/nutrition/education/food-dietary-guidelines/regions/countries/Spain/en> (accessed on 15 July 2022).
3. Lombardo, L.; Grasso, F.; Lanciano, F.; Loria, S.; Monetti, E. Broad-Spectrum Health Protection of Extra Virgin Olive Oil Compounds. *Stud. Nat. Prod. Chem.* **2018**, *57*, 41–77. [CrossRef]
4. Bacelar, E.A.; Moutinho-Pereira, J.; Gonçalves, B.; Ferreira, H.M.F.; Correia, C.M. Changes in growth, gas exchange, xylem hydraulic properties and water use efficiency of three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environ. Exp. Bot.* **2007**, *60*, 183–192. [CrossRef]
5. Gomez, J.A.; Guzmán, M.G.; Giraldez, J.V.; Fereres, E. The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* **2009**, *106*, 137–144. [CrossRef]
6. Torres, J.; Fernández-Ondoño, E.; García-Fuentes, A.; Valenzuela, L.; Siles, G.; Valle-Tendero, F. Las cubiertas vegetales como herramienta en el olivar ecológico. *Rev. Agropecu. Agric.* **2013**, *967*, 742–970.
7. Arbizu-Milagro, J.; Castillo-Ruiz, F.J.; Tascón, A.; Peña, J.M. How could precision irrigation based on daily trunk growth improve super high-density olive orchard irrigation efficiency? *Agronomy* **2022**, *12*, 756. [CrossRef]
8. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Gobierno de España. Encuesta Sobre Superficies y Rendimientos Dultivos (ESYRCE). Available online: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/> (accessed on 15 July 2022).
9. Cano-Lamadrid, M.; Girón, I.; Pleite, R.; Burló, F.; Corell, M.; Moriana, A.; Carbonell-Barrachina, A. Quality attributes of table olives as affected by regulated deficit irrigation. *LWT Food Sci. Technol.* **2015**, *62*, 19–26. [CrossRef]
10. Sánchez-Rodríguez, L.; Lipan, L.; Andreu, L.; Martín-Palomo, M.; Carbonell-Barrachina, A.; Hernández, F.; Sendra, E. Effect of regulated deficit irrigation on the quality of raw and table olives. *Agric. Water Manag.* **2019**, *221*, 415–421. [CrossRef]
11. Corell, M.; Martín-Palomo, M.; Sánchez-Bravo, P.; Carrillo, T.; Collado, J.; Hernández-García, F.; Girón, I.; Andreu, L.; Galindo, A.; López-Moreno, Y.; et al. Evaluation of growers' efforts to improve the sustainability of olive orchards: Development of the hydroSOSustainable index. *Sci. Hortic.* **2019**, *257*, 108661. [CrossRef]
12. Sánchez-Bravo, P.; Collado-González, J.; Corell, M.; Noguera-Artiaga, L.; Galindo, A.; Sendra, E.; Hernández, F.; Martín-Palomo, M.J.; Carbonell-Barrachina, A. Criteria for hydroSOS quality index. Application to extra virgin olive oil and processed table olives. *Water* **2020**, *12*, 555. [CrossRef]
13. Barranco Navero, D.; Fernández Escobar, R.; Rallo Romero, L. *El Cultivo Del Olivo*; Mundi-Prensa: Madrid, Spain, 2017.
14. Corell, M.; Pérez-López, D.; Andreu, L.; Recena, R.; Centeno, A.; Galindo, A.; Moriana, A.; Martín-Palomo, M. Yield response of a mature hedgerow oil olive orchard to different levels of water stress during pit hardening. *Agric. Water Manag.* **2021**, *261*, 107374. [CrossRef]
15. EEC. Commission Regulation (EEC) No. 2568/91 on the Characteristics of Olive Oil and Olive-Pomace Oil and on the Relevant Methods of Analysis. 2019. Available online: <https://leap.unep.org/countries/eu/national-legislation/commission-regulation-eeec-no-256891-characteristics-olive-oil-and> (accessed on 17 July 2021).
16. IOC. *Determination of Peroxide Value*; DEC-III-12/106-VI/2017; IOC: Madrid, Spain, 2017.
17. IOC. *Determination of Free Fatty Acids, Cold Method*; DECISION DEC-III-8/106-VI/2017; IOC: Madrid, Spain, 2017.
18. IOC. *Spectrophotometric Investigation in the Ultraviolet*; DEC-III.4/109-VI/2019; IOC: Madrid, Spain, 2019.
19. Tuberoso, C.I.; Kowalczyk, A.; Sarritzu, E.; Cabras, P. Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chem.* **2007**, *103*, 1494–1501. [CrossRef]
20. Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* **1999**, *26*, 1231–1237. [CrossRef]
21. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* **1995**, *28*, 25–30. [CrossRef]
22. Gao, X.; Ohlander, M.; Jeppsson, N.; Björk, L.; Trajkovski, V. Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, *48*, 1485–1490. [CrossRef]
23. ISO-12966-2; Animal and Vegetable Fats and Oils—Gas Chromatography of Fatty Acid Methyl Esters—Part 2: Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2017.
24. Sánchez-Rodríguez, L.; Kranjac, M.; Marijanović, Z.; Jerković, I.; Corell, M.; Moriana, A.; Carbonell-Barrachina, A.; Sendra, E.; Hernández, F. Quality attributes and fatty acid, volatile and sensory profiles of “Arbequina” hydroSOSustainable olive oil. *Molecules* **2019**, *24*, 2148. [CrossRef] [PubMed]
25. Sánchez-Rodríguez, L.; Kranjac, M.; Marijanović, Z.; Jerković, I.; Pérez-López, D.; Carbonell-Barrachina, A.; Hernández, F.; Sendra, E. Arbequina olive oil composition is affected by the application of regulated deficit irrigation during pit hardening stage. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2020**, *97*, 449–462. [CrossRef]
26. NIST. National Institute of Standards and Technology Chemistry WebBook. Available online: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (accessed on 15 July 2022).
27. IOC. International Olive Council: Trade Standard on Olive Oils and Olive-Pomace Oils. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/chemistry-standardisation-unit/standards-and-methods/> (accessed on 15 July 2022).

28. Ahumada-Orellana, L.E.; Ortega-Farías, S.; Searles, P.S. Olive oil quality response to irrigation cut-off strategies in a super-high density orchard. *Agric. Water Manag.* **2018**, *202*, 81–88. [\[CrossRef\]](#)
29. del Campo, M.G.; García, J.M. Summer deficit-irrigation strategies in a hedgerow olive cv. Arbequina orchard: Effect on oil quality. *J. Agric. Food Chem.* **2013**, *61*, 8899–8905. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
30. Sena-Moreno, E.; Cabrera-Bañegil, M.; Rodríguez, J.M.P.; De Miguel, C.; Prieto, M.H.; Martín-Vertedor, D. Influence of water deficit in bioactive compounds of olive paste and oil content. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2018**, *95*, 349–359. [\[CrossRef\]](#)
31. Shavakhi, F.; Rahmani, A.; Moradi, P. Characterization of Iranian olive oils based on biophenolic minor polar compounds and their contribution to organoleptic properties. *Yuzuncu Yil Univ. J. Agric. Sci.* **2021**, *31*, 365–376. [\[CrossRef\]](#)
32. Dag, A.; Naor, A.; Ben-Gal, A.; Harlev, G.; Zipori, I.; Schneider, D.; Birger, R.; Peres, M.; Gal, Y.; Kerem, Z. The effect of water stress on super-high- density ‘Koroneiki’ olive oil quality. *J. Sci. Food Agric.* **2014**, *95*, 2016–2020. [\[CrossRef\]](#)
33. Hernández, M.L.; Velázquez-Palmero, D.; Sicardo, M.D.; Fernández, J.E.; Diaz-Espejo, A.; Martínez-Rivas, J.M. Effect of a regulated deficit irrigation strategy in a hedgerow ‘Arbequina’ olive orchard on the mesocarp fatty acid composition and desaturase gene expression with respect to olive oil quality. *Agric. Water Manag.* **2018**, *204*, 100–106. [\[CrossRef\]](#)
34. Rondanini, D.P.; Castro, D.N.; Searles, P.S.; Rousseaux, M.C. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas y Aceites* **2011**, *62*, 399–409. [\[CrossRef\]](#)
35. Jukić Špika, M.; Perica, S.; Žanetić, M.; Škevin, D. Virgin Olive Oil Phenols, Fatty Acid Composition and Sensory Profile: Can Cultivar Overpower Environmental and Ripening Effect? *Antioxidants* **2021**, *10*, 689. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
36. Rumora, A.E.; Lograsso, G.; Hayes, J.M.; Mendelson, F.E.; Tabbey, M.A.; Haidar, J.A.; Lentz, S.I.; Feldman, E.L. The Divergent Roles of Dietary Saturated and Monounsaturated Fatty Acids on Nerve Function in Murine Models of Obesity. *J. Neurosci.* **2019**, *39*, 3770–3781. [\[CrossRef\]](#)
37. Ulbricht, T.L.V.; Southgate, D.A.T. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* **1991**, *338*, 985–992. [\[CrossRef\]](#)
38. da Silva, M.D.G.; Freitas, A.M.C.; Cabrita, M.J.; Garcia, R. *Olive Oil Composition: Volatile Compounds. Olive Oil: Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions*; InTech: Rijeka, Croatia, 2012; pp. 17–46.
39. Servili, M.; Montedoro, G. Contribution of phenolic compounds to virgin olive oil quality. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2002**, *104*, 602–613. [\[CrossRef\]](#)
40. Angerosa, F.; Servili, M.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Montedoro, G.F. Volatile compounds in virgin olive oil: Occurrence and their relationship with the quality. *J. Chromatogr. A.* **2004**, *1054*, 17–31. [\[CrossRef\]](#)
41. Kalua, C.M.; Allen, M.S.; Bedgood, D.R., Jr.; Bishop, A.G.; Prenzler, P.D.; Robards, K. Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: A critical review. *Food Chem.* **2007**, *100*, 273–286. [\[CrossRef\]](#)
42. Garrido-Delgado, R.; del Mar Dobao-Prieto, M.; Arce, L.; Valcárcel, M. Determination of volatile compounds by GC–IMS to assign the quality of virgin olive oil. *Food Chem.* **2015**, *187*, 572–579. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
43. Gómez-Rico, A.; Salvador, M.D.; La Greca, M.; Fregapane, G. Phenolic and volatile compounds of extra virgin olive oil (*Olea europaea* L. Cv. Cornicabra) with regard to fruit ripening and irrigation management. *J. Agric. Food Chem.* **2006**, *54*, 7130–7136. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
44. Stefanoudaki, E.; Williams, M.; Chartzoulakis, K.; Harwood, J. Effect of Irrigation on Quality Attributes of Olive Oil. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 7048–7055. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)



Article

Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation

José Miguel García-Garvía ¹, Luis Noguera-Artiaga ¹ , Francisca Hernández ² , Antonio José Pérez-López ³ , Armando Burgos-Hernández ⁴ and Ángel A. Carbonell-Barrachina ^{1,*}

¹ Research Group “Food Quality and Safety”, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Miguel Hernández University of Elche, Carretera de Beniel, Km 3.2, 03312 Orihuela, Spain; jose.ggarvi@umh.es (J.M.G.-G.); lnoguera@umh.es (L.N.-A.)

² Department of Plant Sciences and Microbiology, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Miguel Hernández University of Elche, Carretera de Beniel, Km 3.2, 03312 Orihuela, Spain; francisca.hernandez@umh.es

³ Department of Food Technology and Nutrition, Catholic University of San Antonio, Campus de los Jerónimos s/n, Guadalupe, 30107 Murcia, Spain; ajperez@ucam.edu

⁴ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo 1658, Mexico; armando.burgos@unison.mx

* Correspondence: angel.carbonell@umh.es

Abstract: Olive oil is one of the basic products in the Mediterranean diet, and, due to its nutritional value, it is becoming more and more widespread in the world. Even though it has traditionally been a rainfed crop, farmers are currently transforming their plantations into super-high-density orchards to increase production. However, the increasingly acute drought in Mediterranean countries forces the establishment of water control mechanisms that allow restriction the contribution of water without undermining the properties of the products obtained. Under this concept, hydroSOS crops and products arose. This study aims to analyze the influence of the application of deficit irrigation on the olive oil obtained from the *Arbequina* and *Arbosana* varieties. The sensory parameters descriptive profile and consumers satisfaction degree were measured using trained and consumers’ panels, and the chemical parameters peroxide index, fatty acids, and volatile profile were analyzed using the methods from the International Olive Oil Council and gas chromatography. The experimental results showed that applying this type of irrigation leads to an oil that is more valued by consumers, with a higher concentration of aromatic compounds related with a greener aroma (hexanol, *trans*-2-hexen-1-ol, hexanal), a higher content of polyunsaturated fatty acids, and greater antioxidant capacity. Deficit irrigation strategies led to environmentally friendly olive oil with high acceptance by Spanish consumers.

Keywords: *Olea europaea*; *Arbequina*; *Arbosana*; consumer study; sensory analysis; hydroSOS



Citation: García-Garvía, J.M.; Noguera-Artiaga, L.; Hernández, F.; Pérez-López, A.J.; Burgos-Hernández, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation. *Horticulturae* **2023**, *9*, 557. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050557>

Academic Editor: Rossano Massai

Received: 17 March 2023

Revised: 25 April 2023

Accepted: 4 May 2023

Published: 6 May 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Olive oil is one of the most recognized Spanish products worldwide. In 2021, the olive grove harvested area in Spain occupied 2.62 million ha, representing 52% of the total harvested surface in the European Union and 25% worldwide [1]. Olive production is located mainly in the Mediterranean basin due to its good adaptation to climatic conditions of this region [2]. The olive oil sector is a fundamental pillar in the Spanish agri-food system, as indicated by the fact that the Spanish olive oil production accounts for 70% and 45% of European and world productions, respectively. Olive oil represents 93% of the total olive production, with the other 7% belonging to table olives [3]. Olive oil consumption has increased worldwide due to its beneficial health properties (e.g., healthy fatty acids profile and high content of antioxidant compounds) [4]; this reputation has led the Food and Agriculture Organization of the United Nations to recommend its consumption [5].

In last years, the olive oil cultivation system is suffering changes, from traditional rainfed orchards to super-high-density orchards, which have high needs of irrigation

water; this new type of olive orchards has been growing ~25% each year [6]. Super-high-density orchards generate environmental problems, such as the lack of diversity because local varieties are not well-adapted to this practice [7], or the increase in the demand for irrigation water [8]. In this sense, different agricultural management strategies have been developed to reduce the volume of irrigation water needed, but without jeopardizing the oil yield, such as sustained deficit irrigation (SDI), which is based on a uniform water restriction during the production cycle of the olive trees, and regulated deficit irrigation (RDI), in which the water restriction is only applied in the less susceptible phenological periods, such as pit hardening in the case of the olive trees [9]. These irrigation techniques require precise irrigation control facilities, as well as knowledge of the different parameters on which the irrigation water reduction can be applied, such as the evapotranspiration coefficients [10].

In order to contribute to the United Nations Sustainable Development Goals, specifically, with goal n° 12 “Responsible consumption and production” [11], the hydroSOSustainable brand was created by the Food Safety and Quality research group of the Miguel Hernández University to increase the visibility of producers that incorporate these irrigation strategies. Sánchez-Bravo et al. [12] established an index to grant this brand correctly, attending to different parameters, such as composition, climatological conditions, and irrigation water consumption.

Several effects have been observed and reported in olive-based products when deficit irrigation was implemented in their production. It is important to mention that the quality of olive oil is measured using both the chemical and sensory information as defined by the International Olive Oil Council. For instance, in olive oil, the reduction in irrigation water has generated an increase in oil yield and tocopherols content [13,14], maintaining physicochemical and sensory quality [15,16]. Regarding table olives prepared by the Spanish style method [17], effects on some morphological changes were observed [18], as well as in their antioxidant activity and total phenolic content [9]. With this type of product, a consumer study was carried out to know how deficit irrigation treatment could modify consumers’ perception and preference, showing that the application of water stress did not generate changes in the preference and liking of different sensory attributes [19].

Despite the high number of consumer studies already conducted using conventional olive oil [20,21], there is still a lot of work to be performed to inform consumers about the benefits behind the quality mark “hydroSOSustainable products” and their opinion when comparing products obtained using hydroSOSustainable strategies with well-known commercial oils highly accepted, bought, and used by consumers.

The aim of this study was to compare the consumers’ opinions, the sensory profiles, and the main qualities and nutritional parameters of two hydroSOSustainable olive oils (*Arbequina* and *Arbosana* varieties) with a control sample (*Arbequina* conventional). To reach this aim, the volatile composition, the fatty acids profile, and the antioxidant and total phenolic content were analyzed using GC-MS, GC-FID, and spectrophotometry, respectively. In addition, trained and consumer panels were used to evaluate the sensory profile and the consumers’ liking for the three oils under study.

2. Materials and Methods

2.1. Olive Oil Samples

Three olive oil samples were obtained from Experimental Orchard “Finca La Matilla” (Carmona, Seville, Spain: 37.429459, −5.725373). The orchard has a super-high density (4.0 m × 1.5 m), and 60 trees organized in 3 lines (30 m) were used for each of the three treatments evaluated. Climatic data were taken from the *La Rinconada* meteorological station.

This farm only had conventional irrigation for the *Arbequina* trees, while they had changed to hydroSOSustainable strategies in both *Arbequina* and *Arbosana* olive trees; these are two of the most cultivated olives varieties in super-high-density cultivation. Thus, the experimental design lacked an *Arbosana* control, but it was important to compare these

three types of olive oil because they were cultivated in the same soil and under the same climatic conditions.

A drip irrigation system was used, treatment was controlled independently, and water was supplied based on calculated water needs. Stem water potential at midday (Ψ) was weekly determined using a pressure chamber (PMS Instrument Company, Albany, OR, USA) in 4 trees per irrigation treatment. The irrigation treatments were controlled following the pressure chamber technique and the threshold value of midday stem water potential—2.0 MPa during stage II [9]. Two irrigation treatments were applied:

- ✓ conventional irrigation (control treatment), which had an optimum water status. Trees were watered to supply 110% of crop evapotranspiration (ETc) [10]; a total of 498 L m⁻² were applied, and;
- ✓ hydroSOS irrigation treatment, trees were under non-limited water conditions during stage I (beginning of fruit development) and III (rehydration), while regulated deficit irrigation (RDI) was applied during stage II pit hardening (70% of reduction in the total water irrigation applied in the control treatment (349 L m⁻² were applied)).

Olives were harvested when commercial maturity was achieved. Then, olive oil was produced using an olive mill model Frantoio Bio (Toscana Enologica Mori, Florence, Italy) at 40–50 kg h⁻¹, with an aqueous two-phase oil extraction system.

2.2. Consumer Study

A consumer study was carried out at Seville University with 96 olive oil consumers; consumption of this product at least three times in a week was the only recruitment requirement [17,19]. The questionnaire was virtual, using RedJade software (RedJade Sensory Solutions, LLC); this software was also used to make the randomized serving model, collect information, and conduct data processing. Each consumer evaluated the three olive oil samples under study, each one codified with three-digit numbers. The questionnaire was developed in three parts: (i) liking of different specific attributes (olive oil odor, olive oil flavor, color, fruity, bitter, pungent, aftertaste, and global score) using 9-point scales (1 = dislike it extremely to 9 = like it extremely); (ii) how consumers evaluate the intensity of attributes above mentioned, using 9-point Just About Right (JAR) scales, where 1 = much too little, 9 = much too much, and 5 = just about right; and, finally, (iii) preference questions that included a CATA (Check All That Apply) question to know which attributes the consumer considered more important to decide whether a particular olive oil was of quality and of their preference. Furthermore, all the participants had a forced-answer question to know which sample was the most preferred and about their purchase intention.

2.3. Descriptive Sensory Analysis

A descriptive sensory analysis of the olive oils under study was carried out by a trained panel from the Food Quality and Safety research group at Miguel Hernández University; the panel analyzed the following positive attributes: fruity, maturity, floral, different types of green flavor (artichoke, herbaceous and pepper), tomato, bitter astringent, and pungent. Additionally, the sensory panel analyzed the most important negative attributes (oxidized, rancid, fusty, musty, and muddy) in olive oil. This panel (5 males and 3 females) was trained using oils with the most common defects (oxidized, rancid, fusty, musty, and muddy) in one session before the test. The scale used ranged from 0 (no intensity) to 10 (extremely high intensity) with 0.5 increments. Oil samples under study were presented in official blue glass cups [22] at 28 °C, codified with three-digit numbers, and served to panelists in random order generated by RedJade software.

2.4. Quality Classification

Physico-chemical quality parameters of olive oils were determined using the methods recommended by the International Olive Council, IOC [23]. Three parameters were analyzed: (i) free acidity index [24], (ii) peroxide index [25], and (iii) ultra violet extinction

coefficients (K_{232} , K_{270} and ΔK) [26]. All these analyses were conducted using a UVG1002E UV-vis spectrophotometer (Helios, Cambridge, UK).

2.5. Volatile Compounds

Volatile compounds were isolated from the headspace of the EVOOs using the solid phase micro-extraction (SPME) technique [27]. Ten mL of the sample was added in a 15 mL glass vial with 10 μ L of 1000 ppm benzyl acetate solution as internal standard. A DVB/CAR/PDMS 50/30 μ m fiber (Supelco Company, Bellefonte, PA, USA) was inserted in the headspace for 60 min, and the sample was heated at 40 °C to simulate the mouth temperature. The volatile compounds profile was obtained using a Shimadzu GC-2030 gas chromatograph coupled with a Shimadzu TQ8040 NX mass spectrometer detector. To separate the compounds, a SLB-5 MS column (Teknokroma, Barcelona, Spain) of 30 m length, 0.25 mm internal diameter, and 0.25 μ m film thickness was used. The ramp temperature of the oven was as follows: (i) oven started at 40 °C, maintained 3 min; (ii), ramp of 5 °C min⁻¹ up to 100 °C; and (iii), ramp of 3 °C min⁻¹ up to 300 °C, maintained for 3 min.

The parameters of the mass spectrometer were: mass range 35–350 m/z, scan speed 5000 amu s⁻¹, event time 0.100 s, interface temperature 280 °C, and ion source temperature 230 °C. A commercial alkane standard mixture (C6–C20; Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany) was used to calculate the retention indexes. NIST 17 mass spectral and retention index libraries were used for the identification of compounds. Only compounds with spectral similarity >90% and with a deviation of fewer than 10 units of linear retention similarity were considered correct hits [28].

2.6. Fatty Acids Profile

Olive oil fatty acids were methylated following the International Organization for Standardization method [29]. The fatty acid C13:0 (0.04 mg mL⁻¹) was used as internal standard, and the fatty acid profile was determined using the methodology previously reported by García-Garvía et al. [27]. Briefly, methylated samples were injected in a Shimadzu GC-2030 gas chromatograph, equipped with a Supelco SP®-2380 capillary column (length 60 m, internal diameter 0.25 mm, and film thickness 0.20 μ m) coupled with a flame ionization detector (FID). The temperatures of injector and detector were 250 °C and 260 °C, respectively, and a 1:20 split ratio was used. Helium was used as carrier gas (28.4 cm s⁻¹ linear velocity), and the make-up gas was nitrogen (40 mL min⁻¹). The FID detector used 35 and 350 mL min⁻¹ of hydrogen and air, respectively. The oven temperature program started at 70 °C and finished at 250 °C, increasing at a rate of 3 °C min⁻¹, and maintained the final temperature for 3 min. Identification of fatty acids methyl esters (FAMES) was conducted by comparing retention times of sample compounds with those of the FAME Supelco MIX-37 standards (Supelco Company, Bellefonte, PA, USA).

2.7. Total Antioxidant Activity and Total Phenolic Content

The total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (AA) were analyzed with the same olive oil extract, according to García-Garvía et al. [27] method. Briefly, 3 g of olive oil was shaken for 2 min with 5 mL of extractant (methanol/water (80:20, v:v)), and the hydrophilic phase was filtered through 0.45 μ m regenerated cellulose filters (25 mm, Sartorius, Madrid, Spain). This action was carried out twice with the lipophilic phase of each sample, and both hydrophilic phases were mixed and evaporated in a rotatory vacuum evaporator at 35 °C. The residue was recovered with 1.5 mL of methanol.

Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin–Ciocalteu method [30], expressing results as mg gallic acid equivalents (GAE) L⁻¹ of olive oil. The antioxidant activity was measured by two methods: ABTS^{•+} [2,2-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] and DPPH[•] (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) [31], expressing results as mmol Trolox eq L⁻¹ of olive oil. All these analyses were conducted using a UVG1002E UV-vis spectrophotometer (Helios, Cambridge, UK).

2.8. Statistical Analysis

The processing of the results was initially carried out with one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's multiple range test. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. Penalty analysis was also conducted for affective data; it is a method that helps interpreting the data of the JAR analysis, describing how close to the optimal is the intensity of key sensory attributes, according to the consumers' opinion. The software used to perform the statistical analyses was XLSTAT Premium 2016 (Addinsoft, New York, NY, USA).

3. Results and Discussion

3.1. Consumers Study

The results of the satisfaction degree of the consumers with the key sensory attributes of olive oils together with their overall liking are presented in Table 1. Eight positive descriptors (e.g., fruity) were analyzed, and significant differences were found in all of them. A trained panel evaluated the three oils under study and concluded that no defects were present; thus, defects were not included in the affective study. Consumers showed a higher satisfaction degree for all the studied descriptors in the *Arbequina* hydroSOS oil; the highest differences were found for the olive oil's odor (1.4 points of difference) and olive oil's color (2 points of difference).

Table 1. Consumers liking values of key sensory attributes of the olive oils under study.

Sensory Attribute	ANOVA [†]	<i>Arbequina</i> Conventional	<i>Arbequina</i> HydroSOS	<i>Arbosana</i> HydroSOS
Olive oil odor	***	5.4 ^{b,‡}	6.8 ^a	6.0 ^b
Olive oil flavor	***	5.5 ^b	6.4 ^a	5.8 ^{a,b}
Fruity	*	5.0 ^b	5.9 ^a	5.6 ^{a,b}
Bitterness	*	4.6 ^b	5.5 ^a	5.0 ^{a,b}
Pungent	*	4.6 ^b	5.5 ^a	5.3 ^{a,b}
Aftertaste	*	5.3 ^b	6.3 ^a	5.8 ^{a,b}
Olive oil color	*	5.1 ^b	7.1 ^a	6.6 ^a
Overall liking	**	5.3 ^b	6.3 ^a	5.8 ^{a,b}

[†], *, **, and *** significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively. [‡] Values followed by the same letter, within the same row and factor, were not significantly different, according to Tukey's least significance test.

Consumers showed a higher preference for the two hydroSOS oils, with 46% of the consumers preferring the *Arbequina* sample compared to 30% of them preferring the *Arbosana* and only 24% preferring the control sample. The IOC does not consider the oil color as a quality parameter, and thus they do not incorporate the descriptor "color" in their tasting questionnaire. However, there is no doubt that color is an important descriptor for the characterization of an oil, and it is also important for consumer opinion and their purchase intentions [23]. It is important to note that the two hydroSOS samples had higher satisfaction values compared to the control sample. The color was considered by consumers as the second most important sensory parameter (55%, indicated that color was a key factor for them in deciding whether they liked the sample) in driving their satisfaction on the olive oil, just after the characteristic oil flavor (85%), and was very close to aftertaste (52%).

The penalty analysis (PA) test is a sensory data analysis to identify the potential directions for the improvement of products, i.e., it helps in determining attributes that can be improved to satisfy consumer demands and needs. Considering the results of this test, the best EVOO was the *Arbequina* hydroSOS oil (B); consumers only thought that it was slightly too bitter. However, for the control sample (*Arbequina* conventional, A), more than 30% of consumers considered color, odor, flavor, bitterness, fruity, and aftertaste to have lower intensities than expected. Finally, the *Arbosana* hydroSOS oil (C) was also penalized by consumers for having low odor, flavor, fruity, aftertaste, and having too much bitterness (Figure 1).

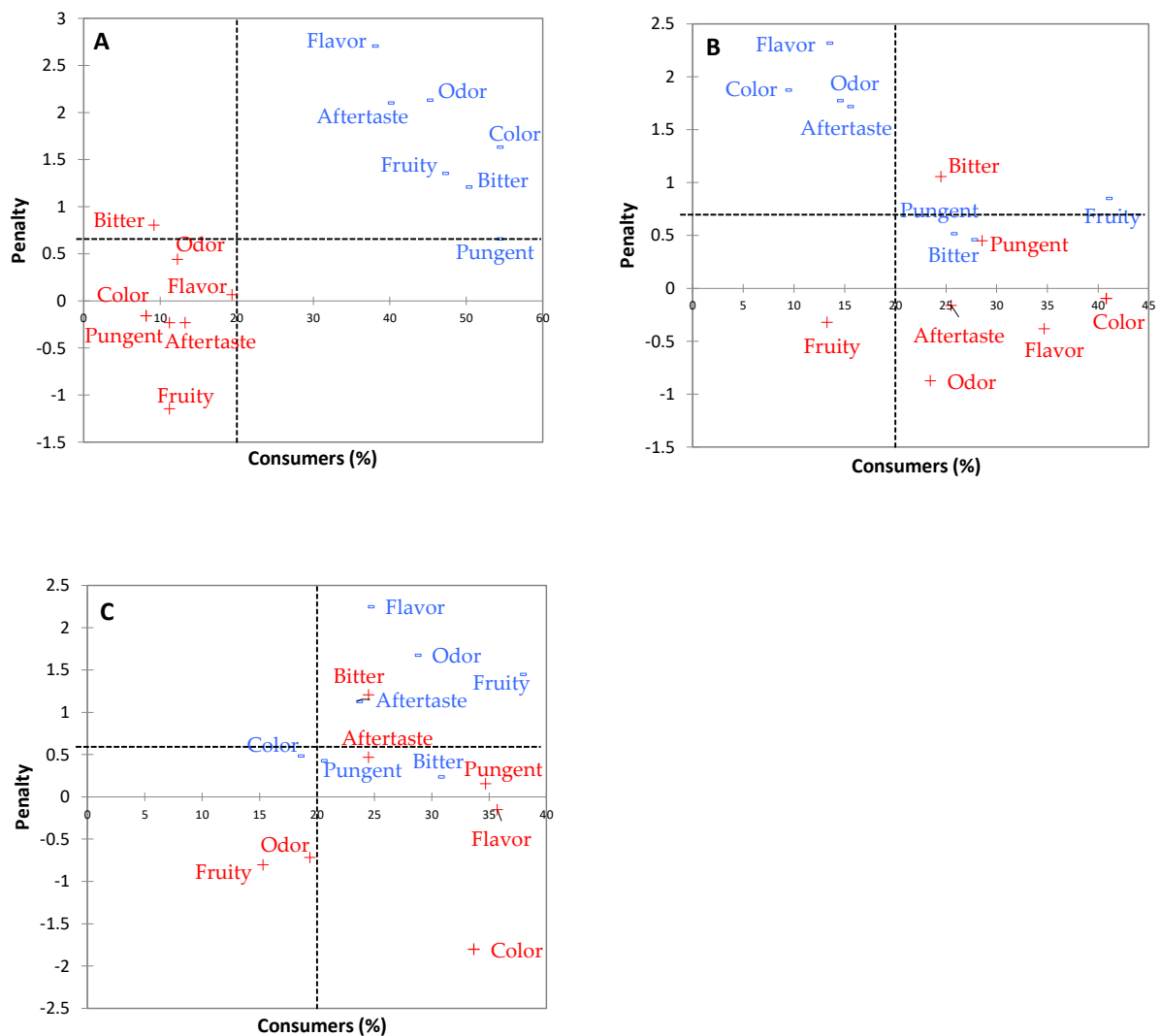


Figure 1. Penalty analysis (x-axis: effect on the average; y-axis: percentage of consumers) of conventional Arbequina (A), hydroSOS Arbequina (B), and hydroSOS Arbosana (C) extra virgin olive oils. Blue (-) and red (+) colors are used for those attributes having too low or too high intensity, according to consumer opinion.

3.2. Descriptive Sensory Analysis

There were statistically significant differences in six out of the eleven attributes evaluated (Table 2). In general, the hydroSOS olive oils had higher intensities of tomato flavor and higher pungencies but lower bitterness compared to the control sample. The *Arbequina* hydroSOS oil had the lowest value of fruity (3.0) while the *Arbosana* hydroSOS oil had the highest intensity of ripeness (6.6). Ripe oil flavors are related to the highest ripening state of olive oils at the moment of the oil extraction and remind consumers about ripe olives.

In previous studies, no significant effects of the irrigation treatment on the sensory profile of olive oils were found [32,33]; these differences can be due to, among other factors, the intensity of the water stress generated in the olive trees or the time when water restriction was applied.

The trained panel did not find any defects (oxidized, rancid, fusty, musty, and muddy) in the samples under study. Considering this sensory information, the samples under study can be classified as extra virgin olive oils (EVOOs).

Table 2. Descriptive sensory profiles of the olive oils under study as described by a trained panel; a scale from 0 (no intensity) to 10 (extremely high intensity), with increments of 0.5, was used.

Sensory Attribute	ANOVA [†]	<i>Arbequina</i> Conventional	<i>Arbequina</i> HydroSOS	<i>Arbosana</i> HydroSOS
Fruity	**	3.8 a,‡	3.0 b	3.8 a
Maturity: Green	**	4.9 a	5.0 a	3.4 b
Maturity: Ripe	*	5.1 b	5.0 b	6.6 a
Floral	N.S.	0.1	0.2	0.1
Green (artichoke)	N.S.	0.4	0.1	0.2
Green (herbaceous)	N.S.	0.2	0.2	0.1
Green (pepper)	N.S.	0.2	0.9	0.1
Tomato	*	0.5 b	1.1 a	1.4 a
Bitter	**	1.4 a	0.5 b	0.5 b
Astringent	N.S.	0.1	0.1	0.1
Pungent	*	1.0 b	1.5 a	1.9 a
Oxidized	N.S.	0	0	0.1
Rancid	N.S.	0	0	0
Fusty	N.S.	0	0	0
Musty	N.S.	0	0	0
Muddy	N.S.	0	0	0
Commercial Classification		EVOO	EVOO	EVOO

[†] N.S. not significant at $p > 0.05$. * and ** significant at $p < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively. ‡ Values followed by the same letter, within the same row, were not significantly different, according to the Tukey's least significant test.

3.3. Quality Parameters

All of the samples were classified as Extra Virgin Olive Oil (EVOO) because they met all IOC requirements (International Olive Council) regarding commercial category regulation [23] (Table 3). The experimental values of the free acidity (expressed as % of oleic acid) showed that *Arbequina* conventional olive oil had the highest value, 0.485%, and both hydroSOS samples had lower values (0.212% and 0.281%). This quality parameter was related with the oil extraction process [34], ripeness stage of olives, and stability against oxidation [35], and the IOC maximum threshold was 0.8% for the EVOOs category. Other authors showed that deficit irrigation strategies could cause slight decreases on the amount of free fatty acids, which are linked to the free acidity [13,32].

Table 3. Commercial quality parameters established by International Olive Council for olive oils.

Parameters	ANOVA [†]	<i>Arbequina</i> Conventional	<i>Arbequina</i> HydroSOS	<i>Arbosana</i> HydroSOS	Values IOC
Free acidity (%)	*	0.485 a,‡	0.212 b	0.281 b	≤0.8
Peroxide Index (meq O ₂ Kg ^{−1})	*	13.67 b	16.46 a	13.40 b	≤20
K ₂₃₂	*	1.28 b	1.45 a,b	2.06 a	≤2.5
K ₂₇₀	N.S.	0.066	0.066	0.046	≤0.22
ΔK	N.S.	−0.012	0.003	0.006	≤0.01
Commercial Classification		AOVE	AOVE	AOVE	AOVE

[†] N.S. not significant at $p > 0.05$. * significant at $p < 0.05$. ‡ Values followed by the same letter, within the same row and factor, were not significantly different, according to the Tukey's least significant test. IOC: International Olive Council.

The peroxide index, a quality parameter related to the occurrence of damaged olives, initial oxidation [36], and/or incorrect extraction process [37], showed significant differences among the studied oils; the maximum allowed values were set at 20 meq O₂ kg^{−1}. In this sense, all samples were below this threshold, with the *Arbequina* hydroSOS oil having the highest value (16.46 meq O₂ kg^{−1}). Servili et al. [38] determined that the application of

deficit irrigation generated only minor changes in peroxide value, not affecting significantly to the classification of the obtained oils.

The ultraviolet extinction coefficients (K_{232} , K_{270} and ΔK) were affected by the storage conditions [39]. In this way, K_{232} was related with primary oxidation, produced by the generation of hydroperoxides of linoleic acids, conjugated dienes, and carboxylic compounds, while K_{270} was related with to the secondary oxidation produced by the generated conjugated trienes [40]. For an olive oil to be considered as EVOO, the maximum values set by IOC for these parameters (K_{232} , K_{270} , and ΔK) were 2.50, 0.22, and 0.01, respectively. In this case, only statistically significant differences were found for the K_{232} parameter, although all values were below the previously mentioned IOC threshold. Similar results were previously reported by García-Garvía et al. [27].

3.4. Volatile Compounds

Volatile compounds are responsible for key positive aromas and flavor notes of EVOO, including fruity, floral, green, and tomato [27,41]; however, they are also responsible for the defects, if present. In this case, eleven volatile compounds were found in the olive oils under study, with four of them having significant differences (Table 4).

Table 4. Volatile compounds profile obtained by GC-MS in olive oil (mg 100 mL^{−1}).

Compound	Sensory Descriptor [42,43]	ANOVA [†]	Arbequina Conventional	Arbequina HydroSOS	Arbosana HydroSOS
Hexanal	Green apple	**	51.59 c,‡	102 ^b	116 ^a
<i>trans</i> -2-Hexenal	Bitter almonds, green fruity	*	332 ^b	339 ^b	369 ^a
<i>trans</i> -2-Hexen-1-ol	Grass, astringent, bitter	**	164 ^b	199 ^a	202 ^a
1-Hexanol	Fruity	**	576 ^b	688 ^a	695 ^a
2,4-Hexadienal	Fresh, green, floral	N.S.	1.78	1.89	1.68
Hexanoic acid	Sweet, rancid, sour	N.S.	1.03	0.59	0.72
<i>cis</i> -3-Hexen-1-ol acetate	Green, fruity	N.S.	125	119	122
Hexyl acetate	Green, apple, fruity	N.S.	35.4	35.05	33.3
Limonene	Citrus	N.S.	9.06	8.88	11.86
Nonanal	Nutty, citrus	N.S.	8.01	8.93	8.37
Ethyl dodecanoate	Waxy, floral, fruity	N.S.	0.29	0.23	0.19
TOTAL		*	1305 ^b	1501 ^a	1559 ^a

[†] N.S. not significant at $p > 0.05$. * and ** significant at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. [‡] Values followed by the same letter, within the same row and factor, were not significantly different, according to the Tukey's least significance test.

The control sample (*Arbequina* conventional) had the lowest total concentration (576 mg 100 mL^{−1}), while both of the hydroSOS EVOOs had higher and equivalent values. Bubola et al. [13] concluded that different irrigation strategies significantly changed the volatile profile of Croatian olive oils. Similar results have been also reported by other authors [13,27,33]. The four predominant compounds were (in order of abundance): 1-hexanol, *trans*-2-hexenal, *trans*-2-hexen-1-ol, and *cis*-3-hexen-1-ol acetate.

In all samples under study, 1-hexanol was the most abundant compound, and it is one of the compounds contributing to the fruity character of the EVOOs [42]. 1-Hexanol, *trans*-2-hexenal, and *trans*-2-hexen-1-ol were more abundant in both hydroSOS EVOO, especially in the *Arbosana* one. *trans*-2-Hexenal and *trans*-2-hexen-1-ol were mainly associated with green fruity and green grass flavor notes [15,42], respectively.

3.5. Fatty Acids Profile

Thirteen fatty acids were found in samples under analysis (Table 5). The predominant fatty acid was oleic acid (C18:1 c9), as expected, with contents ranging from 61.68 and 70.31% in *Arbequina* hydroSOS and conventional oils, respectively; these values of oleic acid were similar to those previously reported in oils from the same variety [44,45]. At the same time, *Arbequina* hydroSOS had the highest concentrations of palmitic acid (C16:0) and linoleic

acid (C18:2 n6c). Some authors evaluated the effects of climatic and agricultural practices such as irrigation on fatty acid profiles [32,44,45], and the most affected compounds were the oleic and palmitic acids. To avoid fraudulent mixtures with other oil types, the IOC established the maximum and minimum contents of each fatty acid in EVOOs [23]. In this sense, oleic acid must be between 55% and 85%, palmitic acid between 7% and 20%, and linoleic acid between 2.5% and 21%. All three olive oils under analysis here had fatty acid concentrations within these official limits.

Table 5. Fatty acids profile of olive oils.

Fatty Acid	ANOVA [†]	<i>Arbequina</i> Conventional	<i>Arbequina</i> HydroSOS	<i>Arbosana</i> HydroSOS
C14:0	N.S.	0.01	0.02	0.01
C16:0	***	13.28 c,‡	17.43 a	16.74 b
C16:1 c9	**	0.13 b	0.14 a	0.067 c
C16:1 c9	***	1.22 b	1.53 a	1.53 a
C17:0	*	0.08 c	0.15 a	0.18 a
C17:1	***	0.16 c	0.28 b	0.35 a
C18:0	***	2.53 a	1.86 c	2.15 b
C18:1 c9	***	70.31 a	61.68 c	66.92 b
C18:1 t11	**	2.10 b	3.17 a	2.85 a
C18:2 n6c	***	9.39 b	12.70 a	8.29 c
C18:3 n3	***	0.39 c	0.61 a	0.44 b
C20:1 n9	N.S.	0.30	0.33	0.31
C22:0	N.S.	0.11	0.12	0.16
SFA	***	16.01 b	19.57 a	19.24 a
MUFA	**	74.21 a	67.12 b	72.03 a
PUFA	***	9.78 b	13.31 a	8.73 b

[†] N.S. not significant at $p > 0.05$. *, **, and *** significant at $p < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively. [‡] Values followed by the same letter, within the same row, were not significantly different, according to the Tukey's least significant test. SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids.

Monounsaturated fatty acids (MUFAs) were the most abundant family in the three samples under study, with the *Arbequina* hydroSOS oil having the lowest total content of 67.12%. However, this same sample had the highest content of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), which compensated for the decrease in MUFAs. These two families (MUFAs and PUFAs) are related with several health benefit characteristics of the Mediterranean diet, such as neuronal mitochondrial protection [46]. On the other hand, in this particular case, the application of a deficit irrigation strategy in a super-high-density olive orchard significantly increased the content of saturated fatty acids (SFAs).

3.6. Antioxidant Activity and Total Phenol Content

The antioxidant activity of the oils under analysis are shown in Table 6, and statistically significant differences were found for both studied methods: ABTS⁺ and DPPH[•]. In general, the experimental values found in the current study were similar to those reported by other authors in olive oils obtained from *Arbequina* [27,47] and other olive varieties [44]. *Arbequina* hydroSOS showed the highest values of both methods, although differences were only significant for ABTS⁺, implying that water stress in *Arbequina* olive trees could produce an increase in the antioxidant activity of the final olive oils.

In a similar way, the *Arbequina* hydroSOS olive oil had the highest value of the TPC (111 mg GAE L⁻¹). This increment could be due to a defensive strategy against hydric stress generated by the deficit irrigation applied, as has been previously observed and reported by other authors [48]. Furthermore, it is necessary to mention that it has been clearly demonstrated that the accumulation of phenolic compounds can be influenced by climatic conditions and/or agricultural practices, including the implementation of deficit irrigation strategies [49,50].

Table 6. Antioxidant activity and total phenolic obtained in olive oils.

	ANOVA [†]	<i>Arbequina</i> Conventional	<i>Arbequina</i> HydroSOS	<i>Arbosana</i> HydroSOS
ABTS ⁺ (mmol Trolox L ^{−1})	**	0.273 ^{b,‡}	0.402 ^a	0.275 ^b
DPPH• (mmol Trolox L ^{−1})	**	0.407 ^{a,b}	0.515 ^a	0.347 ^b
TPC (mg GAE L ^{−1})	**	90.3 ^b	111 ^a	76.1 ^b

[†], ** significant at $p < 0.01$. [‡] Values followed by the same letter, within the same row, were not significantly different, according to the Tukey's least significant test. TPC: Total phenol content.

4. Conclusions

HydroSOS olive oils had higher concentrations of key volatile compounds (e.g., 1-hexanol and *trans*-2-hexen-1-ol) determining oil greenness. Additionally, these environmentally friendly oils had higher antioxidant capacities in the products due to their higher total polyphenol contents and their contents of polyunsaturated fatty acids. Finally, this study demonstrated that consumers like hydroSOS olive oils due to adequate intensities of fruity, the characteristic olive oil odor and flavor, and aftertaste. It can be stated that deficit irrigation applied to olive cultivation can save an important volume of water (~30% of applied water) and has demonstrated to produce extra virgin olive oils of a good quality that are highly appreciated by consumers. This information is essential to: (i) demonstrate that consumers appreciate hydroSOS sustainable products, (ii) convince more farmers of the potential of these products, and to start implementing deficit irrigation strategies.

Author Contributions: Conceptualization, F.H., A.J.P.-L., and Á.A.C.-B.; Funding acquisition, A.J.P.-L.; Investigation, J.M.G.-G. and L.N.-A.; Methodology, J.M.G.-G.; Project administration, Á.A.C.-B.; Supervision, F.H. and A.B.-H.; Validation, F.H. and A.B.-H.; Writing—original draft, J.M.G.-G. and L.N.-A.; Writing—review and editing, A.B.-H. and Á.A.C.-B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: José Miguel García-Garvía was funded by the grant for hiring a researcher in training from the Vice-rectorate for Research of the Miguel Hernández University. The GC-MS and GC-FID had been acquired thanks to the grant EQC2018-004170-P funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by ERDF A way of making Europe. Authors want to thank Generalitat Valenciana (Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital) for funding the research group “Food Quality and Safety, CSA” through the project REF. AICO/2021/326.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Miguel Hernández University of Elche Ethics Committee in 2022.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study. None of the data shared in this article can lead to the identification of any of the participants.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: Olive oil samples were donated by the “la Matilla” Experimental Orchard (Seville, Spain). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) for ceding the facilities and staff for the consumer study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. FAO. Crops and Livestock Products. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 3 May 2023).
2. IOC. The Olive Tree. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/olive-world/olive-tree/> (accessed on 3 May 2023).
3. MAPA. Aceite de Oliva y Aceituna de Mesa. Available online: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite>. (accessed on 3 May 2023).
4. Lombardo, L.; Grasso, F.; Lanciano, F.; Loria, S.; Monetti, E. Chapter 2—Broad-Spectrum Health Protection of Extra Virgin Olive Oil Compounds. In *Studies in Natural Products Chemistry*; Atta ur, R., Ed.; Elsevier: Oxford, UK, 2018; Volume 57, pp. 41–77.
5. FAO. Food-Based Dietary Guidelines—Spain. Available online: <http://www.fao.org/nutrition/education/food-dietary-guidelines/regions/countries/Spain/en> (accessed on 3 May 2023).

6. Guerrero-Casado, J.; Carpio, A.J.; Tortosa, F.S.; Villanueva, A.J. Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Sci. Total Environ.* **2021**, *798*, 149212. [CrossRef] [PubMed]
7. Morgado, R.; Santana, J.; Porto, M.; Sánchez-Oliver, J.S.; Reino, L.; Herrera, J.M.; Rego, F.; Beja, P.; Moreira, F. A Mediterranean silent spring? The effects of olive farming intensification on breeding bird communities. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2020**, *288*, 106694. [CrossRef]
8. Rodríguez-Cohard, J.C.; Sánchez-Martínez, J.D.; Garrido-Almonacid, A. Strategic responses of the European olive-growing territories to the challenge of globalization. *Eur. Plan. Stud.* **2020**, *28*, 2261–2283. [CrossRef]
9. Sánchez-Rodríguez, L.; Lipan, L.; Andreu, L.; Martín-Palomo, M.J.; Carbonell-Barrachina, Á.A.; Hernández, F.; Sendra, E. Effect of regulated deficit irrigation on the quality of raw and table olives. *Agric. Water Manag.* **2019**, *221*, 415–421. [CrossRef]
10. Corell, M.; Pérez-López, D.; Andreu, L.; Recena, R.; Centeno, A.; Galindo, A.; Moriana, A.; Martín-Palomo, M.J. Yield response of a mature hedgerow oil olive orchard to different levels of water stress during pit hardening. *Agric. Water Manag.* **2022**, *261*, 107374. [CrossRef]
11. United Nations. Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World. Available online: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (accessed on 3 May 2023).
12. Sánchez-Bravo, P.; Chambers, E.; Noguera-Artiaga, L.; Sendra, E.; Chambers, E.; Carbonell-Barrachina, Á.A. How Consumers Perceive Water Sustainability (HydroSOSustainable) in Food Products and How to Identify It by a Logo. *Agronomy* **2020**, *10*, 1495. [CrossRef]
13. Bubola, K.B.; Kolega, Š.; Marčelić, Š.; Šikić, Z.; Pinto, A.G.; Zorica, M.; Klisović, D.; Novoselić, A.; Špika, M.J.; Kos, T. Effect of Different Watering Regimes on Olive Oil Quality and Composition of Coratina Cultivar Olives Grown on Karst Soil in Croatia. *Foods* **2022**, *11*, 1767. [CrossRef]
14. Pierantozzi, P.; Torres, M.; Tivani, M.; Contreras, C.; Gentili, L.; Mastio, V.; Parera, C.; Maestri, D. Yield and chemical components from the constitutive parts of olive (cv. Genovesa) fruits are barely affected by spring deficit irrigation. *J. Food Compos. Anal.* **2021**, *102*, 104072. [CrossRef]
15. Sánchez-Rodríguez, L.; Kranjac, M.; Marijanović, Z.; Jerković, I.; Corell, M.; Moriana, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A.; Sendra, E.; Hernández, F. Quality attributes and fatty acid, volatile and sensory profiles of “Arbequina” hydrosustainable olive oil. *Molecules* **2019**, *24*, 2148. [CrossRef]
16. Rufat, J.; Romero-Aroca, A.J.; Arbonés, A.; Villar, J.M.; Hermoso, J.F.; Pascual, M. Mechanical Harvesting and Irrigation Strategy Responses on ‘Arbequina’ Olive Oil Quality. *HortTechnology Hortte* **2018**, *28*, 607–614. [CrossRef]
17. Cano-Lamadrid, M.; Girón, I.F.; Pleite, R.; Burló, F.; Corell, M.; Moriana, A.; Carbonell-Barrachina, A.A. Quality attributes of table olives as affected by regulated deficit irrigation. *LWT-Food Sci. Technol.* **2015**, *62*, 19–26. [CrossRef]
18. Sánchez-Rodríguez, L.; Corell, M.; Hernández, F.; Sendra, E.; Moriana, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. Effect of Spanish-style processing on the quality attributes of HydroSOSustainable green olives. *J. Sci. Food Agric.* **2019**, *99*, 1804–1811. [CrossRef] [PubMed]
19. Sánchez-Rodríguez, L.; Cano-Lamadrid, M.; Carbonell-Barrachina, Á.A.; Sendra, E.; Hernández, F. Volatile Composition, Sensory Profile and Consumer Acceptability of HydroSOSustainable Table Olives. *Foods* **2019**, *8*, 470. [CrossRef] [PubMed]
20. Carlucci, D.; Roselli, L.; Giannoccaro, G.; Cavallo, C.; Del Giudice, T.; Vecchio, R.; Cicia, G.; De Gennaro, B.C. Consumer acceptance of innovations in traditional foods: The case of extra-virgin olive oil. *Br. Food J.* **2023**, *125*, 1–17. [CrossRef]
21. Latino, M.E.; De Devitiis, B.; Corallo, A.; Viscecchia, R.; Bimbo, F. Consumer Acceptance and Preference for Olive Oil Attributes—A Review. *Foods* **2022**, *11*, 3805. [CrossRef] [PubMed]
22. IOC. Glass for Oil Tasting. 2020. COI/T.20/Doc. No 5. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2020/05/COI-T.20-Doc5-Rev2-2020-EN.pdf> (accessed on 3 May 2023).
23. IOC. Trade Standard on Olive Oils and Olive-Pomace Oils. Standard 2022; COI/T.15/NC No 3/ Rev.19/2022. Available online: https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/12/Norme-comerciale-REV-19_ENK.pdf (accessed on 3 May 2023).
24. IOC. Determination of Free Fatty Acids, Cold Method. DEC-III-8/106-VI/2017. 2017. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-No-33-Rev.-1-2017.pdf> (accessed on 3 May 2023).
25. IOC. Determination of Peroxide Value. DEC-III-12/106-VI/2017. 2017. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/Method-COI-T.20-Doc.-No-35-Rev.-1-2017.pdf> (accessed on 3 May 2023).
26. IOC. Spectrophotometric Investigation in the Ultraviolet. DEC-III.4/109-VI/2019. 2019. Available online: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/Method-COI-T.20-Doc.-No-19-Rev.-5-2019-2.pdf> (accessed on 3 May 2023).
27. García-Garvía, J.M.; Sánchez-Bravo, P.; Hernández, F.; Sendra, E.; Corell, M.; Moriana, A.; Burgos-Hernández, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of ‘Arbequina’ Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agronomy* **2022**, *12*, 1892. [CrossRef]
28. NIST. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. Available online: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (accessed on 3 May 2023).
29. ISO-12966-2; Animal and Vegetable Fats and Oils—Gas Chromatography of Fatty Acid Methyl Esters—Part 2: Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids. ISO: Geneva, Switzerland, 2017.

30. Lipan, L.; Carbonell-Pedro, A.A.; Rodríguez, B.C.; Durán-Zuazo, V.H.; Franco Tarifa, D.; García-Tejero, I.F.; Ruiz, B.G.; Tavira, S.C.; Muelas, R.; Sendra, E.; et al. Can sustained deficit irrigation save water and meet the quality characteristics of mango? *Agriculture* **2021**, *11*, 448. [\[CrossRef\]](#)
31. Aguilar-Hernández, M.G.; Núñez-Gómez, D.; Forner-Giner, M.Á.; Hernández, F.; Pastor-Pérez, J.J.; Legua, P. Quality parameters of Spanish lemons with commercial interest. *Foods* **2021**, *10*, 62. [\[CrossRef\]](#)
32. Sastre, B.; Arbonés, A.; Pérez-Jiménez, M.Á.; Pascual, M.; Benito, A.; de Lorenzo, C.; Villar, J.M.; Bonet, L.J.; Paz, S.; Santos, Á.; et al. Influence of Regulated Deficit Irrigation on Arbequina's Crop Yield and EVOOs Quality and Sensory Profile. *Agronomy* **2023**, *13*, 31. [\[CrossRef\]](#)
33. Sánchez-Rodríguez, L.; Kranjac, M.; Marijanović, Z.; Jerković, I.; Pérez-López, D.; Carbonell-Barrachina, Á.A.; Hernández, F.; Sendra, E. "Arbequina" Olive Oil Composition Is Affected by the Application of Regulated Deficit Irrigation during Pit Hardening Stage. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2020**, *97*, 449–462. [\[CrossRef\]](#)
34. León Mendoza, L.; Casanova Pavel, D.; González Cabeza, J. Estabilidad de la calidad sensorial de aceites de oliva Olea europea (Oleaceae) extra virgen varietal y mono varietal. *Arnaldia* **2021**, *28*, 613–624. [\[CrossRef\]](#)
35. Navajas-Porras, B.; Pérez-Burillo, S.; Morales-Pérez, J.; Rufián-Henares, J.A.; Pastoriza, S. Relationship of quality parameters, antioxidant capacity and total phenolic content of EVOO with ripening state and olive variety. *Food Chem.* **2020**, *325*, 126926. [\[CrossRef\]](#)
36. Grossi, M.; Di Lecce, G.; Arru, M.; Gallina Toschi, T.; Riccò, B. An opto-electronic system for in-situ determination of peroxide value and total phenol content in olive oil. *J. Food Eng.* **2015**, *146*, 1–7. [\[CrossRef\]](#)
37. Kamikata, K.; Vicente, E.; Ariseto-Bragotto, A.P.; Miguel, A.M.R.D.O.; Milani, R.F.; Tfouni, S.A.V. Occurrence of 3-MCPD, 2-MCPD and glycidyl esters in extra virgin olive oils, olive oils and oil blends and correlation with identity and quality parameters. *Food Control* **2019**, *95*, 135–141. [\[CrossRef\]](#)
38. Servili, M.; Esposto, S.; Lodolini, E.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Urbani, S.; Montedoro, G.; Serravalle, M.; Gucci, R. Irrigation Effects on Quality, Phenolic Composition, and Selected Volatiles of Virgin Olive Oils Cv. Leccino. *J. Agric. Food Chem.* **2007**, *55*, 6609–6618. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
39. Li, X.; Zhang, Y.; Liu, Z.; Wang, W.; Sun, S.; Wang, J.; Zhu, Z.; Liu, J.; Yang, H.; Zhu, S.; et al. Quality assessment and geographical origin classification of extra-virgin olive oils imported into China. *J. Food Compos. Anal.* **2022**, *113*, 104713. [\[CrossRef\]](#)
40. da Silveira, R.; Vágula, J.M.; de Lima Figueiredo, I.; Claus, T.; Galuch, M.B.; Santos Junior, O.O.; Visentainer, J.V. Rapid methodology via mass spectrometry to quantify addition of soybean oil in extra virgin olive oil: A comparison with traditional methods adopted by food industry to identify fraud. *Food Res. Int.* **2017**, *102*, 43–50. [\[CrossRef\]](#)
41. Angerosa, F.; Servili, M.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Montedoro, G. Volatile compounds in virgin olive oil: Occurrence and their relationship with the quality. *J. Chromatogr. A* **2004**, *1054*, 17–31. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
42. Luna, G.; Morales, M.T.; Aparicio, R. Characterisation of 39 varietal virgin olive oils by their volatile compositions. *Food Chem.* **2006**, *98*, 243–252. [\[CrossRef\]](#)
43. Zhao, H.; Ren, L.; Shen, R.; Guo, S.; Peng, X. Identification of the influential odorants for the unpleasant rancid smell of ripe noni fruit (*Morinda citrifolia*). *Int. J. Food Sci. Technol.* **2022**, *57*, 2277–2284. [\[CrossRef\]](#)
44. Ahumada-Orellana, L.E.; Ortega-Farías, S.; Searles, P.S. Olive oil quality response to irrigation cut-off strategies in a super-high density orchard. *Agric. Water Manag.* **2018**, *202*, 81–88. [\[CrossRef\]](#)
45. Gómez del Campo, M.; García, J.M. Summer Deficit-Irrigation Strategies in a Hedgerow Olive cv. Arbequina Orchard: Effect on Oil Quality. *J. Agric. Food Chem.* **2013**, *61*, 8899–8905. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
46. Rumora, A.E.; LoGrasso, G.; Hayes, J.M.; Mendelson, F.E.; Tabbey, M.A.; Haidar, J.A.; Lentz, S.I.; Feldman, E.L. The divergent roles of dietary saturated and monounsaturated fatty acids on nerve function in murine models of obesity. *J. Neurosci.* **2019**, *39*, 3770–3781. [\[CrossRef\]](#)
47. Shavakhi, F.; Rahmani, A.; Moradi, P. Characterization of Iranian olive oils based on biophenolic minor polar compounds and their contribution to organoleptic properties. *Yuzuncu Yil Univ. J. Agric. Sci.* **2021**, *31*, 365–376. [\[CrossRef\]](#)
48. Sena-Moreno, E.; Cabrera-Bañegil, M.; Pérez-Rodríguez, J.M.; De Miguel, C.; Prieto, M.H.; Martín-Vertedor, D. Influence of Water Deficit in Bioactive Compounds of Olive Paste and Oil Content. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2018**, *95*, 349–359. [\[CrossRef\]](#)
49. Allalout, A.; Krichène, D.; Methenni, K.; Taamalli, A.; Oueslati, I.; Daoud, D.; Zarrouk, M. Characterization of virgin olive oil from Super Intensive Spanish and Greek varieties grown in northern Tunisia. *Sci. Hort.* **2009**, *120*, 77–83. [\[CrossRef\]](#)
50. Zhang, Y.; Zhang, C.; Xu, C.; Deng, Y.; Wen, B.; Xie, P.; Huang, L. Effect of geographical location and soil fertility on main phenolic compounds and fatty acids compositions of virgin olive oil from Leccino cultivar in China. *Food Res. Int.* **2022**, *157*, 111207. [\[CrossRef\]](#)

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



A Ángel, por haber confiado en mí desde mis estudios de grado, y haberme dado la oportunidad de trabajar con él todo este tiempo.

A Armando, por haberme ofrecido la oportunidad de haber realizado un doble doctorado, aunque no llegase a buen puerto.

A Luis, porque no habría sido capaz de acabar la tesis sin tu ayuda. De mayor quiero ser como tú.

A Esther y Paqui, por su esfuerzo y por los conocimientos que me han aportado a lo largo de todo el proceso de realización de la tesis.

A Jesús, por hacerme entender que lo más importante no es llegar pronto a la meta, sino el camino y las experiencias vividas durante el mismo, porque, aunque trabajemos desde un Búnker, siempre hay sitio para unas risas, y si no ...

A Paola, por ser todo un ejemplo a seguir, tanto académica como personalmente. Gracias por esas conversaciones, es un lujo poder tenerte como amiga.

A Marcos y Nuria, porque, aunque breve, el tiempo con vosotros se ha pasado muy rápido, y no lo olvidaré, aunque me tratéis como un señor mayor.

A todos los investigadores con los que he coincidido durante todo el tiempo que he disfrutado en el Departamento de Tecnología Agroalimentaria, porque me habéis enseñado todo lo que sé en cuanto a análisis e investigación.

A Moraima y José, mis padres, por ser mis faros en el trayecto, por entenderme, cuidarme, animarme y apoyarme todo el tiempo, aunque os lo haya puesto difícil los últimos años. No sabré nunca cómo daros las gracias

A Pablo, mi hermanito preferido, por estar siempre a mi lado y preocuparte por mí de la forma en la que lo has hecho.

A mis abuelos, mi familia, Rosario y Paco, porque sé que están orgullosos de mí.

A Bruno, que siempre estarás en mi corazón, allá donde estés, no te olvidaré.

A María, por haberme aguantado y por haberme permitido ser cómo soy. Sé que no sería la misma persona si no hubiese sido por tu amor, tu paciencia, tu comprensión, tu amor. Un abrazo tuyo da la paz, energía y fuerza para mover el mundo si es necesario. Te quiero con toda mi vida.