



TESIS DOCTORAL

**RESPUESTA DE UN OLIVAR EN SETO EN EXTREMADURA
FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO
MANTENIDAS DESDE LA PLANTACIÓN HASTA PLENA
PRODUCCIÓN**

JUAN MANUEL PÉREZ RODRÍGUEZ

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN MODELIZACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA POR LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**

Conformidad de la directora y codirectora:

Fdo.: Dra. M^a Henar Prieto Losada

Fdo.: Dra. M^a José Moñino Espino

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

2024



**CENTRO DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
DE EXTREMADURA**

Para la realización de este trabajo se ha contado con el apoyo institucional de los proyectos del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) (RTA2008-00033-C02-00) y (RTA2012-00018-C02-02), (RTA 2013-00045-C04-02), y de la Junta de Extremadura los proyectos CCESAGROS, AGROS2022 y cofinanciados con fondos FEDER.

*No cuentes los días,
haz que los días
cuenten*

AGRADECIMIENTOS

Muchos han sido los años desde que puse mis pies en este largo camino de la investigación. Mucha ilusión, mucho aprendizaje y mucho trabajo por hacer. Tanto que nunca encontraba hueco para poder materializar parte de todo ese conocimiento y cada vez con más tareas y responsabilidades que hacían que me costara poder hacerlo. Me gustaría agradecer en primer lugar a mi directora de tesis, Henar Prieto Losada, no solo por la dirección de este documento sino por ser mi mentora desde mis inicios, por haberme blindado su amistad y por aguantarnos todos estos largos años. También por supuesto por haber confiado en mí, su gran dedicación y conocimiento y que ha hecho que esto lo pudiésemos llevar a término. En segundo lugar y no menos importante a mi codirectora M^a Jose Moñino Espino, que podría decir que nos hemos criado juntos aquí en la Finca La Orden, donde además de aprender juntos, somos grandes compañeros y siempre te agradeceré tu disposición para poder ayudar y colaborar en todo. En tercer lugar, a mi compañera de batalla, de despacho, de confesionario... de todo el día a día incluyendo mis cabreos y días malos, Encarnación Lara Carrasco. Gracias por esta ahí porque además de gran compañera eres una gran amiga.

Por supuesto a todas las personas que me han acompañado en este camino y que con su apoyo y colaboración han hecho posible la materialización de esta Tesis ya que todo este trabajo es el fruto de todo un esfuerzo colectivo (Toni, Carlos, Valme, Nieves, David, Luis Sandra, Cristina, Jose María, Victoria, Dami, Eva, Laura, M^a Sol y mi compañero por unos años y gran profesional Juan Parras y a otros muchos que los años y la vida nos ha separado).

No podía terminar estos agradecimientos, sin mencionar a mi familia, pareja y amigos por su apoyo y por haberme permitido robarles el tiempo y darme el ánimo necesario para realización de esta Tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Listado de abreviaturas.....	xiii
CAPÍTULO 1: RESUMEN, SUMMARY, INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS...	3
1.1. RESUMEN.....	3
1.2. SUMMARY.....	5
1.3. INTRODUCCIÓN.....	7
1.3.1. LA INTENSIFICACIÓN DEL OLIVAR.....	7
1.3.2. IMPORTANCIA DEL RIEGO EN LA OLIVICULTURA.....	10
1.3.3. RESPUESTA DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO.....	12
1.3.3.1. Mecanismos de adaptación del olivo.....	12
1.3.3.2. Sensibilidad estacional del olivo al déficit hídrico.....	13
1.3.4. EL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVICULTURA.....	16
1.3.5. INDICADORES DE ESTADO HÍDRICO EN PLANTA.....	18
1.3.6. INFLUENCIA DEL ESTADO HÍDRICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD.....	19
1.3.7. INFLUENCIA DEL ESTADO HÍDRICO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE.....	20
1.3.7.1. Características del aceite de oliva.....	20
1.3.7.2. Influencia sobre la composición del aceite de oliva.....	21
1.3.7.3. El sistema superintensivo y la calidad del aceite de oliva.....	25
1.3.8. GESTIÓN DEL RIEGO EN OLIVARES EN SETO.....	26
1.4. OBJETIVOS.....	28
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1. LOCALIZACIÓN, CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS.....	31
2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	32
2.3. PROGRAMACIÓN DE RIEGO	34

2.4. MEDIDAS DE ESTADO HÍDRICO.....	35
2.4.1. POTENCIAL HÍDRICO DE TRONCO (Ψ_t).....	35
2.4.2. INTEGRAL DE ESTRÉS (S_ψ).....	36
2.5. CARACTERIZACIÓN DEL DESARROLLO.....	37
2.5.1. CRECIMIENTO DEL BROTE DEL AÑO.....	37
2.5.2. VOLUMEN DE COPA.....	37
2.5.3. SECCIÓN DEL TRONCO.....	38
2.5.4. MADERA DE PODA.....	38
2.6. CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.....	38
2.6.1. CUAJADO Y FLORACION	38
2.6.2. CRECIMIENTO DEL FRUTO.....	39
2.6.3. INDICE DE MADUREZ.....	36
2.6.4. PRODUCCIÓN Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	40
2.6.5. CONTENIDO GRASO.....	41
2.7. CALIDAD DEL ACEITE.....	41
2.7.1. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	41
2.7.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE CLASIFICACIÓN.....	42
2.7.2.1. Grado de acidez.....	42
2.7.2.2. Índice de peróxidos.....	43
2.7.2.3. Absorbancia en el ultravioleta K_{232} y K_{270}	44
2.7.3. ANALISIS SENSORIAL.....	45
2.7.4. OTROS PARÁMETROS DE CALIDAD.....	46
2.7.4.1. Composición de ácidos grasos.....	46
2.7.4.2. Contenido total de fenoles.....	47
2.7.4.3. Estabilidad oxidativa.....	47
2.7.4.4. Pigmentos fotosintéticos.....	48
2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	48

CAPÍTULO 3: RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (I): RELACIONES HÍDRICAS Y CONTROL DEL VIGOR.....	51
3.1. RESULTADOS.....	51
3.1.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS, NECESIDADES HÍDRICAS Y RIEGO.....	51
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	54
3.1.3. NECESIDADES HÍDRICAS Y RIEGO APLICADO.....	54
3.1.4. POTENCIAL HÍDRICO E INTEGRAL DE ESTRÉS.....	59
3.1.5. VOLUMEN DEL SETO Y MADERA DE PODA.....	64
3.1.6. VIGOR DE LA PLANTA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	68
3.1.6.1. Perímetro de tronco.....	68
3.1.6.2. Brotes anuales.....	70
3.1.7. RELACIÓN ENTRE DESARROLLO VEGETATIVO Y EL RIEGO	74
3.2. DISCUSIÓN.....	78
3.2.1. EL RIEGO Y EL ESTADO HÍDRICO.....	78
3.2.2. EL CONTROL DEL VIGOR.....	81
3.2.3. POTENCIAL PRODUCTIVO.....	82
 CAPÍTULO 4: RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (I): PRODUCCIÓN DE ACEITUNA Y ACEITE.....	 87
4.1. RESULTADOS.....	87
4.1.1. FLORACIÓN Y CUAJADO.....	87
4.1.2. EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO.....	90
4.1.3. PRODUCCIÓN Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	92
4.1.3.1. Producción de aceitunas.....	92

4.1.3.2. Carga de frutos.....	95
4.1.3.3. Peso del fruto.....	96
4.1.3.4. Contenido graso.....	99
4.1.3.5. Producción de aceite.....	100
4.1.5. RELACIONES DE PRODUCTIVIDAD	103
4.2. DISCUSIÓN.....	107
4.2.1. FLORACION Y CUAJADO.....	107
4.2.2. DESARROLLO Y MADURACIÓN.....	108
4.2.3. PRODUCTIVIDAD DE LOS SETOS.....	109
CAPÍTULO 5: EFECTOS DE LA ESTRATEGIA DE RIEGO EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE DE OLIVA DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA EN FASE JOVEN Y ADULTA.....	115
5.1. RESULTADOS.....	115
5.1.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE CLASIFICACIÓN.....	115
5.1.2. COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS.....	117
5.1.3. FENOLES TOTALES	119
5.1.4. PIGMENTOS CLOROFÍLICOS Y CAROTENOIDES.....	121
5.1.5. ESTABILIDAD OXIDATIVA.....	122
5.1.6. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	124
5.1.7. RELACIÓN ENTRE EL ESTADO HÍDRICO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITE.....	127
5.2. DISCUSIÓN.....	129
5.2.1. EFECTOS DEL RIEGO EN PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	129
5.2.2. OTRO PARAMETROS DE INTERÉS INFLUIDOS POR EL RIEGO.....	130
5.2.3. EL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE LAS CARATERISTICAS ORGANOLÉPTICAS.....	133

CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES.....	137
6.1. DISCUSIÓN GENERAL.....	137
6.2. CONCLUSIONES GENERALES.....	139
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
CAPÍTULO 8: PRODUCCIÓN CIENTÍFICA.....	161

ÍNDICE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

Figura 1.1. Evolución de la superficie mundial de las plantaciones de olivar en seto (1995-2015).....	7
Figura 1.2. Superficies de olivar en seto por países en el año 2019 (Vilar y Pereira, 2019).....	8
Figura 1.3. Esquema del ciclo biológico del olivo en la Cuenca del Mediterráneo y descripción de los procesos según las fases del cultivo (Fernández <i>et al.</i> , 2018).....	14
Figura 1.4. Esquema de los factores que afectan a la calidad del aceite de oliva virgen.....	22

CAPÍTULO 2:

Figura 2.1. Vista general de la parcela de olivar en seto objeto del estudio situada en la Finca La Orden-CICYTEX. Año 2011 y 2015.....	31
Figura 2.2. Estación agrometeorológica situada en la “Finca La Orden-CICYTEX”. Guadajira (Badajoz).....	31
Figura 2.3. Diseño estadístico empleado en el ensayo de riego de olivar seto variedad ‘Arbequina’.....	32
Figura 2.4. Cámara de presión tipo Sholander (Soil Moisture Equipment Corp., Model 3500) (a) y hoja cubierta con papel aluminizado para medir potencial hídrico de tronco (b).....	36
Figura 2.5. Medida de volumen de copa con barra metrada y forma geométrica simulada para cada etapa de cultivo joven (a) y adulta (b).....	37
Figura 2.6. Conteo de flores y frutos cuajados en brotes de 2º año en olivar en seto variedad ‘Arbequina’.....	38
Figura 2.7. Peso fresco y seco (g) de muestras de aceitunas con balanza de precisión digital.....	39
Figura 2.8. Recolección de aceitunas (a) y recogida de muestras (b) de olivar en seto, variedad ‘Arbequina’. Finca La Orden-Valdesequera.....	41
Figura 2.9. Equipo Abencor, constituido por un molino de martillo (a), termobatidora (b) y centrífuga vertical (c) del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-Finca La Orden.....	42
Figura 2.10. Cromatógrafo de gases modelo HP 6890 (a) y Equipo espectrofotómetro Scientific Evolution 201 (b) del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-INTAEX-La Orden.....	46
Figura 2.11. Equipo Rancimat 743 para determinación de estabilidad oxidativa del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-La Orden.....	47

CAPÍTULO 3:

Figura 3.1. Coeficiente de cultivo (Kc) mensual calculado para cada año y media por etapa de desarrollo (a, b y c) de un olivar en seto variedad ‘Arbequina’. Finca la Orden-CICYTEX. Años 2009-2019.....	55
Figura 3.2. Agua media total aplicada tanto por riego como por la precipitación efectiva para las distintas etapas de desarrollo de cultivo de un olivar en seto variedad ‘Arbequina’. Finca la Orden-CICYTEX. Año 2009-2019. Se representa como ocurrida en fases de cultivo (barra) o fuera de ella (línea).....	58
Figura 3.3: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto joven variedad ‘Arbequina’. Finca La Orden-CICYTEX, (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales.....	59
Figura 3.4: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto adulto 1 variedad ‘Arbequina’. Finca La Orden-CICYTEX, (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales.....	60

Figura 3.5: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto adulto 2 variedad ‘Arbequina’. Finca La Orden-CICYTEX, (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P<0,05$) según la prueba de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales..... 61

Figura 3.6: Evolución de la cubierta vegetal en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 64

Figura 3.7: Volumen de copa medio en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 65

Figura 3.8: Evolución de madera de poda en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego. Finca La Orden-CICYTEX, años 2010-2020. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 66

Figura 3.9: Poda acumulada por etapa de cultivos y tipo de madera eliminada en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2010-2020. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos o tipo de madera ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 67

Figura 3.10: Evolución del perímetro de tronco en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas al final de cada año representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 69

Figura 3.11: Tasa de crecimiento anual del perímetro de tronco en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 70

Figura 3.12: Evolución del crecimiento del brote del año de tronco en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego, desarrollo y periodos de carga productiva. Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 80 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 73

Figura 3.13: Correlación entre el número de nudos, la longitud de los brotes del año y los tratamientos de riego en un olivar en seto var. ‘Arbequina’ en etapa joven (2009-2011) y etapa adulta1 (2012-2015). $n= 80$ y las líneas son el ajuste de regresión no lineal para cada tratamiento $P<0.05$. Finca la Orden-CICYTEX 75

Figura 3.14: Relación entre la dosis media de riego aplicada anualmente y la tasa de incremento de volumen de copa(A) y de área de tronco (B) en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos riegos y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Las barras representan el error estándar de la media..... 76

Figura 3.15: Estado de seto Control (a) y RDC-3 (b) al finalizar el ensayo en 2019. Finca La Orden-CICYTEX..... 82

CAPÍTULO 4:

Figura 4.1: Inflorescencias y frutos medios por inflorescencia en años ON Y OFF en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 80 datos, las barras representan el error estándar de la media..... 89

Figura 4.2: Evolución del crecimiento de las aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego en etapa joven del cultivo en año off (2010) y on (2011). Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 120 datos, las barras representan el error estándar de la media..... 90

Figura 4.3: Evolución del crecimiento de las aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego en etapa adulta 1 del cultivo en año OFF (2014) y ON (2015). Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 120 datos, las barras representan el error estándar de la media..... 91

Figura 4.4: Producción de aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 93

Figura 4.5: Carga de aceitunas media en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 96

Figura 4.6: Peso fresco y seco medio de aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 98

Figura 4.7: Rendimiento graso fresco y seco medio de aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 100

Figura 4.8: Producción de aceite en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 101

Figura 4.9: Producción acumulada de aceite en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey analizados al final de cada etapa..... 102

Figura 4.10: EUA y EP en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos riegos y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey..... 104

Figura 4.11: Relación entre la dosis media de riego aplicada anualmente y el rendimiento medio de aceituna (A) y de aceite (B) en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es la media de cuatro repeticiones por tratamiento y año. Las barras representan el error estándar de la media... 105

CAPÍTULO 5:

Figura 5.1. Evolución del contenido total de fenoles en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey..... 120

Figura 5.2. Media del contenido total de fenoles en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey. * (excluido año 2013)..... 120

Figura 5.3. Pigmentos clorofilicos (a) y carotenos (b) en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según test de Tukey..... 121

Figura 5.4. Evolución de la estabilidad oxidativa en horas Rancimat en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey..... 122

Figura 5.5. Media de la estabilidad oxidativa en horas Rancimat en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey. * (excluido año 2013)..... 123

Figura 5.6. Relación entre fenoles totales (a), clorofilas (b) y carotenos (c) sobre estabilidad oxidativa de aceites de olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CYCITEX, años 2009-2015. Cada punto es el valor por parcela elemental (n=16 por año) y las líneas es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos por año..... 124

Figura 5.7. Evaluación del panel test de cata para los atributos positivo (a) frutado (b), amargo (c) y picante en los aceites del olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media, letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos y asteriscos (*) entre los años (P<0,05) con el test de Tukey..... 125

Figura 5.8. Relación entre integral de estrés hídrico total (a) y volumen de la cubierta (b) con los fenoles totales en aceites de olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada punto es el valor por parcela elemental (n=16 por año) y la línea es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos completo..... 127

Figura 5.9. Relación entre la Integral de estrés hídrico (S_w) y la puntuación del atributo amargo (a) y picante (b) en aceites de olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2015. Cada punto es el valor por parcela elemental (n=16 por año) y la línea es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos completo..... 128

ÍNDICE TABLAS

CAPÍTULO 1:

Tabla 1.1. Efecto del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción de aceitunas y aceite del olivo según fases de cultivo (EH= endurecimiento de hueso).....	15
--	-----------

CAPÍTULO 2:

Tabla 2.1. Umbrales de Potencial hídrico de tallo al mediodía solar (Ψ_t) propuestos para cada fase de cultivo para programación de riego en olivar en seto variedad 'Arbequina'.....	33
---	-----------

CAPÍTULO 3:

Tabla 3.1. Datos mensuales de T max, T min, heladas, P y evapotranspiración de ETo de la estación agrometeorológica de la "Finca La Orden-CICYTEX". Año 2009-2019.....	52
---	-----------

Tabla 3.2. Características fisicoquímicas del suelo a diferentes profundidades en olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca La Orden-CICYTEX año 2009.....	54
--	-----------

Tabla 3.3. Necesidades hídricas del olivar y agua total aplicada tanto por riego como por la precipitación efectiva (Pe) para las distintas fases y desarrollo del cultivo en un olivar en seto variedad. 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX. Años 2009-2019.....	57
---	-----------

Tabla 3.4. Integral de estrés hídrico (S_w) total y por fases de cultivo en un olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX. Años 2009-2019. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey.....	63
--	-----------

Tabla 3.5: Componentes del crecimiento vegetativo del brote del año en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2016. Cada punto es el promedio de 80 datos, las letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos analizado al final de cada año ($P<0,05$) según el test de Tukey.....	71
---	-----------

Tabla 3.6. Correlaciones de Pearson (valores r) entre estado hídrico y caracteres vegetativos (volumen de copa, área de tronco y poda), para los distintos riegos (integral de estrés total y por fases) y estados de desarrollo del árbol (2009-2019) en olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX (se marca con distintos colores los rangos de la correlación).....	77
---	-----------

Tabla 3.7. Coeficientes para gestión de estrategias de riego calculadas a partir de dosis aplicadas basadas en medidas de potencial hídrico de tronco para las diferentes fases y desarrollo del olivar en seto variedad 'Arbequina' Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019).....	80
---	-----------

Tabla 3.7. Condiciones climáticas, estado hídrico y agua aplicada en fase II del cultivo en olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019).....	80
---	-----------

CAPÍTULO 4:

Tabla 4.1. Parámetros de floración y cuajado de frutos en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2016. Cada dato es el promedio de 80 brotes por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey. (AP= año productivo).....	88
--	-----------

Tabla 4.2. Índice de madurez (IM) y fecha de recolección en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento ($n=4$). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey (A= adelanto, R=retraso, H= aceituna helada).....	94
---	-----------

Tabla 4.3. Carga de las aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de 40 datos por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey.....	95
---	-----------

Tabla 4.4. Peso fresco y seco de la aceituna en recolección en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de 40 datos por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 97

Tabla 4.5. Humedad de la aceituna en recolección en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento ($n=4$). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 98

Tabla 4.6. Rendimiento graso en fresco y seco en recolección en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento ($n=4$). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 99

Tabla 4.7. Eficiencia del uso del agua y productiva para producción de aceite (kg aceite/m^3 agua o copa) en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, año 2009-2019. Cada dato es a media de las repeticiones por tratamiento ($n=4$). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 103

Tabla 4.8. Correlaciones de Pearson (valores r) entre estado hídrico y caracteres agronómicos productivos (producción y componentes del rendimiento), para los distintos riegos (integral de estrés total y por fases) y estados de desarrollo del árbol en olivar en seto variedad ‘Arbequina’. Finca la Orden-CICYTEX(2009-2019) (se marca con distintos colores los rangos de la correlación).. 106

CAPÍTULO 5:

Tabla 5.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad para clasificación del aceite de olivar en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden- CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento ($n=4$) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 116

Tabla 5.2. Composición de ácidos grasos y sus relaciones de aceite de olivar en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden- CICYTEX (2009-2011). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento ($n=4$) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según el test de Tukey..... 118

CAPÍTULO 1:

RESUMEN, SUMMARY, INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



CAPÍTULO 1: RESUMEN, SUMMARY INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. RESUMEN

En los años 90 surgió un sistema de cultivo del olivo, denominado superintensivo o seto, basado en una alta densidad de plantación. La total mecanización de las labores de cultivo y la rápida entrada en producción han hecho que se extienda rápidamente por muchos países olivareros e incluso por otros sin tradición con este cultivo. A pesar de este éxito presenta una serie de problemas como el exceso de vigor para de las variedades actuales que requiere de un buen manejo para que sea sostenible.

En este trabajo se presentan los resultados de once años (2009-2019) en una plantación de olivar en seto de la variedad 'Arbequina' localizada en las Vegas del Guadiana (Badajoz, España) plantado en el 2008. Se establecieron tres tratamientos de riego deficitario controlado (RDC-1, RDC-2 y RDC-3) como niveles leve, moderado y severo de estrés hídrico y comparados con un Control regado para cubrir las necesidades hídricas de los árboles. Los tratamientos deficitarios se establecieron según niveles de potencial hídrico del tallo, diferenciando entre fases del cultivo: en la fase I (brotación a endurecimiento de hueso) los límites inferiores fueron de -1.0, -1.4 y -2.0 MPa para RDC-1, 2 y 3 respectivamente; en la fase II (endurecimiento hueso a envero) de -1.4, -2.0 y -3.0 MPa; mientras que en la fase III (envero a recolección) fueron de -1.2, -1.6 y -1.6 MPa.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar información para apoyar la sostenibilidad de los sistemas superintensivos en olivicultura evaluando la respuesta a corto, medio y largo plazo de la aplicación de estas estrategias para el control del vigor, buscando también el equilibrio entre la producción y la calidad del aceite. Un aspecto destacable de este trabajo es que los tratamientos se han mantenido con los mismos criterios desde el segundo año de plantación a lo largo de los once años posteriores, de forma que se analiza en cada etapa de desarrollo, así como el efecto acumulado. Para ello se distinguen tres etapas de desarrollo: joven (2009-2011), adulto 1 (2012-2015) y adulto 2 (2016-2019). El criterio para separar estas fases ha sido la formación del seto (joven), la plena producción (adulto 1) y los síntomas de descenso o estabilización de la producción (adulto 2).

El capítulo 3 plantea el control del vigor de los olivares en seto con la variedad más utilizada en este sistema (‘Arbequina’). En primer lugar, analizando el efecto de las estrategias aplicadas sobre el estado hídrico de los olivos y el desarrollo vegetativo. Los resultados muestran que el uso de estrategias moderadas y severas retrasó la formación del seto, pero mantuvo una cubierta en años sucesivos menor, más rejuvenecida y de menos mantenimiento. El tratamiento de déficit ligero consiguió un nivel de crecimiento similar al más regado en los primeros años pasando a un mayor control en la etapa adulto 2, pero con menor necesidad de poda. El uso de estrategias deficitarias supuso un ahorro considerable de agua y se proponen unos coeficientes aplicables a la evapotranspiración de cultivo para adopción práctica de las estrategias.

El capítulo 4 analiza el efecto sobre el rendimiento y sus componentes, así como sobre la producción de aceite. La carga de los árboles y los rendimientos grasos fueron los parámetros más afectados por los tratamientos: al reducir el aporte de agua disminuyó la carga, pero incrementándose el contenido graso salvo en situaciones de déficit muy severo. El tratamiento RDC-1 mantuvo el mismo nivel de producción que el Control en todas las etapas estudiadas. En la etapa adulta 2 se acercaron las producciones, principalmente de aceite, en todos los tratamientos. La aplicación de estrategias de RDC supuso un incremento en la eficiencia en el uso del agua en etapas adultas, mayor cuanto más reducido fue el aporte de agua.

En el capítulo 5, se estudiaron las características de los aceites de los 4 tratamientos en las dos primeras etapas. Los parámetros fisicoquímicos no establecieron diferencias entre tratamientos clasificándose todos como “virgen extra”. Los ácidos grasos varían cuando el seto es joven y puede aumentar el ácido oleico cuando se aplica déficit hídrico. Las estrategias moderadas y severas aumentan la cantidad de fenoles y pigmentos y por tanto la estabilidad de los aceites, su valor nutricional y mejora las características organolépticas.

Palabras clave: Arbequina, superintensivo, potencial hídrico de tallo, riego deficitario controlado, calidad aceite oliva.

1.1. SUMMARY

The 1990s saw the emergence of a system of olive cultivation known as super-intensive or hedgerow, based on high planting densities. The total mechanisation of cultivation and the speed with which it was introduced led to its rapid spread in many olive-growing countries and even in countries without a tradition of this crop. Despite this success, it presents several problems, such as the excessive vigour of the current varieties, which requires good management to be sustainable.

In this work we present the results of eleven years (2009-2019) in a hedgerow olive plantation of the 'Arbequina' variety, located in Vegas del Guadiana (Badajoz, Spain) and planted in 2008. Three controlled deficit irrigation treatments (RDC-1, RDC-2 and RDC-3) were established as mild, moderate and severe levels of water stress and compared with an irrigated control to meet the water needs of the trees. Deficit treatments were established according to stem water potential levels, differentiating between growth stages: in stage I (flowering to pit hardening) the lower limits were -1.0, -1.4 and -2.0 MPa for RDC-1, 2 and 3 respectively; in stage II (pit hardening to veraison) -1.4, -2.0 and -3.0 MPa; while in stage III (veraison to harvest) they were -1.2, -1.6 and -1.6 MPa.

The main objective of this work is to provide information to support the sustainability of super-intensive olive growing systems by evaluating the short-, medium- and long-term response to the application of these vigour control strategies, also looking for a balance between production and olive oil quality. A remarkable aspect of this work is that the treatments have been maintained with the same criteria from the second year of planting throughout the following eleven years, in such a way that they can be analysed at each stage of development, as well as the cumulative effect. For this purpose, three developmental stages are distinguished: juvenile (2009-2011), adult 1 (2012-2015) and adult 2 (2016-2019). The criteria used to separate these stages were hedgerow formation (juvenile), full production (adult 1) and signs of declining or stabilising production (adult 2).

Chapter 3 deals with the control of vigour in hedgerow olive groves with the variety most used in this system (Arbequina). Firstly, the effect of the strategies applied on the water status of the olive trees and on the vegetative development is analysed by quantifying different aspects. The results show that the application of moderate and severe strategies delayed the formation of hedges, but maintained a lower, more rejuvenated, and less supported canopy in the following years. The light deficit treatment achieved a similar level of growth to the most irrigated in the early years, progressing to greater control in the adult 2 stage, but with less need for pruning. The use of deficit strategies resulted in considerable water savings and crop evapotranspiration coefficients are proposed for practical adoption of the strategies.

Chapter 4 analyses the effects on yield and its components and on oil production. Tree burden and fat yield were the parameters most affected by the treatments: reducing water supply reduced load but increased fat content, except in situations of very severe deficit. The RDC-1 treatment maintained the same level of production as the control at all the stages studied. At adult stage 2, production, mainly oil, was similar in all treatments. The application of regulated deficit irrigation strategies led to an increase in water use efficiency in the adult's stages: the lower the water input, the greater the increase.

In chapter 5, the characteristics of the oils of the 4 treatments of the first two stages were studied. The physico-chemical parameters did not reveal any differences between the treatments, and they were all classified as "extra virgin". The fatty acids vary when the hedgerow is young and oleic acid can increase and that moderate and severe strategies increase the phenols and pigments contents and, therefore, the stability of the oils, their nutritional value and improve the organoleptic characteristics.

Keywords: Arbequina, superintensive, stem water potential, controlled deficit irrigation, olive oil quality.

1.3. INTRODUCCIÓN

1.3.1. LA INTENSIFICACIÓN DEL OLIVAR

Uno de los cambios más llamativos de la olivicultura en las últimas décadas ha sido la introducción de riego como práctica de cultivo y el aumento considerable de la densidad de plantación dando lugar a lo que se conoce como moderna olivicultura (Guerrero, 2005). Tradicionalmente, el olivo se ha cultivado en secano, en zonas marginales con densidades inferiores a 100 olivos/ha y marcos de plantación mínimos de 10 x 10 m (Rius y Lacarte, 2015), productividad media-baja (Rallo *et al.*, 2013) y costes elevados de cultivo. Sin embargo, hacia 1970 se empiezan a realizar plantaciones densas llamadas intensivas de 200 a 600 olivos/ha con una mayor productividad y un solo pie por olivo con el objeto de facilitar la recolección mecanizada con vibrador (Pastor *et al.*, 1993; Porras *et al.*, 1997; Tous *et al.*, 1999).

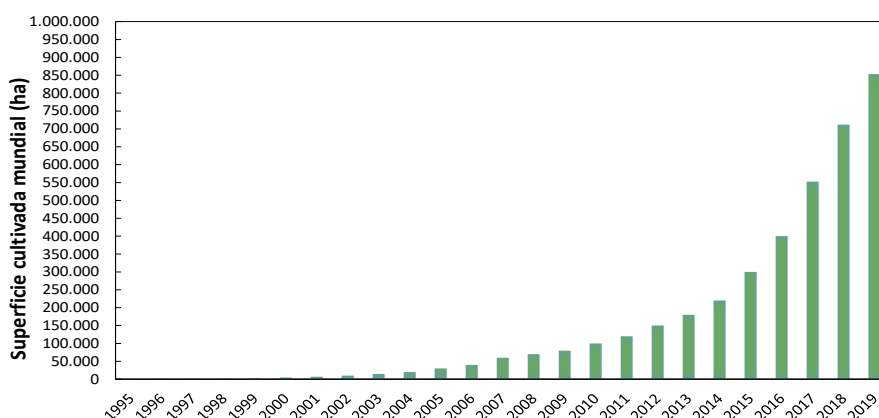


Figura 1.1. Evolución de la superficie mundial de las plantaciones de olivar en seto (1995-2015).

En los años 90 surge un nuevo sistema de cultivo del olivar donde la densidad aumentaba espectacularmente llegando hasta los 1.500-2.000 olivos/ha (Tous *et al.*, 2003; Pastor *et al.*, 2006; Lo Bianco *et al.*, 2021). En este tipo de plantaciones, denominadas en seto (Vossen *et al.*, 2004), los olivos se forman a un eje y las distancias entre árboles varían de 1,35 a 2 m, lo que hace que, tras tres años de crecimiento, se formen unos setos continuos (Connor, 2006; De la Rosa *et al.*, 2007) que son recogidos por máquinas cabalgadoras, diseñadas inicialmente para la recolección de la viña en espaldera. Este tipo de plantaciones alcanzan una rápida entrada en producción y

mantienen con posterioridad una producción alta por un aumento del potencial productivo debido a la mejor captación de la energía solar por la cubierta del seto (Lo Bianco *et al.*, 2021).

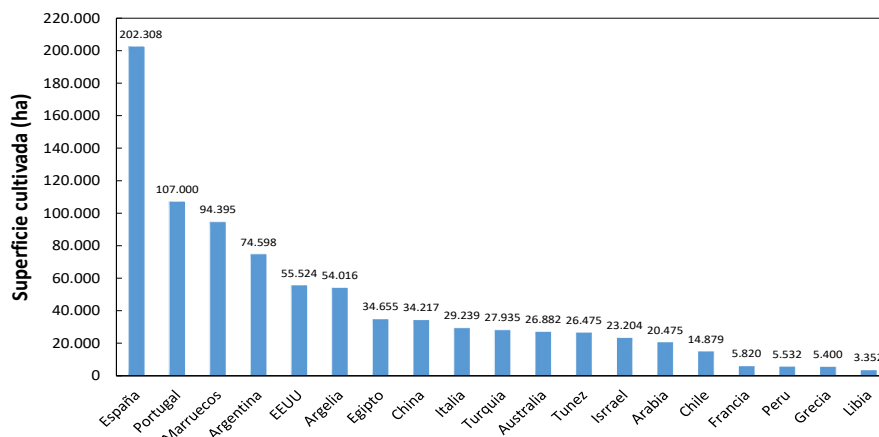


Figura 1.2. Superficies de olivar en seto por países en el año 2019 (Vilar y Pereira, 2019).

Las primeras plantaciones comerciales de olivar en seto surgieron en España en 1993 extendiéndose con rapidez a otros países como Portugal, Francia, Italia, Marruecos, Chile, Túnez, Arabia Saudí o Estados Unidos (Berenguer *et al.*, 2006). Desde entonces, y según las únicas estadísticas encontradas (Rius y Lacarte, 2015; López *et al.*, 2015; Vilar y Pereira, 2019), el incremento en el número de hectáreas plantadas ha sido muy importante situándose en 2019 entorno a las 850.000 ha a nivel mundial (Figura 1.1) y España como el país con mayor superficie cultivada con alrededor de 200.000 ha (Figura 1.2). El éxito de este sistema ha estado motivado, principalmente, por dos grandes ventajas: la rápida entrada en producción y la alta mecanización de las operaciones de cultivo, principalmente recolección y poda. Esto reduce drásticamente la necesidad de mano de obra en recolección, que es muy alta en el cultivo del olivo, siendo uno de sus principales problemas (Gil-Ribes *et al.*, 2008). Con intervenciones mínimas de poda, un manejo adecuado del riego y una correcta fertilización se puede formar un olivar en seto que al tercer año puede dar una primera producción por encima de los 2.000 kg de aceituna/ha, superando en pocos años las 10 t/ha, acortando considerablemente los 6 o 7 años necesarios para formar un olivar intensivo en riego productivo. Si tenemos en cuenta que la producción de aceitunas se obtiene sobre madera nueva, no existe razón técnica alguna que justifique la formación de grandes árboles, ya que retrasaría la

entrada en producción, dificulta la recolección y hace más costosas las labores culturales, de poda y recolección, así como de los tratamientos fitosanitarios (Rius y Lacarte, 2015).

Un aspecto clave para el éxito de este sistema es la selección de material vegetal que debe adaptarse a la formación en seto y a la recogida mecanizada. Estas circunstancias obligan a usar las variedades de menor vigor y de porte más compacto. Se requiere también una alta precocidad en la entrada en producción y vecería reducida para aumentar la producción en los primeros años y amortizar los altos costes de implantación de este sistema. La variedad más utilizada, debido a su buena adaptación a las condiciones de cultivo superintensivas, es la variedad 'Arbequina' que supone el 65% de la superficie total de olivar en seto. Hay también disponibles en el mercado otras variedades de aparición más reciente como son 'Arbosana' (25%), 'Koroneiki'(2,5%), 'Oliana' (2,5%), 'Sikitita'(1%) y 'Lecciana' (Rodas, 2016). Sin embargo, el futuro de la olivicultura y más concretamente de estos sistemas de alta densidad, no solo debe centrarse en su mecanización total, sino que estos olivares deben ser competitivos y respetuosos con el medio ambiente (Guerrero-Casado *et al.*, 2021). Por tanto, debe imponerse una gestión sostenible de todos los recursos con un uso más racional de los mismos reduciendo los costes de cultivo y obteniendo una excelente producción y de calidad (Rius y Lacarte, 2015). Dentro de los recursos necesarios, el agua es un factor de producción clave que hace que aumente considerablemente la productividad del olivar y puede ser crítica para la rentabilidad de este sistema. Sin embargo, se trata de un bien escaso en muchas de las zonas donde se cultiva el olivar por lo que hay que gestionarlo de la mejor manera posible para poder obtener el máximo rendimiento a este recurso y más en una situación de cambio climático que hará que los cultivos como el olivar aumenten su consumo (Branquinho *et al.*, (2021).

Aunque el incremento espectacular de la superficie de cultivo está en buena parte provocado por la respuesta productiva, el estudio de la sostenibilidad de la producción en este tipo de plantaciones sólo será efectivo si va ligado a su repercusión sobre la calidad del producto final obtenido, el aceite. En un mercado global en el que la aparición de nuevos países olivareros ha aumentado la competencia, es cada vez más importante ofrecer aceites de características definidas en función de su destino a unos consumidores que demandan productos de gran calidad. En España y en los principales

países productores, se han hecho grandes esfuerzos para profundizar en el conocimiento de los factores que determinan la calidad de un aceite, así como para mejorar las cualidades del aceite de oliva virgen. Sin embargo, es todavía relativamente escasa la contribución científica existente sobre cómo influye las prácticas agronómicas sobre los factores que determinan la calidad. En concreto, se sabe, que las prácticas de riego pueden influir sobre la composición del aceite (Motilva *et al.*, 2000; Tovar *et al.*, 2001a; Berenguer *et al.*, 2006; Gómez-Rico *et al.* 2007; D'Adria *et al.*, 2009) y que al aumentar la densidad de plantación puede reducirse el contenido graso de las aceitunas (Pastor *et al.*, 2007; León *et al.*, 2007) y probablemente modifique su composición. También hay trabajos donde se ha abordado trabajos en olivares en seto (Famiania *et al.*, 2021; Bengal, *et al.*, 2021; García *et al.*, 2021). pero que precisan de disponer más información de su evolución a largo plazo.

1.3.2. IMPORTANCIA DEL RIEGO EN LA OLIVICULTURA

El agua dulce es uno de los recursos naturales que, en mayor medida, ve aumentado su uso al incrementarse la actividad económica en prácticamente todos los sectores productivos y en todos los niveles tecnológicos. El carácter limitado de este recurso, debido al aumento de su demanda, sequías periódicas y dificultades en el desarrollo de nuevos suministros, condiciona el desarrollo futuro de zonas económicas enteras obligando a buscar estrategias de conservación y ahorro. Se trata de un recurso natural de difícil renovación, el cual es consumido principalmente por la agricultura de regadío y que ocupa el 17% del total de tierra cultivada. Sin embargo, contribuye con más del 40% de los alimentos demandados por la población mundial y se estima que el consumo anual de los recursos hídricos totales regulados para este fin es del 85% del total mundial (FAO, 2023). Los beneficios económicos que se pueden generar con el empleo del riego en los cultivos hacen que éste se convierta en una poderosa estrategia que permite elevar y estabilizar las producciones. Por el contrario, el alto consumo que requiere este sector hace necesario mejorar la eficiencia de su uso, evitando consumos innecesarios y abusivos para conseguir una mejora en la productividad del agua (Fereres y Soriano, 2007). El gran desafío en los próximos años será incrementar la producción de alimentos y su valor con menores consumos hídricos.

En este contexto, el olivo es una especie muy interesante que ha sido tradicionalmente cultivada en condiciones de secano con productividades bajas o medianamente aceptables y considerada una de las especies perennes cultivadas mejor adaptada a los ambientes semiáridos (Giménez *et al.*, 1997) y áridos (Ben Ahmed *et al.*, 2007). Sin embargo, cuando se cultiva en condiciones de riego que eviten el estrés hídrico, presenta un incremento considerable de la producción y además presenta una respuesta productiva muy positiva a aportes relativamente bajos de agua de riego aplicados en los momentos más sensibles del cultivo (Moriani *et al.*, 2003 y 2007; Connor, 2005; Correa-Tedesco *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2018). La zona tradicional de cultivo es la Cuenca Mediterránea (8,2 millones de ha) pero en los últimos años se ha extendido por otras áreas geográficas. Sin embargo, la mayor parte de esta superficie cultivada se sitúa en un clima árido o semiárido, lo que significa que existen períodos de cultivo, más o menos extendidos dependiendo de las zonas, con déficit hídrico en donde la precipitación es menor a la evapotranspiración del olivo. Esto significa que en tales zonas solamente puede desarrollarse un sistema de olivar en seto sería necesario del uso de estrategias de riego deficitario.

A nivel mundial, la mayor parte de la superficie destinada al cultivo se encuentra bajo condiciones de secano, estando el 29,4% de la misma bajo riego (Vilar y Pereira, 2019) y la tendencia marca que seguirá aumentando la superficie en riego. España, con 2.697.445 ha es el país con más superficie de olivar, siendo un cultivo de gran importancia económica y social (ESYRCE, 2022). Según esta última encuesta la superficie de olivar español en condiciones de regadío en 2022 se sitúa en 817.326 ha. Esto supone que desde el año 1982 (primero en el que se separa la superficie en riego y secano en el anuario de estadística) un aumento muy importante de la demanda de agua para este cultivo y que se verá incrementada en los próximos años con los nuevos modelos de plantaciones en todo el mundo. Por otro lado, la reforma de la OCM del olivar apunta a una disminución de las ayudas a este cultivo por lo que solamente aquellas explotaciones viables económicamente tendrán capacidad para mantenerse en el mercado siendo necesario optimizar el uso de todos los recursos para conseguir al menor coste la mayor producción posible.

A pesar de la importancia del olivar, hasta hace poco más de tres décadas, apenas era objeto de investigación en comparación con otras especies herbáceas y leñosas más extendidas por todo el Mundo. Gracias a la inversión en I+D, en parte financiada por la política de ayudas de la UE, se ha incrementado considerablemente el conocimiento sobre este cultivo. Con la aparición del cultivo en seto vuelven a surgir muchas preguntas sobre el manejo correcto de estos olivares debido a las peculiaridades del olivo en sí y a las nuevas condiciones de cultivo generadas. Estos aspectos afectan a la totalidad de las prácticas de cultivo y hacen necesario apoyarse en los conocimientos que se tienen sobre otros frutales cultivados de forma intensiva o superintensiva y adaptarlos a este sistema de olivar. El primer paso en el mejor uso del agua de riego fue el desarrollo del riego por goteo, que permitió aumentar su eficiencia en el uso desde un 45% del riego gravitacional al 90% y permitió además poder llevar el riego a zonas olivareras de difícil acceso. Pese a ello, los volúmenes anuales de agua requeridos para cubrir las necesidades hídricas del olivar son altos y ha sido necesario encontrar nuevas estrategias de ahorro. En este aspecto las estrategias de riego deficitario (RD) son la clave para el futuro de una olivicultura productiva y de calidad. Dentro de estas se encuentran las estrategias de riego controlado (RDC) pero para su correcta aplicación es muy importante conocer la sensibilidad al déficit hídrico en los diferentes estados fenológicos, viendo cómo afecta a los procesos fisiológicos responsables del desarrollo vegetativo y reproductivo para diseñar la estrategia más adecuada.

1.3.3. RESPUESTA DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO

1.3.3.1. Mecanismos de adaptación del olivo

Diferentes trabajos ponen de manifiesto que el olivo tiene características que le permiten afrontar con éxito los períodos de sequía debido a mecanismos tanto para evitar el estrés hídrico como para tolerarlo (Connor, 2005). El olivo optimizaría el uso del agua con un extenso sistema radicular que le permite extraer agua a gran profundidad y con un gran control de la transpiración mediante el cierre estomático cuando las condiciones son menos adecuadas a lo largo del día (Fernández *et al.*, 2017 y 2018). Por otro lado, el olivo presenta otro importante mecanismo para soportar el estrés hídrico

una vez alcanzado, mediante la disminución de su potencial hídrico xilemático que le permite extraer agua del suelo incluso por debajo del Punto de Marchitez Permanente (PMP) (Dichio *et al.*, 1997; Moriana *et al.*, 2003). Sin restricciones hídricas, el potencial hídrico se puede situar en torno a -1,5 MPa al mediodía solar en verano, mientras que en condiciones de sequía extrema pueden llegar a alcanzar potenciales hídricos de -8,0 MPa que causarían la deshidratación y muerte de la casi totalidad de las plantas cultivadas (Orgaz y Fereres, 2008) A pesar de esta capacidad de adaptación para soportar largos períodos de sequía, generalmente estas se traducen en una disminución de la productividad del cultivo (Rallo y Cuevas, 2008). La respuesta al riego del olivo es muy positiva con incrementos considerables de producción incluso con pequeñas cantidades de riego como muestran diversos estudios en los que la transformación al riego incrementó el rendimiento graso y la cantidad de aceite por hectárea (Patumi *et al.*, 2002; Moriana *et al.*, 2003; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2004; Grattan *et al.*, 2006; Ben Ahmed *et al.*, 2007; Centeno *et al.*, 2019; Ben-Gal *et al.*, 2021; Corell *et al.*, 2022).

1.3.3.2. Sensibilidad estacional del olivo al déficit hídrico

A lo largo del ciclo anual el olivo presenta diferente sensibilidad a la falta de agua en cada fase de cultivo dependiendo de los procesos fisiológicos que tengan lugar en cada una de ellas (Fernández *et al.*, 2018). Desde este punto de vista se pueden establecer tres períodos como se describen en la Figura 1.3. La fase I, desde brotación hasta el endurecimiento de hueso (EH), es un periodo largo y muy sensible a la falta de agua ya que tiene lugar la floración y el cuajado de frutos (Rapoport *et al.*, 2004). Es también el momento donde se produce la mayor tasa de crecimiento vegetativo del olivo (Rallo y Cuevas, 2008). El final de este período es un momento no puntual y muy ligado al estado hídrico del olivo y algunos autores como Pérez-López *et al.* (2007) han determinado como posible indicador el cambio en la velocidad de crecimiento longitudinal de la aceituna, situándose normalmente entre finales de junio y la primera quincena de julio en el hemisferio norte. La fase II sería la etapa donde se produce el mayor desarrollo del fruto y finalizaría en el momento en el que el fruto comienza a acumular el aceite. Se trata del período más resistente al déficit hídrico (DI), a pesar de coincidir con el momento de mayor demanda evaporativa. Numerosos autores han corroborado que

una reducción de agua en esta fase puede no afectar a la producción de aceituna, ni de aceite (Goldhamer, 1999; Alegre *et al.*, 2002; Moriana *et al.*, 2003; Iniesta *et al.*, 2009; Gomez del Campo *et al.* 2011; Martínez-Gimeno *et al.*, 2022). En cuanto al desarrollo vegetativo, en esta fase es donde se produce una parada de crecimiento salvo que el olivar esté en condiciones de baja carga de aceitunas o que los árboles sean jóvenes en donde continúa creciendo en este período (Zucchini *et al.* (2023). Al no existir un marcador morfológico específico para el final de esta fase se suele optar por una fecha fija, como podría ser a primeros de septiembre para la zona de la cuenca del mediterráneo. Finalmente, la fase III acabaría con la cosecha de las aceitunas y se caracteriza por una disminución de la tasa de crecimiento del fruto y cambios en la coloración. Dicha fase es otra de las más sensibles al déficit hídrico dado que afectaría a la acumulación de materia grasa en el fruto (Lavee y Wodner, 1991). En esta fase suele reactivarse el crecimiento vegetativo cuando ha presentado una parada estival, ya que debido a la disminución de las temperaturas las condiciones para la fotosíntesis son más favorables independientemente de sus condiciones de riego (Moriana *et al.*, 2002; Zucchini *et al.* 2023.).

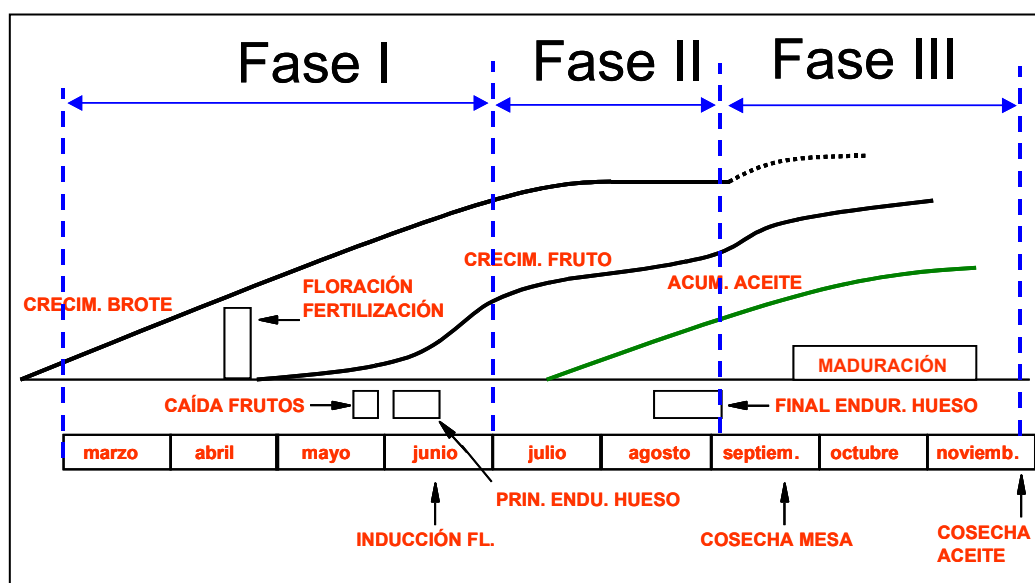


Figura 1.3. Esquema del ciclo biológico del olivo en la Cuenca del Mediterráneo y descripción de los procesos según las fases del cultivo (Fernández *et al.*, 2018).

Tabla 1.1. Efecto del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción de aceitunas y aceite del olivo según fases de cultivo (EH= endurecimiento de hueso).

PROCESO	Fase I (brotación- EH)	Fase II (EH-envero)	Fase III (Envero-recolección)
Crecimiento vegetativo	Reducción del tamaño de brotes		
Desarrollo de las yemas	Reducción del nº flores		
Floración	Aborto ovárico		
Cuajado de frutos	Caída de frutos		
Inicio crecimiento aceituna	< nº de células		
Desarrollo posterior acetuna	< tamaño células		
Acumulación de aceite	< contenido graso aceituna		

En la tabla 1.1 se resume la respuesta observada en los diferentes procesos fisiológicos del olivo, cuando se aplica un déficit hídrico en las tres fases del desarrollo del cultivo. Estas respuestas son la base para diseñar estrategias de riego deficitario con reducción de volúmenes de agua para producir la máxima cantidad de aceite (número de aceitunas y contenido graso) (Beede y Goldhamer, 2005).

La acumulación de aceite a lo largo del ciclo biológico del olivo presenta una doble curva sigmoidea donde se distinguen tres fases diferenciadas (Frías *et al.*, 1991):

Fase de biosíntesis lenta. Comprende desde los frutos recién formados hasta EH, alcanzando un contenido graso expresado en peso fresco del 4%.

Fase de biosíntesis acelerada. Tiene lugar tras EH iniciándose la síntesis activa de aceite durante los meses de agosto-septiembre en el hemisferio norte, para alcanzar el máximo hacia el inicio de octubre (García-Martos *et al.*, 1992).

Fase estacionaria o de ralentización. En esta fase, la velocidad de formación de aceite en el fruto comienza a descender de forma progresiva a partir de mediados del mes de octubre hasta a principios del mes de diciembre (hemisferio norte).

Por tanto, el final del verano y primeros de otoño (final de fase II y fase III) es un momento crítico desde el punto de vista de aplicación de un DI ya que si provocamos un estrés muy fuerte en este periodo causará una disminución en el rendimiento graso y por tanto en la producción de aceite (Beltrán *et al.*, 2008). El riego en este período es el que proporciona la mayor rentabilidad, sobre todo en veranos y otoño secos (Pastor *et al.*, 2005). Sin embargo, la aplicación de dosis de agua según necesidades hídricas puede

provocar un llenado excesivo de agua en las aceitunas y por tanto un menor precio de las aceitunas al presentar un menor rendimiento graso y pastas en la almazara de más difícil procesado.

1.3.4. ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVICULTURA

Las estrategias de RD consisten en la deliberada y sistemática bajada del riego por debajo de las necesidades totales de agua del cultivo (English y Raja, 1996). Este descenso del riego por lo general disminuye las tasas de evapotranspiración (ET) y crecimiento de los cultivos limitando de la transpiración (T) y al mismo tiempo la asimilación de carbono. Para el diseño de las estrategias de riego es importante conocer la máxima reducción de la ET compatible con la obtención de beneficios similares o incluso superiores a los obtenidos cuando la evapotranspiración del cultivo (ETc) está plenamente satisfecha en árboles adultos. En las plantaciones jóvenes, por el contrario, el principal objetivo es maximizar el crecimiento a fin de que los árboles puedan alcanzar la plena producción lo antes posible, lo que implica la prevención, incluso de ligeros déficits de agua. La correcta aplicación de RD requiere un conocimiento profundo de las respuestas de los árboles al DI y del impacto económico de las reducciones en el valor de la cosecha.

Los beneficios potenciales del RD, por lo tanto, vendrán de:

- Aumento de la eficiencia del uso del agua (EUA).
- Reducción del riego y los costos de producción.
- El costo de oportunidad del agua.

Hoy en día, el RD es una práctica común en muchas áreas del mundo, especialmente en las regiones secas. En estas zonas para el agricultor puede ser más rentable maximizar la productividad del agua por unidad de superficie para obtener un mayor beneficio económico (Tognetti *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2020). Además, el agua ahorrada se puede utilizar para otros fines o para el riego de unidades adicionales de terreno.

Hay varias modalidades de estrategia de RD, pero una de las más exitosas en cultivos leñosos y que se propone por primera vez en la década de los 80 desarrollada en Australia para cultivos de melocotón y peral. Esta técnica consiste en reducir el suministro de agua en alguna etapa del ciclo del cultivo menos sensible al déficit hídrico y la aplicación del agua necesaria para satisfacer plenamente las necesidades en los periodos críticos del cultivo, de manera que no afecte de forma significativa al rendimiento, ni al desarrollo normal de la planta (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell y Chalmers 1982). Es la estrategia de RD con un enfoque más fisiológico al tener en cuenta la fenología del cultivo y la sensibilidad al estrés de los procesos productivos. Además del ahorro de agua, se han detectado beneficios adicionales como el control del vigor de las plantas y una mejora de la calidad del fruto, ambos importantes en sistemas de producción intensiva tanto por aumentar la vida útil de estos sistemas como por obtener productos con unas características diferenciadoras. El éxito de esta técnica consiste en realizar una adecuada adaptación a cada variedad y sistema de cultivo empleado, definiendo los períodos de mayor y menor susceptibilidad al DI y el nivel de estrés a soportar evitando efectos indeseables como pérdida de cantidad o calidad de la cosecha o envejecimiento de las plantaciones.

Esta metodología se ha probado con excelentes resultados en diversas especies frutales como peral (Marsal *et al.*, 2002; Gelly *et al.*, 2003), melocotonero (Mitchel y Chalmers, 1982; Girona *et al.*, 2004), almendro (Egea *et al.*, 2010), limonero (Domingo *et al.*, 1996), manzano (Mpelasoka *et al.*, 2001), ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2005; Millán *et al.*, 2019) y cerezo (Nieto *et al.*, 2019). En olivar se ha utilizado esta técnica en olivares tradiciones (Alegre *et al.*, 2002; Moriana *et al.*, 2007; Ramos y Santos, 2009), intensivos (Moriana *et al.*, 2003; Tognetti *et al.*, 2006, Selles *et al.*, 2006; Lavee, 2007; Iniesta *et al.*, 2009; Martin-Vertedor *et al.*, 2011b) y en plantaciones en setos adultas buscando un ahorro de agua, máxima productividad y mejora de la calidad del aceite (Gómez del Campo, 2011; Fernández *et al.*, 2016; Hueso *et al.*, 2021; Martínez-Gimeno *et al.*, 2022). Sin embargo, no se ha estudiado en este tipo de plantaciones el uso de estas estrategias desde plantación ni su efecto acumulado y a largo plazo.

1.3.5. INDICADORES DE ESTADO HÍDRICO EN PLANTA

Para el control de un déficit hídrico inducido en un cultivo, se hace necesario el conocimiento del estado hídrico de la planta de forma que se pueda conocer el momento y la intensidad del estrés soportado por los árboles en cada fase de cultivo. Las medidas de estado hídrico de planta deben ser capaces de detectar diferentes demandas fisiológicas para cada época, dotaciones hídricas y cambios en disponibilidad de agua en el suelo por lo que son una muy buena herramienta para aplicar con éxito un estrés hídrico controlado (McCutchan y Shackel, 1992; Shackel *et al.*, 1997).

Una de las medidas en planta más utilizados para cuantificar el estado hídrico es el potencial hídrico (Ψ), tanto de hoja (Ψ_h) como de tallo (Ψ_t). El Ψ_t medido al mediodía se ha demostrado como el mejor estimador del estado hídrico en frutales de hueso (Shackel *et al.*, 1997; Naor *et al.*, 1999) y también en olivo (Moriana y Fereres 2002, Moriana *et al.*, 2003, 2012, Ahumada-Orellana *et al.*, 2019; Corell *et al.*, 2020; Hueso *et al.*, 2023). Tognetti *et al.* (2005), en plantas de olivo bajo diferentes dosis de riego, evaluaron el Ψ_h al amanecer y mediodía y el Ψ_t al mediodía, encontrando que este último es de los tres tipos, el indicador más sensible frente al estrés hídrico. El potencial hídrico depende de la cantidad de agua absorbida por el sistema radicular y la transpiración de las hojas por lo que integra la disponibilidad de agua para la planta, la capacidad de la misma para captarla y conducirla hasta las hojas y las condiciones ambientales (Pérez-Peña, 2000; Searles *et al.*, 2011; García-Tejeda *et al.*, 2020).

Desde el punto de vista práctico de su uso para realizar programaciones de riego, el Ψ_t presenta una serie de ventajas: fácil manejo, con relativamente pocas medidas es posible caracterizar el estado hídrico de una parcela y se pueden extrapolar los umbrales a diferentes zonas geográficas. En olivar, se ha usado esta medida para programar riego en sistemas intensivos con muy buenos resultados (Moriana *et al.*, 2012) y en olivares en seto también se ha trabajado aplicándolo alguna fase de cultivo y en olivares ya adultos (Marra *et al.*, 2016; Ahumada-Orellana *et al.*, 2017; Corell *et al.*, 2020) sería muy interesante validar los umbrales de estrés hídrico para todas fases de cultivo y para distintas edades de desarrollo en olivar en seto.

1.3.6. INFLUENCIA DEL ESTADO HÍDRICO DEL OLIVO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

La cantidad de aceite obtenida por hectárea depende tanto de la producción de aceitunas obtenidas como por su contenido graso y la facilidad de extracción del aceite. Por tanto, características de los frutos tales como el tamaño, la relación pulpa-hueso y el contenido de agua del fruto juegan un papel importante en la producción de aceite del olivar (Beltrán *et al.*, 2008). Este último parámetro, influye en el rendimiento industrial de aceite ya que un fruto con gran cantidad de agua favorece a formación de emulsiones en el proceso de extracción del aceite y provoca una menor extractabilidad de las pastas (Pastor *et al.*, 2005).

Los resultados encontrados en cuando a la cantidad de aceite producida y el rendimiento graso obtenido cuando se aplican diferentes tratamientos de RDC son dispares y dependen mucho de las condiciones agroclimáticas y de cultivo. En plantaciones tradicionales transformadas a riego Alegre *et al.* (2002) estudiaron en Lleida la respuesta de la variedad 'Arbequina' con diferentes tratamientos de RDC aplicadas en fase II del cultivo y encontraron que solo cuando se aplicaban déficits muy severos bajaba la producción de aceite y que en los tratamientos intermedios compensaron la producción de aceite con un mayor rendimiento graso. En la zona centro de España (Ciudad Real), Moriana *et al.* (2007) aplicando RDC en la variedad 'Cornicabra' no encontraron diferencias en la producción de aceite frente a un Control bien regado.

En los trabajos realizados sobre marcos intensivos como el realizado en Córdoba por Moriana *et al.* (2003) sobre la variedad 'Picual' y con un tratamiento RDC al 75% ETC también en fase II encontraron similares resultados. Un trabajo similar en la misma zona, pero de la variedad 'Arbequina' fue realizado por Iniesta *et al.* (2009). En esto caso la reducción del riego total del 25% del Control y dejando sin regar en fase II, se tradujo en una reducción de la producción de aceite. Dentro de otras zonas de la Cuenca del Mediterráneo, en Italia, Tognetti *et al.* (2006), trabajó sobre las variedades 'Frantoio' y 'Leccino' en donde también se trabajó en fase dos con distintos niveles de RDC y los resultados mostraron que a medida que se bajaba la dosis de riego se perdía producción de aceite. Lavee (2007) en la zona israelí estudió la respuesta de 7 tratamientos de RDC al 50% aplicado en diferentes épocas del año en la variedad 'Muhasan' y obtuvo que el mejor programa de RDC fue el aplicado en fase II ya que fue donde menos se redujo la

producción de aceite y recientemente Ben-Gal *et al.*, (2021) han trabajado con las variedades Barcea y Askal encontrando apenas pérdida de productividad con el uso de RDC. En otras partes de mundo, como la zona chilena, Selles *et al.* (2006) trabajaron sobre la variedad ‘Sevillana’ y aplicaron tratamientos de RDC en fase III encontrando que no hubo diferencias en producción de aceite ni en rendimiento graso con respecto a un tratamiento bien regado. Resultados similares encontraron Puertas (2009) en Argentina en olivar de la variedad ‘Arbequina’ aplicando el igualmente RDC en fase III.

Con respecto al uso de estas estrategias en olivar en seto los resultados son más recientes. En Toledo, Gómez del Campo (2013) y Hueso *et al.*, (2021) realizaron ensayos sobre la variedad ‘Arbequina’ donde aplicaron estrategias de RDC tanto en Fase II como fase I respectivamente y presentaron pérdidas productivas cuando se aplicaron recortes de más del 50%. En Valencia Martínez-Gimeno *et al.*, (2022) también han realizado ensayos de RDC y además de larga duración sobre ‘Arbequina’ en fase II y observaron que igualmente que hay que aplicar déficit moderados o severos para que baje la producción de aceite. En Sevilla también se han realizado trabajos de RDC en olivar en seto y con resultados similares para la misma variedad (Fernández *et al.*, 2018).

1.3.7. INFLUENCIA DEL ESTADO HÍDRICO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE

1.3.7.1. Características del aceite de oliva

El aceite de oliva (AO) está constituido por dos grandes grupos de compuestos: la fracción saponificable e insaponificable (Lozano *et al.*, 2009). La fracción saponificable o también denominada componentes mayoritarios representa el 97-99% del aceite y está compuesta principalmente por triglicéridos y ácidos grasos libres. La fracción insaponificable y componentes menores que es una pequeña proporción (1-3%) y constituida por hidrocarburos, pigmentos clorofílicos y carotenos, tocoferoles, fenoles, esteroides, alcoholes alifáticos y compuestos volátiles y aromáticos los cuales a pesar de su baja proporción tienen un papel importante en el sabor, olor, estabilidad y valor nutricional del aceite de oliva. La compleja composición química del aceite de oliva hace inviable poder caracterizar el aceite con todos sus componentes por lo que para su clasificación se han seleccionado una serie de índices que aparecen reflejado en el Reglamento (UE) 1348/2013 Anexo I.

La componente lipídica predominante en la fracción saponificable son los triglicéridos, cuya diferenciación puede hacerse en base a su composición acídica. El aceite de oliva estaría compuesto de seis ácidos grasos mayoritarios (oleico, palmítico, linoleico, esteárico, palmitoleico, y linolénico) y siete minoritarios y su composición es un factor clave en la calidad nutricional del AO, tanto por su elevado contenido de ácido oleico (monoinsaturado), como por su equilibrio entre las relaciones de monoinsaturado y poliinsaturados y lo diferencia del resto de los aceites vegetales que son más ricos en ácidos grasos poliinsaturados. La presencia de insaturados sin embargo les hace sensibles al oxígeno, dando lugar al fenómeno de la autooxidación, que es la principal causa de deterioro en la calidad de este producto. Con respecto a la fracción insaponificable, hay que destacar varios compuestos que a pesar de su baja proporción en el aceite le confieren su sabor y olor (Morales y Tsimidou, 2003), propiedades saludables (Estruch *et al.*, 2013) y de efecto protector para el aceite contra los procesos de oxidación (Franco *et al.*, 2014). Se trata de los compuestos fenólicos, aromáticos y también otros antioxidantes como los pigmentos fotosintéticos. Las características sensoriales de un AO son consecuencia de los compuestos volátiles (aroma) y de los fenoles (sabor).

1.3.7.2. Influencia del riego sobre la composición del aceite de oliva.

La máxima calidad del aceite de oliva corresponde a la aceituna en el momento de la recolección cuando el fruto está en el árbol, por lo que los métodos de recolección y las técnicas de extracción no pueden mejorar la calidad del producto, pero pueden afectar negativamente. En España y en los principales países productores, se han hecho grandes esfuerzos para profundizar en el conocimiento de los factores que determinan la calidad de un aceite, así como para mejorar las cualidades del aceite de oliva virgen. Los factores que en mayor medida afectan a la composición y características de los aceites de oliva son: la variedad, la época de recolección, el medio (suelo y clima), el sistema de cultivo empleado y las técnicas de agronómicas (figura 1.4) Dentro de las técnicas agronómicas, tanto las práctica de riego como la densidad de plantación pueden influir sobre la composición del aceite (Pastor *et al.*, 2007; Larbi *et al.*, 2012; Connor *et al.*, 2014) y probablemente su composición, aunque este último punto no se ha contrastado suficientemente en condiciones de campo.

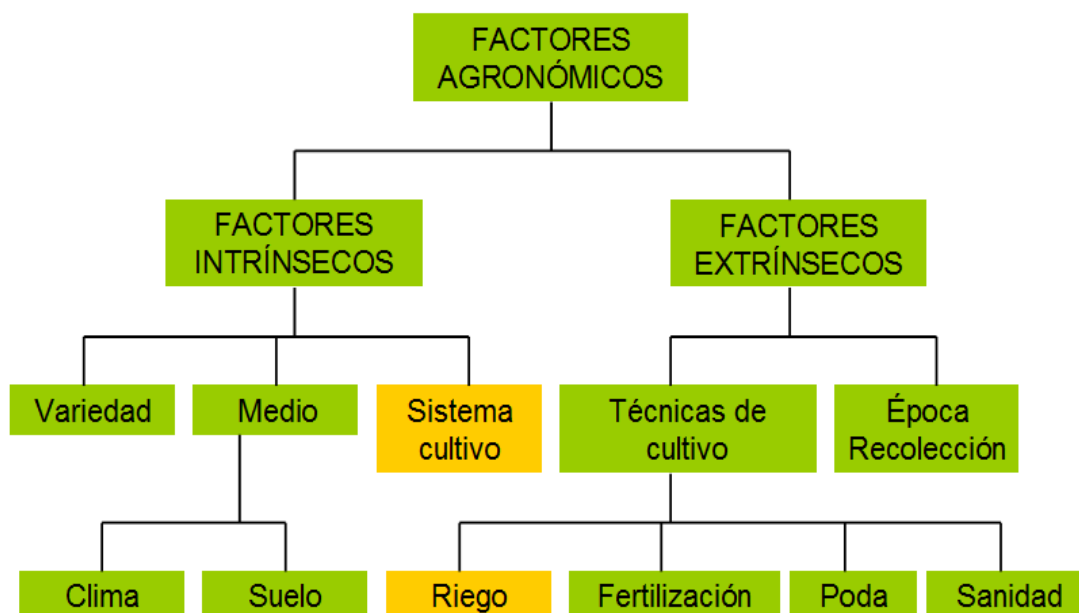


Figura 1.4. Esquema de los factores que afectan a la calidad del aceite de oliva virgen.

Según el Comité Oleícola Internacional (COI) y publicadas en el Reglamento CEE 2568/91 y sus posteriores modificaciones del Reglamento UE 1348/2013, los criterios de calidad a tener en cuenta en el aceite de oliva son: el grado de acidez, índice de peróxido, la absorción de la radiación en el ultravioleta expresada como K_{232} , K_{270} y la evaluación sensorial. El grado de acidez representa el contenido en ácidos grasos libres presentes en el aceite de oliva expresados en porcentaje de ácido oleico y si este es algo indica que el fruto no se ha recogido en un buen estado sanitario o el aceite no se ha conservado bien. En cuanto al índice de peróxidos es un parámetro que representa el estado de oxidación del aceite, en las primeras fases de la misma, Este índice detecta la oxidación antes de que sea perceptible organolépticamente, lo que le da validez como índice de calidad. La medida de la absorbancia en el ultravioleta (K_{232} , K_{270}) proporciona indicaciones sobre la calidad del aceite, estado de conservación y modificaciones en los procesos tecnológicos. La oxidación se puede producir en una primera fase que presentan un máximo de absorción a 232 nm pero con el tiempo evoluciona en una oxidación secundaria que absorben a una longitud de onda de 270 nm.

En algunos de estos parámetros que definen la calidad del aceite apenas se han encontrado cambios en función del régimen hídrico y hay discordancias en los resultados de diferentes trabajos publicados. En algunos se ha observado que no tiene influencia sobre la acidez (Tovar *et al.*, 2001a; Patumi *et al.*, 2002; Magliulo *et al.*, 2003; Gómez-Rico *et al.*, 2007, García *et al.*, 2016, 2021), ni sobre el índice de peróxidos (Inglese *et al.*, 1996; Patumi *et al.*, 1999; Tovar *et al.*, 2001a; Gómez-Rico *et al.*, 2007) o el K232 y K270 (Tovar *et al.*, 2001a; García *et al.*, 2016, 2021). Sin embargo, Gómez-Rico *et al.* (2007) obtuvo valores menores de diferencias en las absorbancias entre olivos de secano con respecto al regadío, considerándolo consecuencia de la distinta cantidad de fenoles mientras que Salas *et al.*, (1997) y Ben-Gal *et al.* (2011) encontraron un valor de acidez superior en aceite de olivos mejor regados debido a que su estado de madurez era mayor en recolección. La relación entre ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados se relaciona con la estabilidad oxidativa del aceite y es un factor clave de la calidad nutricional del mismo (Uceda *et al.* 2005). La composición de los ácidos grasos es característico de cada variedad (Tous y Romero, 2005; Uceda *et al.*, 2008), pero es un parámetro que puede verse modificado por el grado de maduración de la aceituna (Uceda *et al.*, 2008), por el medio agrológico (Tous *et al.*, 1997) y por las técnicas de cultivo y más concretamente por el riego (Inglese *et al.*, 1996; Berenguer *et al.*, 2006). Inglese *et al.* (1996), Motilva *et al.* (2000), Patumi *et al.* (2002); D'Andría *et al.* (2009) y Puertas (2009) no observaron ninguna influencia del estrés hídrico sobre la composición acídica de los aceites. Sin embargo, Tovar *et al.* (2001a) sí detectaron una relación entre la cantidad de agua aplicada y el porcentaje de ácido palmitoleico en algunos años. Berenguer *et al.* (2006) y Gómez-Rico *et al.* (2007) observaron que el riego disminuye ligeramente el contenido de ácido oleico y aumenta el contenido de palmítico y linoleico.

Hay compuestos químicos presentes en el aceite de oliva que se ven muy afectados por la disponibilidad hídrica y que pertenecen a la fracción minoritaria del aceite de oliva y por tanto afectan tanto a las características organolépticas como a la propia conservación y valor biológico del propio aceite de oliva. El contenido total en fenoles en el aceite es un parámetro con un alto componente genético y va a depender de la variedad de aceituna empleada y de las condiciones ambientales y agronómicas. En numerosos trabajos el DI incrementó el contenido de fenoles totales (Patumi *et al.*,

1999; Motilva *et al.*, 2000; Tovar *et al.*, 2001a; Patumi *et al.*, 2002; Gómez-Rico *et al.*, 2007, Machado *et al.*, 2013). Por el contrario, Inglese *et al.* (1996) y Greven *et al.* (2009) observaron un aumento en el contenido de fenoles con el riego mientras que Puertas (2009) no encontró diferencias en este parámetro. Las diferencias en respuesta obtenidas en los distintos trabajos apuntan a la importancia de aspectos como el momento, duración e intensidad del período de estrés hídrico, junto con otras variables agronómicas o del entorno. Debido a la relación entre el contenido de fenoles y la estabilidad respecto a la oxidación (Tovar *et al.*, 2001^a), estos últimos también disminuyen con el riego (Motilva *et al.*, 2000; Tovar *et al.*, 2001a; Gómez-Rico *et al.*, 2007). Los pigmentos presentes en el aceite de oliva virgen (AOV) y responsables del color, características sensoriales, nutricionales y de preservación del producto al ser antioxidantes también se ven influidos por el riego. Motilva *et al.* (2000) observaron que un estrés hídrico en el inicio de la maduración produce un mayor contenido en pigmentos mientras que en la recolección, el mayor contenido de pigmentos se encontró en los aceites que no habían tenido estrés hídrico. Por el contrario, Tovar *et al.* (2001a) observaron una relación inversa entre el contenido de clorofilas y carotenoides y la cantidad de riego aplicada y Gómez-Rico *et al.* (2007) no detectaron influencia del riego en el contenido de pigmentos.

Cambios en el perfil de volátiles del aceite de oliva también se han relacionado con la programación del riego aplicado a diferentes cultivares de olivar (Gómez-Rico *et al.*, 2009) y como consecuencia, las características sensoriales del AOV pueden verse afectadas por el estado hídrico de los olivos. En el análisis sensorial de los aceites sometidos a riego comparados con aceites de secano realizado por Salas *et al.*, (1997) y Patumi *et al.*, (1999) mostraron una ausencia total de defectos en los mismos y fueron clasificados dentro de la categoría virgen extra independientemente de su procedencia, riego o secano al estar todos los aceites dentro de los parámetros marcados por el reglamento. Sin embargo, los aceites de secano obtuvieron una mayor puntuación en la valoración organoléptica. El atributo sensorial que se vio afectado en mayor medida por la aplicación de agua de riego es el amargor, mostrando intensidades menores en los aceites procedentes de árboles regados.

1.3.7.3. El sistema superintensivo y la calidad del aceite de oliva.

La variedad 'Arbequina' es la más usada en las nuevas plantaciones de olivar en seto y se caracteriza por presentar un aceite con un contenido medio-alto de ac. palmitico (ac. saturado) y linoleico (ac. poliinsaturado) y medio-bajo de oleico (ac. monoinsaturado) y está clasificada en el grupo III por el banco de germoplasma de Cataluña en sus estudios de clasificación de las variedades según su composición de ácidos grasos (Rallo, 2005). Otra característica de esta variedad es que presenta valores muy bajos de contenido total de fenoles y por tanto una baja estabilidad oxidativa (Salas *et al.*, 1997; Aparicio y Luna, 2002; Uceda *et al.*, 2005). Es por ello que son aceites muy suaves en cuanto a sabor, muy frutados y que deben consumirse rápidamente para que no enrancien, como bien establece Rallo (2005) en su clasificación dentro del grupo I para las características sensoriales de los aceites. Un correcto manejo de las dosis de riego mediante el empleo de RDC podría mejorar las características del AOV de esta variedad (Grattan *et al.*, 2006). Todo ello cobra especial relevancia en las plantaciones de olivar en seto que están adquiriendo una gran importancia en el panorama mundial, en donde además de la dosis de riego aplicada, la alta densidad y la edad de la plantación puede incidir sobre la composición del aceite.

Por lo tanto, en un mercado global en el que la clave del éxito puede ser producir aceites de calidad a precios competitivos, los sistemas de producción superintensivos jugarán un papel clave. Aunque se han producido avances considerables en aspectos relativos a la mecanización, existe una notable falta de información sobre el efecto que produce la intensificación y las prácticas culturales empleadas sobre las características de los aceites. Los trabajos que se han hecho hasta el momento en RDC en estos sistemas se han centrado en fase adulta y con serie de años cortas (Ahumada-Orellana *et al.*, 2018; Gucci *et al.*, 2019; Famiani *et al.*, 2020; García *et al.*, 2020; Ben-Gal *et al.*, 2021; Trentaconte *et al.*, 2021). El riego es un factor de producción clave en las condiciones áridas y semiáridas en donde se cultiva el olivo y por tanto es de especial interés conocer que prácticas de riego son las más adecuadas en estos sistemas combinando un eficiente uso del agua, manteniendo una buena productividad al menor coste y mejorando la composición de los aceites de oliva.

1.3.8. GESTIÓN DEL RIEGO EN OLIVARES EN SETO

La gestión del riego en las plantaciones en seto no debe “a priori” ser la misma que en las plantaciones tradicionales, donde la mayor producción se asocia a un mayor crecimiento. Un exceso de vigor genera problemas en el olivar en seto ya que para que sea productivo es necesario que ambas caras estén bien iluminadas (Connor *et al.*, 2009, Trentaconte *et al.*, 2021). Además, necesita tener una buena densidad de área foliar ya que setos muy compactos bajan su actividad fotosintética, reducen su inducción floral y se produce un mal desarrollo del fruto (Connor, 2006; Trentaconte *et al.*, 2021). Sin embargo, la producción de un olivar es proporcional a la superficie expuesta a la radiación interceptada por lo que también es necesario mantener un buen tamaño de la cubierta. Estos son los motivos por lo que no se ha recomendado utilizar RDC en los primeros años de plantación en otros sistemas de olivar (Rufat *et al.*, 2009). En el caso del olivar en seto, se alcanza un alto porcentaje de interceptación de radiación mucho antes que en los otros sistemas por lo que se podrían emplear antes estrategias de manejo que supongan aplicaciones de agua inferiores a las necesarias desde prácticamente los primeros años. En este tipo de olivar la rentabilidad de la explotación vendrá determinada por un equilibrio entre producción y crecimiento, ya que éste último estará muy ligado a la vida útil de la plantación y, por lo tanto, a la sostenibilidad (Gómez del Campo *et al.*, 2009; Connor *et al.*, 2014). Grattan *et al.* (2006) sugieren que el riego de plantaciones en seto podría estar entre 70-75% ETc para maximizar la producción y el 30-35% ETc para optimizar la calidad. No obstante, en dicho trabajo, realizado en plantaciones en sus primeros años, se sigue considerando el crecimiento de la plantación como el tradicional objetivo de “maximizar” el volumen de copa para obtener una buena producción y no como un cultivo donde hay que equilibrar costos de cultivo, producción de aceite y de la mejor calidad posible.

En los primeros trabajos realizados sobre estos nuevos sistemas se puso de manifiesto que el manejo del agua de riego es esencial para la sostenibilidad de estos olivares donde el vigor de los árboles puede provocar competencia y limitar la productividad. De la Rosa *et al.*, (2006) y Tous *et al.*, (2007) no encontraron problemas aportando datos hasta el 6º año, pero Pastor *et al.* (2007) en su ensayo de siete años tuvo resultados contrarios. La diferencia entre ellos fue el manejo del agua entre estos

aportando unos 200 mm de riego frente a los 700 mm del otro trabajo. Esto supone condiciones de estrés hídrico para los primeros y prácticamente riego en condiciones óptimas para el segundo, o lo que es lo mismo, diferentes niveles de restricción del crecimiento. Mucho se ha trabajado después en el manejo del riego en estos sistemas mediante el uso de estrategias de RDC en diferentes modalidades estando ante un agrosistema que para que sea sostenible debe restringir el suso del agua.

En España se ha trabajado en la zona de Toledo con diferentes ensayos de RDC aplicando restricciones en verano (Gómez del Campo, 2013) o en primavera (Hueso *et al.*, 2021) mediante RDC con porcentajes de recorte de ETc. En Sevilla y Fernández *et al.*, (2013) aplicó estrategias deficitarias en verano con la misma estrategia de recorte y Corell *et al.*, (2022) aplico el RD tanto con un riego sostenido como usando medidas de sensores de diámetro de tronco. Martínez-Gimeno *et al.*, (2022) en valencia es uno de los pocos trabajos a largo plazo en estos sistemas y también aplicaron restricciones de dosis fijas de agua en verano con bajadas de ETc. En otros países olivareros se han realizado también trabajos en estos sistemas como en Italia donde Gucci *et al.*, (2019) aplicó restricciones en bajada de porcentaje del riego tanto en primavera como en verano y Marra *et al.*, (2016) en Sicilia aplicaron 5 niveles de riego deficitario sostenido. En Chile Ahumada-Orellana *et al.*, (2018) aplicaron recortes del riego después de floración dejando bajar a diferentes niveles de potencial para volver a rehidratar y Trentacoste *et al.*, (2021) en Argentina aplicaron riegos sostenidos de mayo a octubre.

En todos estos trabajos el principal objetivo es el mantenimiento de la productividad y mejora de las características del producto obtenido. Sin embargo, incluso los trabajos de más larga duración no llegan abarcar diferentes periodos del cultivo tan importantes como son la formación del seto y el comienzo de la senescencia de este. No hay suficientes trabajos en los que se usen medidas en planta para programar riego ni trabajos en los que se evalúen que estrategias de riego son las más adecuadas tanto en fase de formación del olivo en seto como posteriormente en su fase adulta y tampoco como afecta la restricción del riego en cada etapa del cultivo en cuanto a la productividad y calidad de aceite y si esta varia con el desarrollo del seto.

1.4. OBJETIVOS

En esta Tesis Doctoral se ha estudiado la respuesta a largo plazo de la aplicación de estrategias de RDC en un olivar en seto *Olea europaea* L. cv. 'Arbequina' desde un año después de plantación y durante 11 años. Para la programación de riegos se ha usado medidas de estado hídrico de los árboles mediante potencial hídrico de tallo, estableciendo unos umbrales mínimos para cada fase del cultivo. Los tratamientos parten desde un Control regado para evitar estrés hídrico a estrategias deficitarias leves a moderadas y severas.

El estudio ha abordado tres aspectos fundamentales: (i) Evaluar el efecto sobre el desarrollo vegetativo y su control. (ii) Analizar el efecto sobre la productividad y mantenimiento de la vida útil de esta (iii) Valorar el efecto de los tratamientos sobre las características de los aceites de oliva virgen obtenidos en estos sistemas. Estos objetivos generales se desglosan en los siguientes objetivos parciales:

1-Proponer posibles estrategias de RDC en distintos desarrollos del olivar como herramienta para controlar el vigor de una plantación de olivar en seto desde su implantación usando medidas de potencial hídrico de tallo.

2- Valorar el ahorro de agua y de manejo del cultivo reduciendo costes tanto directos como indirectos en la formación del seto y la durabilidad de estos.

3- Determinar umbrales óptimos de potencial hídrico para cada fase de cultivo y edad de plantación en función del impacto sobre la productividad, inputs y vida útil.

4-Evaluar la respuesta del olivar a las diferentes estrategias de RDC sobre su eficiencia productiva tanto de aceitunas como de aceite.

5- Conocer las características de los aceites de oliva producido en estos sistemas y su evolución en el desarrollo del seto, así como su modulación con RDC.

6-Proporcionar diferentes estrategias de riego combinando un equilibrio vegetativo-productivo tanto para producir cantidad de aceite, calidad o para situaciones de limitación de agua.

7- Conocer el efecto a corto, medio y largo plazo de las estrategias de riego propuestas sobre los aspectos anteriormente mencionados.

CAPÍTULO 2:

MATERIALES Y MÉTODOS



CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LOCALIZACIÓN, CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS

Este trabajo se ha llevado a cabo durante los 11 años (2009 y 2019) en un olivar en seto (*Olea europaea* L.) de la variedad ‘Arbequina’, situada en la finca experimental “La Orden” (CICYTEX) de la Junta de Extremadura, en el término municipal de Guadajira, Badajoz (38ª 51´ N, 6º 40´ W y 200 m de altitud). La plantación del olivar se realizó en la primavera del 2008 a una densidad de 1.975 olivos/ha (3,75 x 1,35 m), con una orientación Norte-Sur y formados en eje central (figura 2.1).



Figura 2.1. Vista general de la parcela de olivar en seto objeto del estudio situada en la Finca La Orden-CICYTEX. Año 2011 y 2015.



Figura 2.2. Estación agrometeorológica situada en la “Finca La Orden-CICYTEX”. Guadajira (Badajoz)

El clima de la zona es mediterráneo continental con influencia atlántica, caracterizado por veranos calurosos, secos, con alta radiación diaria y alta demanda evaporativa e inviernos largos, fríos y con precipitaciones muy irregulares según los años. Para el análisis de los datos climáticos, estos han sido tomados de una estación agrometeorológica situada a 1000 m de la parcela de ensayo (figura 2.2) y perteneciente a la Red de Asesoramiento al Regante de la Junta de Extremadura (<http://redarexplus.juntaex.es/RedarexPlus/>).

Para la caracterización edáfica del suelo al inicio del ensayo, en el mes de febrero, se realizó un análisis físico y químico para caracterizarlo con un muestreo de 16 puntos repartidos por toda la parcela a 1,80 cm de profundidad y extraídas cada 30 cm.

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño del ensayo fue de bloques al azar con 4 tratamientos de riego y con 4 repeticiones (figura 2.3). La parcela elemental estaba formada por 3 filas de 12 árboles, con un total de 36 árboles y realizándose las diferentes medidas sobre los 10 árboles centrales, utilizándose el resto como árboles bordes. El total de superficie del ensayo fue de 2.916 m² constituido por 576 árboles.

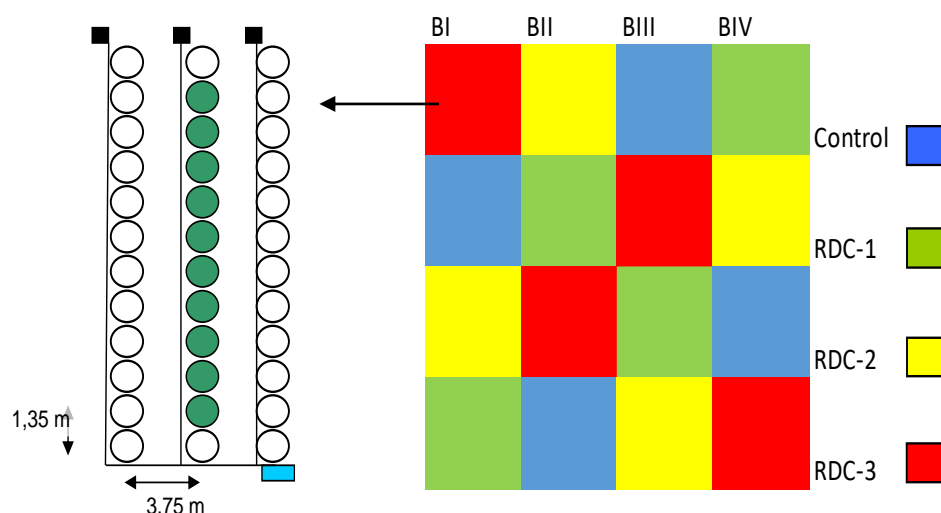


Figura 2.3. Diseño estadístico empleado en el ensayo de riego de olivar seto variedad 'Arbequina'.

Los tratamientos consistieron en un riego Control y tres estrategias de riego deficitario controlado (RDC-1, RDC-2, RDC-3) establecidos en el año 2009. El tratamiento Control tenía como objetivo proporcionar a los árboles el 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los tratamientos deficitarios se establecieron en base a medidas de potencial hídrico de tronco (Ψ_t) medido al mediodía solar marcando sus niveles en función de los estados fenológicos del cultivo. Para ello se dividió en tres fases diferentes siguiendo la terminología sugerida por Goldhamer (1999) y aplicados por otros autores como Moriana *et al.*, (2012), Fernández *et al.*, (2013), y Martínez-Gimeno (2022) y se definieron unos niveles de estrés para cada tratamiento y fase indicados en la tabla 2.1

Fase I: Desde brotación hasta endurecimiento de hueso (EH) (inicio de julio)

Fase II: Desde EH hasta comienzo del envero (inicio de septiembre).

Estado III: Desde comienzo de envero a cosecha.

Tabla 2.1. Umbrales de Potencial hídrico de tallo al mediodía solar (Ψ_t) propuestos para cada fase de cultivo para programación de riego en olivar en seto variedad 'Arbequina'.

Tratamientos	Fase I	Fase II	Fase III
	(Brotación-endurecimiento hueso)	(Endurecimiento hueso-envero)	(Envero-recolección)
Control	Riego al 100% de ETc		
RDC-1 (ligero)	-1,0 MPa	-1,4 MPa	-1,2 MPa
RDC-2 (moderado)	-1,4 MPa	-2,0 MPa	-1,6 MPa
RDC-3 (severo)	-2,0 MPa	-3,0 MPa	-1,6 MPa

Al ser un trabajo de larga duración y poder analizar los datos obtenidos se ha estructurado y diferenciados tres etapas de desarrollo en función del inicio del ensayo y edad de los árboles:

Etapa joven: desde el 2º hasta el 4º año desde plantación (2009-2011). Se caracteriza por incremento progresivo de la cubierta y producción.

Etapa adulta 1: desde la 5ª a la 8ª campaña (2012-2015). Se presenta un olivar con el seto formado y con todo su potencial productivo.

Etapa adulta 2: siguientes 4 años productivos (2016-2017). El olivar comienza a presentar síntomas de envejecimiento.

2.3. PROGRAMACIÓN DE RIEGO

La plantación fue regada con un sistema de riego localizado mediante goteo, con goteros integrados autocompensantes distanciados a 75 cm en la línea de portagoteros y con un caudal de $2,2 \text{ l h}^{-1}$ y controlado por 4 electroválvulas y un programador Agronic 2000. La programación de riego fue semanal y las diferentes dosis de riego se establecieron variando los tiempos de riego.

Para el Control, la campaña de riego se inició cuando al realizar un balance de agua en el suelo, su nivel de descenso permisible alcanzó el 25% (Orgaz y Fereres, 2008) mientras que en los riegos deficitario controlados se activaron cuando se alcanzaron los umbrales establecidos para la fase I del cultivo. La dosis semanal del Control se calculó en base el método propuesto por el manual FAO 56 (Allen et al., 1998). Según este método, las necesidades hídricas del cultivo es la suma de la evaporación desde el suelo y la transpiración de la planta, lo que se conoce como evapotranspiración de cultivo (ETc) y que se calcula con la ecuación:

$$ETc = ETo \times Kc$$

siendo ETo la evapotranspiración del cultivo de referencia (pradera polifita), tomando los valores de la estación climática que se ha indicado anteriormente. Para el cálculo del coeficiente de cultivo específico de olivar (Kc), se empleó la metodología propuesta por Orgaz et al. (2006). Las programaciones para este tratamiento se realizaron semanalmente, a tiempo real, ajustando al final de cada mes la dosis de agua real necesaria con la aportada y determinando la Kc para ese mes.

Para cuantificar la dosis de riego en los tratamientos deficitarios, fue necesario obtener el valor de potencial hídrico de tronco al mediodía solar (Ψ_t) de cada uno de los tratamientos de RDC y compararlo con los valores de referencia marcados para cada fase descrita en la Tabla 2.1. Se realizaron 3 medidas como mínimo cada 15 días en el tramo de los 10 árboles centrales por parcela elemental y se halló el valor medio con 12 medidas en total por cada tratamiento deficitario. Para comparar el valor medio real con el valor umbral se usó un estadístico en t-Student con n-1 grados de libertad en un test de una cola. Se consideró que eran diferentes si el $p < 0,05$ para los 12 datos tomados era distinto de $\pm 1,796$ según la fórmula:

$$T = (\text{valor medio} - \text{Valor umbral}) / (\text{raíz (varianza (nº de datos) / nº de datos)}).$$

Una vez alcanzado el valor umbral de un período, la sistemática de riego en las fechas sucesivas fue incrementar o disminuir la dosis de agua según estuvo la medida por debajo o por encima del umbral establecido. Si el valor estaba dentro del intervalo se mantenía el mismo riego que en el período anterior. En caso de variar el riego fue en base a un % de diferencia con el umbral según la siguiente expresión y transformados a unidades de agua:

$$\% = ((\text{valor medio} \times 100) / \text{-valor umbral}) - 100$$

- 1) Variaciones $\leq \pm 10\%$ se aplicará $\pm 0,25$ mm
- 2) Variaciones entre $\pm 10-20\%$, se aplicará $\pm 0,5$ mm
- 3) Variaciones entre $\pm 20-30\%$, se aplicará ± 1 mm
- 4) Variaciones $>30\%$ se aplicará ± 2 mm

En los casos que se produjo una lluvia intensa durante el período de riego se procedió a cortar el riego volviéndose a activar con la misma sistemática de un comienzo del riego.

Para determinar el volumen de agua aplicada y programada se instaló un contador volumétrico de agua por parcela elemental (CZ 2000-3M, Qn= 1,5 m³/h, Contazara, S.A., Zaragoza, España) que recogía toda el agua que se aportaba a los 36 árboles que lo constituían. Para ello se realizaban lecturas semanales con objeto de detectar posibles errores en el sistema de riego y reajustar las dosis reales con las calculadas.

2.4. MEDIDAS DE ESTADO HÍDRICO

2.4.1. POTENCIAL HÍDRICO DE TRONCO (Ψ_t)

Las medidas se efectuaron semanalmente los primeros años y quincenalmente en etapas posteriores y al mediodía solar sobre tres árboles de cada parcela elemental. Fueron realizadas con una cámara de presión tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp, Model 3005, Santa Barbara, CA, USA) (figura 2.4a), en hoja cubierta con bolsa de plástico aluminizada al menos 2 horas antes del mediodía solar (Ψ_t , MPa) y según el procedimiento descrito por Shackel et al. (2000) (figura 2.4b). Estas medidas se utilizaban tanto para conocer el estrés hídrico generado como para programar el riego en los tratamientos RDC.



Figura 2.4. Cámara de presión tipo Sholander (Soil Moisture Equipment Corp., Model 3500, Santa Barbara, CA, USA) (a) y hoja cubierta con papel aluminizado para medir potencial hídrico de tronco (b).

2.4.2. INTEGRAL DE ESTRÉS (S_{ψ})

Para cada uno de los años del ensayo se determinó la integral de estrés hídrico y diferenciando las distintas fases de cultivo previamente establecidas para olivar. Entre los días del año 120-181 para fase I, 182-245 para la fase II y de 246-300 en fase III. Se aplicó el cálculo propuesto por Myers (1988):

$$S_{\psi} = [\sum_{i=0,t}(c - \Psi_{i, i+1}) \times n] \text{ (MPa x día)}$$

donde:

c: valor máximo del potencial hídrico de tronco al mediodía solar medido en todos los tratamientos durante el periodo de estudio considerado.

$\Psi_{i, i+1}$: potencial de tallo medio al mediodía solar en un intervalo de días [i, i+1]

n: número de días del intervalo.

Los diferentes términos del sumatorio corresponden a los intervalos de tiempo entre medidas consecutivas de potencial hídrico de tronco al mediodía solar.

2.5. CARACTERIZACIÓN DEL DESARROLLO

2.5.1. CRECIMIENTO DEL BROTE DEL AÑO

Al inicio de la brotación se marcaron 20 brotes por parcela elemental (2 brotes por árbol por cada lado del seto) y se midieron en longitud al final de cada fase de cultivo. En la última medida se contó además el número de nudos, distancias entre los entrenudos y área foliar total del brote. Estas mediciones se realizaron en la etapa joven y adulto 1 de desarrollo del olivar.

2.5.2 VOLUMEN DE COPA

La medida se realizó en los 10 árboles individuales de cada parcela elemental. Se utilizó la metodología descrita por Pastor et al. (1996), midiendo la altura de la copa (H) y dos diámetros perpendiculares entre sí (D1 y D2) (figura 2.5a). Con estos datos se calculó el volumen de copa individual de cada árbol (m^3 /copa) asimilándolo a una forma geométrica parecida. En etapa joven (2009-2011) a un elipsoide (figura 2.5 a) y en etapa adulta 1 y 2 (2012-2019) debido a los cortes de topping en altura y rebaje en las bajeras, a un cilindro con dos casquetes semiesféricos superior e inferior (figura 2.5 b). Este parámetro se estimó al final de cada fase de cultivo y se utilizó tanto para las programaciones de riego como para obtener el volumen de copa final al año.

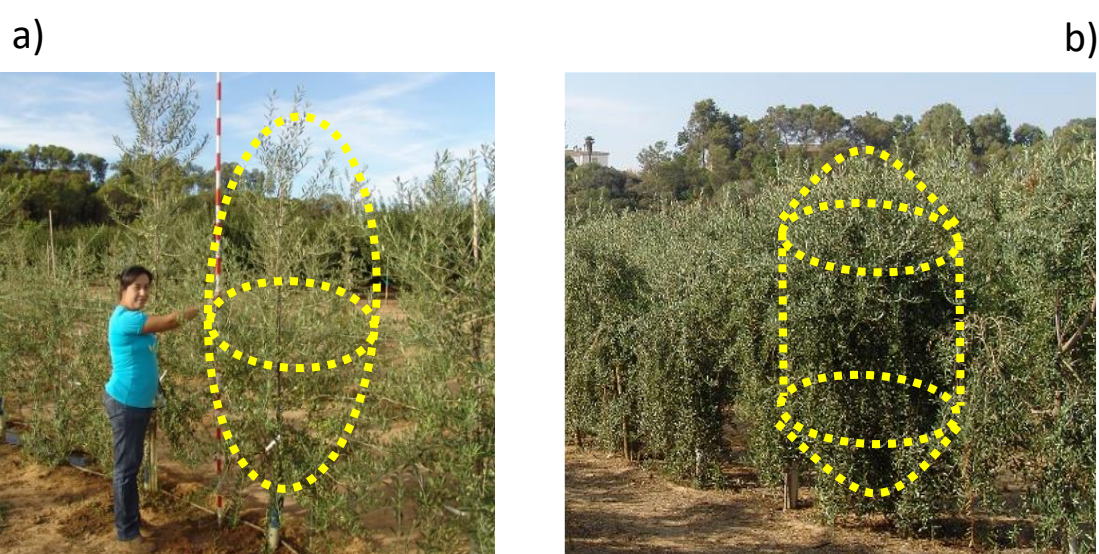


Figura 2.5. Medida de volumen de copa con barra metrada y forma geométrica simulada para cada etapa de cultivo joven (a) y adulta (b).

2.5.3. SECCIÓN DEL TRONCO

El crecimiento del tronco se midió al inicio de la brotación y al final de cada fase de cultivo establecido sobre los 10 árboles de control de cada parcela elemental. Se empleó para ello una cinta metrada, tomando el perímetro de tronco a una altura marcada de 30 cm sobre el suelo y calculado la sección transversal del tronco (TCSA). Los datos se expresaron como el crecimiento acumulado para todo el estudio y la tasa de crecimiento absoluto de la TCSA) alcanzado cada año mediante la expresión:

$A_{TCSA} = M2 - M1 / t2 - t1$ donde M es el valor TCSA (cm²) y t es el tiempo entre medidas.

2.5.4. MADERA DE PODA

Después de cada intervención de poda se pesó la madera fresca eliminada de manera conjunta de todos los árboles de medida de cada parcela elemental. Se diferenció en cada tratamiento entre zona topping, rama joven y madera vieja. Se tomó una submuestra de aproximadamente 1 kg de cada tipo de madera para determinar su peso seco en estufa de ventilación forzada a 105 °C hasta peso constante. El exceso de vegetación fabricada en un año se controla con la poda del año siguiente.

2.6. CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

2.6.1. FLORACIÓN Y CUAJADO



Figura 2.6. Conteo de flores y frutos cuajados en brotes de 2º año en olivar en seto variedad 'Arbequina'.

Se realizó un seguimiento de la floración sobre los mismos brotes marcados para el control del crecimiento vegetativo, considerando el crecimiento del año anterior y contando las inflorescencias formadas y los frutos llegados a término en recolección. (figura 2.6). Esta medida al igual que los brotes del año solo se controló en la etapa joven y adulto 1.

2.6.2. CRECIMIENTO DEL FRUTO

Se tomó una muestra de 30 aceitunas al azar por parcela elemental repartidas sobre sus 10 árboles de medida y entre las caras del seto. Estos muestreos se realizaron a las 2 semanas después de plena floración, al final de cada fase de cultivo y en cosecha y durante las etapas de desarrollo de seto joven y adulto 1. En estos frutos se determinó su peso fresco (Pf) y seco (Ps) (figura 2.7). Para el Ps se utilizó una estufa de ventilación forzada durante 7 días a 65 °C.



Figura 2.7. Peso fresco y seco (g) de muestras de aceitunas con balanza de precisión digital.

2.6.3. ÍNDICE DE MADUREZ

Las aceitunas se recogieron cuando alcanzaron un índice de madurez (IM) de aproximadamente 2,5 siendo el recomendado para la variedad 'Arbequina' ya que es cuando presenta un alto contenido en aceite, fácilmente extractable y garantiza una buena calidad de aceite como indica Beltrán *et al.* (2008). Además, en esta variedad solo algunas células de la piel tienen capacidad de síntesis de antocianinas por lo que solo se colorea parcialmente cuando ya ha alcanzado su madurez.

El muestreo consistió en 100 frutos por tratamiento y se calculó este parámetro según la metodología propuesta por el Consejo Internacional del aceite de oliva (IOOC., 1984). Dicho método consiste en clasificar las aceitunas en ocho categorías (0 a 7) en base al color de la piel de la aceituna y su pulpa, según la siguiente clasificación:

Grupo 0.- Piel verde intensa.

Grupo 1.- Piel verde amarillenta.

Grupo 2.- Piel verde con manchas rojizas.

Grupo 3.- Piel rojiza o morada.

Grupo 4.- Piel negra con pulpa blanca.

Grupo 5.- Piel negra con menos de la mitad de la pulpa morada.

Grupo 6.- Piel negra con la mitad o más de la pulpa morada.

Grupo 7.- Piel negra con toda su pulpa morada.

El Índice de madurez se obtiene con la siguiente fórmula:

$$IM = (Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7) / 100$$

Donde: A, B, C, D, E, F, G y H = número de frutos de cada categoría.

Esta medida comenzó a tomarse cuando aparecieron las primeras aceitunas violáceas realizándose un muestreo por tratamiento semanalmente. Cada tratamiento de riego se recogió cuando se alcanzó el punto de maduración marcado generando fechas de recolección diferentes entre los riegos aplicados.

2.6.4. PRODUCCIÓN Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Se recogieron y pesaron los 10 árboles de medida de cada parcela elemental de forma individual y se cogió una muestra de 300 aceitunas por árbol para determinar el IM final (100 frutos), nivel de carga del árbol y el peso fresco y seco del fruto (200 frutos 7 días a 65° C y peso constante) (figura 2.8). Del conjunto de la parcela elemental se tomó una muestra representativa de 5 kg para determinar el contenido graso y extraer el aceite de oliva. El aceite solo fue extruido en la etapa joven y adulta 1 del ensayo.



Figura 2.8. Recolección de aceitunas (a) y recogida de muestras (b) de olivar en seto, variedad 'Arbequina'. Finca La Orden-Valdesequera.

2.6.5. CONTENIDO GRASO

Para determinar el contenido graso y humedad de la muestra se trituró una submuestra de 500g de la aceituna con un triturador de martillo mezclando bien tanto la pulpa como el hueso y homogeneizando la pasta. Se pesó en fresco y posteriormente se introdujo en una estufa de secado a 105 ° C durante 48 horas hasta peso constante para determinar el contenido de humedad. Sobre esta pasta seca se determinó el contenido graso utilizando la metodología SOXHLET y expresándolo como porcentaje de pasta fresca (UNE Spanish Standard 55032, 1973).

A partir de los valores de producción de aceite, se calculó la eficiencia del uso del agua (EUA) (Hsiao *et al.*, 2007) pero tomando como base el cociente entre la producción de aceite por unidad de superficie (kg ha^{-1}) y el agua consumida por el cultivo (riego + precipitación). También se calculó la eficiencia productiva (EP) para conocer el equilibrio entre la actividad productiva y vegetativa mediante el cociente entre la producción de aceite (kg ha^{-1}) y el tamaño de los árboles (m^3 copa/ha).

2.7. CALIDAD DEL ACEITE

2.7.1. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

El aceite se obtuvo mediante un analizador ABENCOR que reproduce a escala de laboratorio el procedimiento industrial de obtención de aceite de oliva a tres fases durante las etapas de desarrollo joven y adulto 1.

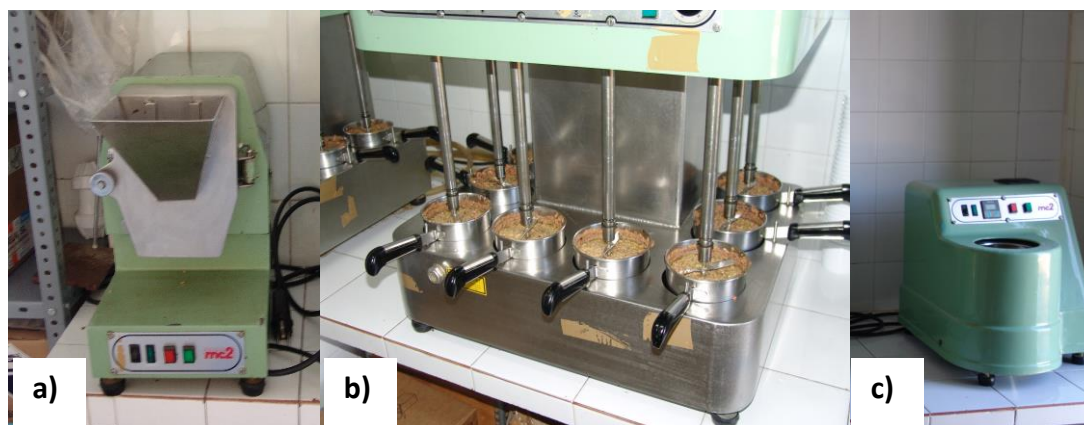


Figura 2.9. Equipo Abencor, constituido por un molino de martillo (a), termobatidora (b) y centrífuga vertical (c) del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-Finca La Orden.

El equipo consta de un molino de martillos, una termobatidora y una centrífuga vertical (figura 2.9) y el procedimiento consiste en tomar una muestra de 5 kg de aceitunas por parcela elemental que se lava y limpia eliminando resto de hojas y suciedad. Las aceitunas de cada muestra son trituradas y la pasta obtenida y homogeneizada se pasa a la termobatidora donde se somete al baño de agua a 25° C y batido durante 30 minutos. Posteriormente para separar la fase sólida de la líquida se introduce en una centrífuga vertical y se recoge el mosto oleoso en una probeta graduada de 500 ml donde una vez reposada y separado el aceite del líquido se extrae. Este aceite es filtrado y guardado en botellas de color ámbar sin espacio de cabeza bajo refrigeración (4°C) para su posterior análisis.

2.7.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE CLASIFICACIÓN

2.7.2.1. Grado de acidez

El grado de acidez de un aceite es el contenido en ácidos grasos libres presentes, expresados en tanto por ciento en peso de ácido oleico. La determinación consiste en disolver las muestras de aceite en una mezcla de éter etílico-etanol 96° (1:1 v/v) previamente neutralizada y posteriormente se valora con una disolución etanólica de hidróxido potásico de concentración 0,1 o 0,5 N usando fenolftaleína como indicador (Reglamento UE 1348/2013 Anexo II).

La acidez se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A = (282 \times V \times N) / (10 \times P)$$

A: Grado de acidez expresado en % de ácido oleico

V: Volumen de disolución de KOH gastado en la valoración (ml)

N: Normalidad exacta de la disolución de KOH.

P: Peso de la muestra de aceite (g)

En cuanto a la clasificación de los aceites según el Reglamento UE 1348/2013 del 16 de diciembre de 2013 para acidez:

Aceite de oliva virgen extra: $\leq 0,8$

Aceite de oliva virgen: $\leq 2,0$

Aceite de oliva lampante: $> 2,0$

Aceite de oliva refinado: $\leq 0,3$

2.7.2.2. Índice de peróxidos

El índice de peróxidos es un método químico para determinar el estado de oxidación inicial de un aceite o grasa y se expresa como los miliequivalentes de oxígeno activo por kg de aceite (Reglamento UE 1348/2013 Anexo III). La muestra se prepara con 2 g de aceite disueltos en una solución de ácido acético (10:15 v/v). Se añade 1 ml de una solución saturada de yoduro potásico, se agita el matraz durante 1 minuto y se deja en oscuridad 5 minutos más para posteriormente añadir 75 ml de agua destilada. Finalmente se valora el yodo liberado con una disolución de tiosulfato sódico (0,002 ó 0,01 N) utilizando almidón como indicador.

El índice de peróxidos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IP = ((V - V_0) \times N \times 1000) / P$$

IP: Índice de peróxidos en miliequivalentes de oxígeno activo por kg de aceite

V: Volumen de la solución de tiosulfato sódico empleado en la valoración (mL)

V₀: Volumen de tiosulfato sódico empleado en una prueba en blanco (mL)

N: Normalidad exacta de la solución de tiosulfato sódico empleada

P: Peso de la muestra de aceite (g)

En cuanto a la clasificación de los aceites según el Reglamento UE 1348/2013 del 16 de diciembre de 2013 para índice de peróxidos:

Aceite de oliva virgen extra: ≤ 20

Aceite de oliva virgen: ≤ 20

Aceite de oliva lampante: ---

Aceite de oliva refinado: ≤ 5

2.7.2.3. Absorbancia en el ultravioleta K_{232} y K_{270}

Permite determinar el estado de conservación de un aceite y las modificaciones inducidas por los procesos tecnológicos tanto en una primera fase de oxidación donde absorben radiación en torno a una longitud de onda de 232 nm, como en una etapa posterior de oxidación secundaria (longitud de onda de 270 nm). Se determina pesando 0,25 g de aceite en matraz aforado de 25 ml, enrasando con ciclohexano y homogeneizando la muestra (Reglamento de la Unión Europea 1348/2013 (Anexo IX)).

Ambos coeficientes se calculan mediante la expresión:

$$K_{232} = E_{232} / (C \times e)$$

$$K_{270} = E_{270} / (C \times e)$$

E_{232} : Extinción medida a 232 nm

E_{270} : Extinción medida a 270 nm

C: concentración de la disolución (g/100 ml)

e: Paso óptico de la cubeta (cm)

En cuanto a la clasificación de los aceites según el Reglamento UE 1348/2013 del 16 de diciembre de 2013 para K_{232} y K_{270} presenta los siguientes valores respectivamente para cada parámetro:

Aceite de oliva virgen extra: $\leq 2,50$ y $\leq 0,22$

Aceite de oliva virgen: $\leq 2,60$ y $\leq 0,25$

Aceite de oliva lampante: ---

Aceite de oliva refinado: --- y $\leq 1,10$

2.7.3. ANÁLISIS SENSORIAL

Es un método de evaluación de las características organolépticas de los aceites de oliva virgen donde un grupo de catadores expertos seleccionados y constituidos en panel miden e interpretan las sensaciones de flavor (olor y sabor) producidas por el aceite. Su clasificación se hará en base a la intensidad de los defectos detectados y los atributos positivos (frutado, amargo y picante).

La determinación fue realizada por el panel analítico de cata del CICYTEX-INTAEX usándose una sala de cata normalizada (ISO 8589, 2007) y copas según norma, conteniendo 15 ml de aceite a temperatura de $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Para la valoración de los atributos tanto positivos como presencia de negativos se usó la metodología y ficha descrita según el Reglamento (CE) nº 640/2008 de la Comisión de 4 de julio de 2008 y finalmente fueron clasificados según el Reglamento:

Aceite de Oliva Virgen Extra: $Md = 0$ y $Mf > 0$.

Aceite de Oliva Virgen: $Md \leq 3,5$ y $Mf > 0$.

Aceite de Oliva Lampante: $Md > 3,5$.

También se definieron atendiendo a la terminología de etiquetado comercial los cómo se describe en el mismo Reglamento con la siguiente terminología:

a) Con respecto de los atributos positivos frutado, picante y amargo:

“intenso” cuando la mediana del atributo en cuestión sea superior a 6

“medio” cuando la mediana del atributo en cuestión esté entre 3 y 6

“ligero” cuando la mediana del atributo en cuestión sea inferior a 3

b) El término “aceite equilibrado” puede utilizarse en aquel aceite que no es desequilibrado. Se entiende por desequilibrio cuando la mediana de los atributos amargo y/o picante es superior en dos puntos a la mediana del atributo frutado.

c) La expresión “aceite dulce” puede utilizarse en un aceite en el cual la mediana del atributo amargo y la del picante sean inferiores o iguales a 2.

2.7.4. OTROS PARÁMETROS DE CALIDAD

2.7.4.1. Composición de ácidos grasos

El método se basa en la determinación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos del aceite de oliva mediante cromatografía de gases, expresándose la composición de los ácidos grasos como el porcentaje del área de sus ésteres metílicos respecto al total. El procedimiento es el descrito en el Reglamento (UE) 1348/2013 (Anexos X «A» y X «B») y consiste en realizar la hidrólisis de los triglicéridos y la transesterificación en frío mediante una solución metanólica de KOH, para dar lugar a los ésteres metílicos de los ácidos grasos. Posteriormente se procede su separación mediante cromatografía de gases en columna capilar de los ésteres metílicos formados.

El cromatógrafo de gases utilizado fue el modelo HP 6890 (figura 2.10 a) y la identificación de cada ácido graso se ha realizado por comparación de los tiempos de retención con una solución patrón de los esteres metílicos de los ácidos grasos puros. El contenido de cada uno de los ésteres metílicos de los ácidos grasos (AG_i) se expresó como el porcentaje del total, calculándose de acuerdo con la siguiente expresión:

$$AG_i = (A_i \times 100) / A_t$$

A_i: área de pico correspondiente al éster metílico del ácido graso “i”

A_t: área total correspondiente a la suma de todos los ésteres metílicos.

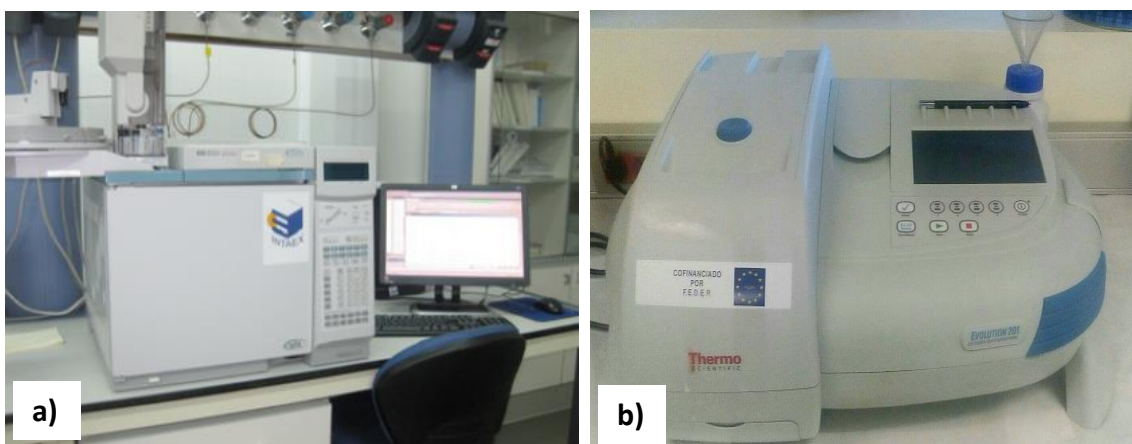


Figura 2.10. Cromatógrafo de gases modelo HP 6890 (a) y Equipo espectrofotómetro Scientific Evolution 201 (b) del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-INTAEX-La Orden.

2.7.4.2. Contenido total de fenoles

El procedimiento consta de dos procesos, una extracción de los compuestos fenólicos con una mezcla de metanol-agua según el método propuesto por Montedoro *et al.* (1992) y su posterior determinación colorimétrica mediante la adición de reactivo Folin-Ciocalteu y medida espectrofotométrica (figura 2.10b) de los complejos azulados formados (método descrito por Gutfinger, 1981).

Para su cuantificación se realiza una curva patrón, procediendo de igual forma que en el análisis, pero sustituyendo el extracto de fenoles por disoluciones de ácido cafeico de concentraciones entre 5 y 120 mg/l. Los resultados se expresan como mg de ácido cafeico por kg de aceite.

2.7.4.3. Estabilidad oxidativa

La estabilidad frente a la oxidación proporciona una buena estimación de la susceptibilidad del aceite a la degeneración autooxidativa, que conduce fundamentalmente al enranciamiento. Para la determinación se ha empleado un equipo Rancimat 743 (Metrohm, Herisau, Switzerland) (figura 2.11) tomando 2,5 g de aceite de oliva a la que se le hace pasar un flujo de aire de 10 l/h a 120° C de temperatura según la metodología propuesta por Gutiérrez (1989).

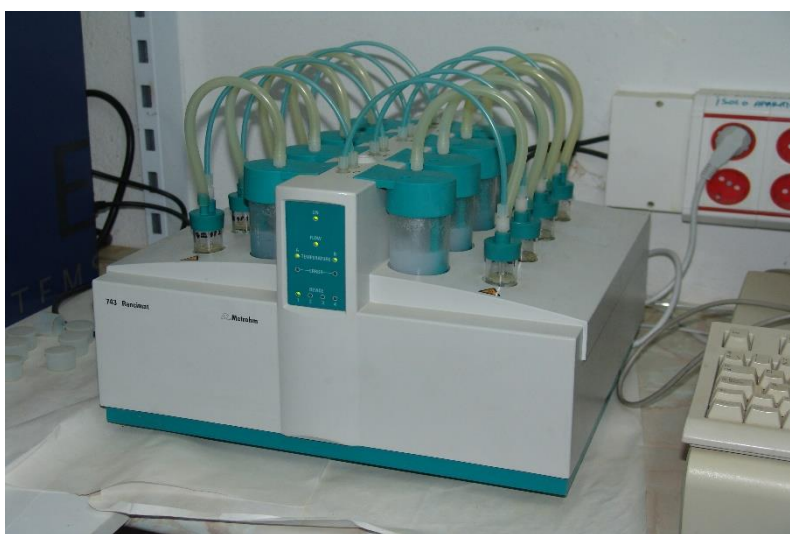


Figura 2.11. Equipo Rancimat 743 para determinación de estabilidad oxidativa del laboratorio de calidad en aceite del CICYTEX-La Orden.

2.7.4.4. Pigmentos fotosintéticos

Los pigmentos presentes en el aceite de oliva se determinan según el método propuesto por Mínguez-Mosquera *et al.* (1991) y consiste en disolver 7.5 g de aceite en ciclohexano, enrasando a 25 ml. Se mide la absorbancia en un espectrofotómetro a la longitud de onda de 670 nm, para el componente mayoritario de la fracción clorofílica (feofitina *a*), y a 472nm para los pigmentos carotenoides (luteína).

La concentración de pigmentos clorofílicos y carotenoides, en mg de pigmento por kg de aceite, se calcula a partir de la expresión:

$$C = (A \times 10^6) / (E_0 \times 1000 \times d)$$

C: Concentración de pigmento en la muestra en mg kg⁻¹ de aceite

A: Absorbancia a 670 nm para pigmentos clorofílicos y a 472 nm para los carotenoides

E₀: Coeficiente de extinción específica siendo para la feofitina 613 y para la luteína 2000

d = es el espesor de la cubeta espectrofotométrica.

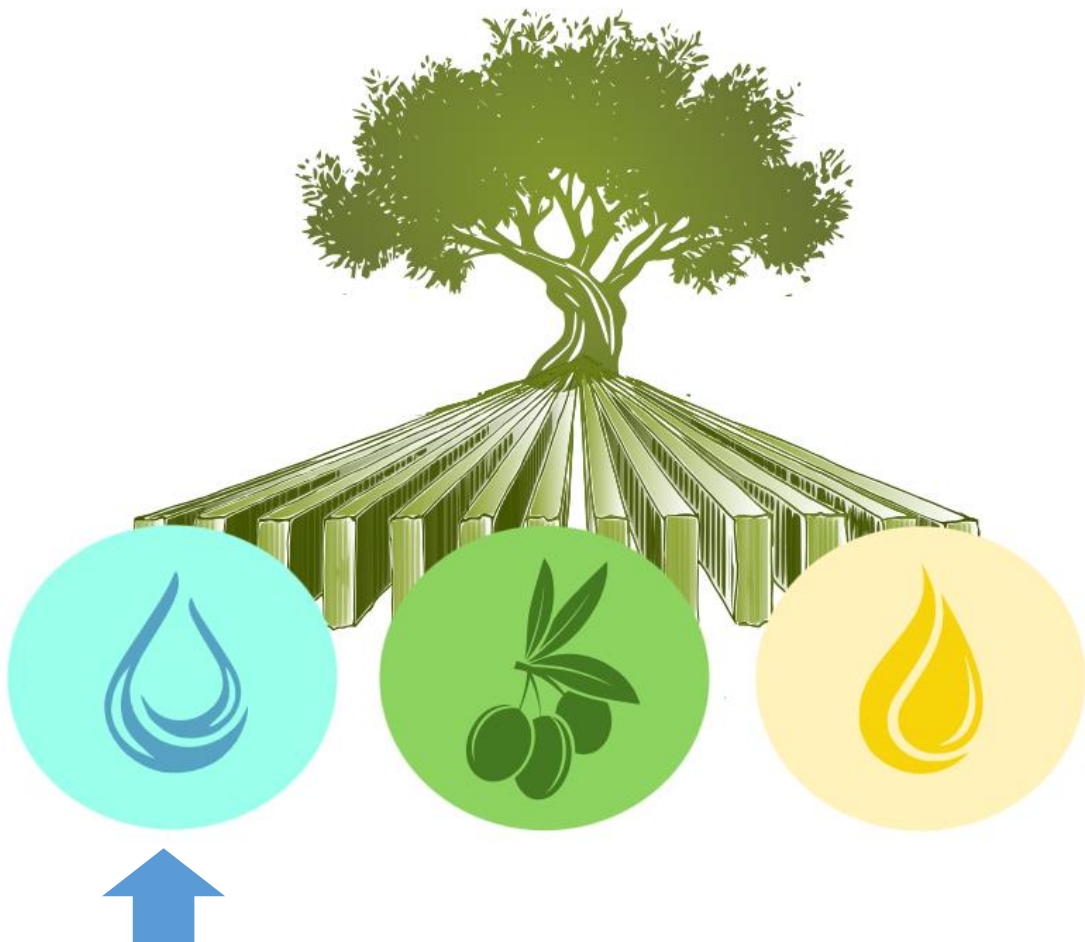
2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico de los datos consistió en a un análisis de la varianza (ANOVA) de un factor para cada año, realizando el análisis con el programa SPSS versión 20 (IBM, Armonk, NY) y la comparación de medias con el test de Tukey (P<0,05). Por último, también se ha utilizado modelos de regresión para comparar diferentes parámetros.

Para la introducción de datos y su representación gráfica se utilizó la hoja de cálculo Microsoft Excell, del paquete Office para Windows.

CAPÍTULO 3:

RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (I): RELACIONES HÍDRICAS Y CONTROL DEL VIGOR.



CAPÍTULO 3: RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (I): RELACIONES HÍDRICAS Y CONTROL DEL VIGOR.

3.1. RESULTADOS

3.1.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS, NECESIDADES HÍDRICAS Y RIEGO

En la tabla 3.1 se presentan los datos climáticos de todos los años de estudio (2009-2019) y separados por etapas de desarrollo del cultivo (A, B y C). En los tres primeros años de ensayo (seto joven) la T^{a} máxima media en los años 2009 y 2011 fue muy similar y en torno a los 23,5 °C mientras que el año 2010 fue un grado menor. La T^{a} mínima media estuvo en torno a los 10 °C aunque ligeramente superior en 2010 y con días de heladas muy bajos en los dos primeros años (9 días) frente a los 20 días del año 2011. En ninguno de los años se produjo heladas en el mes de noviembre (recolección). Con respecto a la pluviometría las tres campañas fueron muy diferentes entre sí, con pluviometría más alta en 2010 y por encima de la media de la zona situada en 400 mm, una campaña de 2011 más seca de lo habitual y un año 2009 con unas precipitaciones entorno a la media.

En la siguiente etapa de desarrollo del olivar (2012-2015) (Tabla 3.1b) la T^{a} máxima media fue similar en los tres primeros años mientras que fue más alta en 2015. Con respecto a la T^{a} mínima los años 2012 y 2013 fueron más fríos que los años posteriores produciéndose más días de heladas anuales y destacando el mes de noviembre de 2013 donde se produjeron 10 días de heladas sucesivas en plena recolección de aceitunas y provocó que el aceite obtenido en esta campaña estuviese helado (año descartado en el ensayo 3). Con respecto a la pluviometría, en esta etapa (adulto 1) encontramos dos años de bajas precipitaciones (2012 y 2015) mientras que las otras campañas estuvieron por encima de la media de la zona.

En la tabla 3.1 c se presenta la etapa de cultivo de olivar adulto 2 (2016-2019) donde tenemos dos años más cálidos con T^{a} máximas más altas de la media por encima de los 24°C. Esos años corresponden a 2017 y 2019 que coinciden con ser además los

más secos, con T^a mínimas más bajas y alto número de días de heladas. Ninguna de las campañas sufrió heladas en recolección ya que solo en el año 2017 hubo 3 días, pero a final del mes de noviembre. Los años 2016 y 2018 fueron años con más lluvia con respecto a los otros dos años secos por debajo de la media. La campaña 2017 destacó por tener una primavera y otoño bastante seco y el 2019 por un invierno y verano muy seco.

Tabla 3.1. Datos mensuales de T max, T min, heladas, P y evapotranspiración de ETo de la estación agrometeorológica de la “Finca La Orden-CICYTEX”. Año 2009-2019.

(A) ETAPA JOVEN	AÑO 2009	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	12,5	16,1	21,8	20,5	27,1	30,5	32,3	33,9	29,2	26,1	19,4	13,9	23,6
	Tmin (días heladas)	4,0 (6)	3,2	5,8	6,7	11,1	15,6	14,8	16,9	14,9	11,4	7,9	5,2 (3)	9,8 (9)
	ETo (mm)	36	51	104	121	175	182	220	193	136	83	55	37	1391
	P (mm) /días P	66 (11)	46 (8)	6 (2)	35 (6)	22 (3)	27 (4)	2 81)	4 (1)	6 (4)	53 (3)	17 (5)	202 (15)	487 (63)
	AÑO 2010	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	12,3	14,2	17,0	22,2	24,4	29,8	35,0	35,7	27,0	22,3	16,5	13,8	22,5
	Tmin (días heladas)	4,2 (3)	5,8 (1)	6,8	9,7	10,6	14,3	17,1	17,0	13,0	11,5	6,2	6,5 (5)	10,2 (9)
	ETo (mm)	34	49	76	121	160	178	221	187	129	78	43	38	1315
	P (mm) /días P	87 (12)	145 (18)	86 (12)	44 (6)	42 (4)	32 (4)	1 (1)	1 (1)	11 (3)	82 (7)	69 (9)	148 (14)	750 (91)
	AÑO 2011	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	12,6	16,6	17,5	24,3	27,2	30,4	32,5	32,2	30,2	27,1	17,7	13,5	23,5
	Tmin (días heladas)	5,3 (2)	3,0 (6)	6,7 (1)	10,5	14,0	14,2	15,1	16,2	13,1	9,9	7,9	2,9 (11)	9,9 (20)
ETo (mm)	38	51	79	121	158	194	214	177	127	91	40	27	1316	
P (mm) /días P	21 (6)	35 (5)	59 (8)	61 (8)	55 (6)	7 (2)	0	18 (3)	12 (2)	16 (3)	84 (9)	17 (6)	385 (58)	
(B) ETAPA ADULTO 1	AÑO 2012	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	14,3	15,6	21,0	18,4	27,5	30,5	32,8	32,5	29,1	23,0	17,0	13,7	23,0
	Tmin (días heladas)	-0,5 (22)	-3,1 (23)	4,4 (2)	7,5	12,3	14,7	15,0	14,9	13,7	10,6	7,7	4,6 (4)	8,5 (51)
	ETo (mm)	31	60	109	108	168	198	216	185	119	73	39	22	1328
	P (mm) /días P	11 (2)	2 (3)	6 (1)	44 (11)	33 (6)	0	0	0	35 (6)	60 (8)	95 (10)	53 (10)	340 (56)
	AÑO 2013	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	14,0	14,2	16,3	20,7	24,6	29,7	33,8	34,0	30,9	24,4	16,7	15,0	22,9
	Tmin/días heladas	4,5 (3)	2,2 (89)	7,4	7,4	8,7	12,9	16,1	15,6	14,3	10,9	3,2 (10)	1,0 (15)	8,7 (36)
	ETo (mm)	30	43	64	105	153	176	198	177	123	69	35	28	1202
	P (mm) /días P	56 (11)	61 (10)	180 (19)	22 (7)	16 (5)	5 (2)	0	10 (1)	9 (1)	134 (6)	5 (1)	71 (5)	568 (68)
	AÑO 2014	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	14,7	14,8	18,9	22,7	27,2	29,2	32,2	32,7	28,1	25,7	18,1	13,6	23,1
	Tmin/días heladas	6,3	5,7	5,3	9,9	11,0	13,4	14,8	15,1	15,6	12,3	8,9	2,2 (11)	10,0 (11)
ETo (mm)	35	46	85	106	171	175	193	191	109	69	40	22	1243	
P (mm) /días P	58 (11)	71 (15)	26 (6)	55 (6)	8 (2)	5 (2)	5 (2)	0	56 (8)	82 (6)	89 (14)	14 (3)	469 (75)	
AÑO 2015	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL	
Tmax (°C)	13,5	14,6	20,3	22,8	29,5	31,9	34,8	32,5	28,4	23,1	20,1	16,7	24,0	
Tmin/días heladas	0,2 (18)	2,9 (5)	4,8 (2)	9,5	11,5	15,5	16,6	16,3	13,0	12,9	5,8 (3)	4,3 (1)	9,4 (29)	
ETo (mm)	29	54	91	113	181	188	219	179	122	68	40	27	1311	
P (mm) /días P	31 (6)	11 (5)	23 (3)	33 (7)	0	20 (3)	0	2 (1)	18 (3)	103 (3)	15 (3)	28 (4)	283 (45)	

C) ETAPA ADULTO 2	AÑO 2016	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	14,7	15,0	17,0	20,2	23,4	31,2	35,7	35,4	31,5	24,8	17,3	15,0	23,4
	Tmin (días heladas)	6,3 (1)	5,2 (3)	4,0 (3)	7,9	10,5	14,1	17,1	16,6	13,4	11,4	5,8	3,4 (8)	9,7 (15)
	ETo (mm)	31	49	78	102	130	192	210	191	133	72	36	24	1247
	P (mm) /días P	66 (11)	43 (9)	28 (5)	62 (10)	93 (9)	0	7 (2)	0	16 (3)	69 (8)	72 (6)	33 (6)	489 (69)
	AÑO 2017	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	14,0	16,4	19,3	25,4	28,3	34,3	35,3	35,3	31,2	29,1	19,9	14,7	25,3
	Tmin (días heladas)	0,6 (15)	5,7 (1)	5,9	8,6	12,5	16,6	15,7	16,1	13,0	10,7	4,5 (3)	2,5 (16)	9,4 (35)
	ETo (mm)	29	47	86	135	168	212	217	194	141	85	41	28	1383
	P (mm) /días P	30 (4)	68 (9)	41 (9)	8 (2)	22 (4)	4 (2)	3 (1)	12 (2)	0	16 (4)	36 (5)	35 (5)	275 (47)
	AÑO 2018	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
	Tmax (°C)	13,5	15,3	15,9	20,1	24,1	29,1	31,6	36,5	33,2	23,9	17,0	14,1	22,9
	Tmin (días heladas)	3,2 (2)	1,5 (9)	6,7	8,7	10,5	14,9	15,4	17,4	16,5	10,5	7,6	3,2 (2)	9,7 (13)
	ETo (mm)	31	52	81	105	131	169	197	183	128	75	38	23	1213
	P (mm) /días P	36 (7)	22(5)	141 (19)	70 (11)	29 (6)	8 (3)	0	2 (1)	3 (1)	80 (10)	66 (13)	11 (4)	467 (80)
	AÑO 2019	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	ANUAL
Tmax (°C)	14,8	18,2	21,4	20,8	28,9	30,0	33,5	34,2	31,1	25,4	17,1	15,8	24,3	
Tmin/días heladas	0,2 (18)	2,0 (6)	4,6	7,9	11,9	13,3	16,2	16,2	14,4	10,5	8,8	6,1 (1)	9,3 (25)	
ETo (mm)	30	53	105	111	187	198	215	192	137	85	49	37	1399	
P (mm) /días P	12 (4)	9 (2)	28 (5)	56 (13)	6 (2)	0	0	0	4 (1)	10 (3)	65 (10)	90 (9)	282 (49)	

Un aspecto característico de la zona es la distribución irregular de la pluviometría y concentrada en el período de octubre a mayo, con veranos calurosos y prácticamente sin precipitaciones. Tenemos, por tanto, meses donde no se cubrirán las necesidades hídricas y otros en los que la lluvia supera la capacidad de almacenamiento del suelo. En la primera etapa de desarrollo, el año 2010 que fue el más lluvioso coincide con una buena primavera y otoño, mientras que 2011 (año con menos lluvia total) presentó una buena primavera, pero un otoño muy seco. Sin embargo, en 2009 con una pluviometría media, el invierno y primavera fueron muy secas y el otoño tardío con un final de año muy lluvioso.

En estado adulto 1, los años más secos (2012 y 2015) se caracterizan por presentar un invierno y primavera con escasas precipitaciones y además, el año 2012 tuvo un verano sin precipitaciones. Los años lluviosos (2013 y 2014) los meses de mayo y junio fueron especialmente secos (procesos de floración y cuajado). En cuanto al estado de seto adulto 2 y su distribución pluviométrica destaca el año 2017 por presentar una primavera y otoño bastante seco y el 2019 por un invierno y verano muy seco.

3.1.2. CARACTERISTICAS DEL SUELO

Como muestra la tabla 3.2, el suelo es un Alfisol, suborden Xeralf, subgrupo Typic Haploxeralf según la clasificación USDA. De textura franco-arenosa en el perfil superior e inferior y franca en los intermedios, con una débil estructura, de colores claros, profundidad efectiva de más de 2 m y densidad aparente (ρ_b) de 1.72 g cm^{-3} . En la superficie presenta bajo contenido de N, P y K y con contenido en materia orgánica inferior del 1%, siendo su relación carbono/nitrógeno por tanto bajo. La capacidad de intercambio catiónico es baja con valores por debajo de los normales ($15\text{-}20 \text{ meq}/100\text{g}$) siendo esto más acusado en los horizontes más superficiales y profundos acorde con una menor cantidad de arcilla. El contenido de agua en el límite superior (capacidad de campo) fue de $0.21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, mientras que el límite inferior estuvo en $0.09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Tabla 3.2. Características fisicoquímicas del suelo a diferentes profundidades en olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca La Orden-CICYTEX año 2009.

Nombre de la determinación	Profundidad					
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180
Arena (%)	53,22	52,04	44,82	46,75	51,84	53,82
Arcilla (%)	12,52	13,96	22,53	22,26	16,80	15,23
Limo (%)	34,26	34,01	32,65	31,01	31,36	30,95
Elementos gruesos (%)	1,69	1,48	0,79	0,44	0,63	0,75
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco	Franco	Franco	Franco-arenoso
M.O. oxidable (%)	0,38	0,23	0,18	0,18	0,13	0,12
pH en agua 1:2,5	6,40	4,82	6,59	6,56	6,72	6,65
C.E. 1:5 a 20°C (mmhols/cm)	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08
C.I.C. (meq/100g)	6,96	9,54	10,98	10,77	9,51	9,08
Relación C/N	6,69	4,95	4,46	5,62	5,36	5,29
Nitrógeno total (kjekdahl) (%)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Fósforo asimilable, mét. Olsen (P) (ppm)	20,56	4,25	0,40	0,40	0,40	0,40
Potasio (K^+) (meq/100g)	0,14	0,14	0,17	0,18	0,13	0,18
Sodio (Na^+) (meq/100g)	0,27	0,27	0,29	0,25	0,22	0,23
Mg asimilable (meq/100g)	1,96	2,74	3,24	3,35	3,11	2,92
Ca asimilable (meq/100g)	4,64	5,66	7,97	8,62	6,53	6,74

3.1.3. NECESIDADES HÍDRICAS Y RIEGO APLICADO

La figura 3.1 muestra los valores de Kc que se han obtenido anualmente en el olivar de estudio utilizando la metodología de Orgaz *et al.* (2006). En todos los años y etapas de desarrollo los valores más bajos se obtienen entre abril y agosto, incrementándose en otoño e invierno para volver descender en primavera. Las Kc medias obtenidas van desde 0,60, 0.66 y 0.63 para los meses estivales en etapa joven, adulto 1 y adulto 2 respectivamente. En primavera fueron de 0.57, 0.62 y 0.62 y en otoño de 0.89, 1.00 y 0.97 en cada fase de desarrollo estudiada. En los meses invernales siempre fue de más de 1,0.

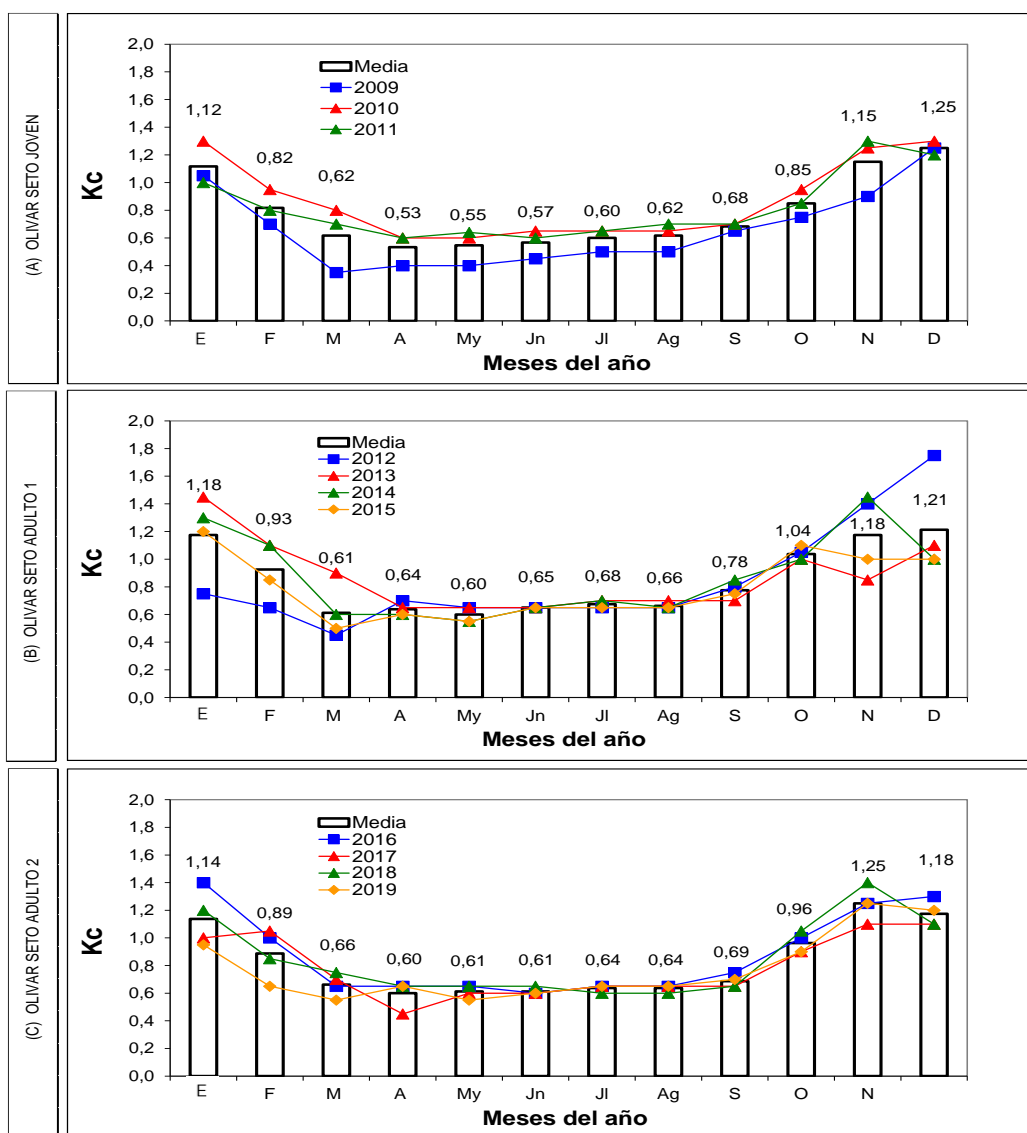


Figura 3.1. Coeficiente de cultivo (Kc) mensual calculado para cada año y media por etapa de desarrollo (a, b y c) de un olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX. Años 2009-2019.

Con estos datos obtenemos valores de ETc medias que ascienden a 889, 922 y 921 mm anuales para olivar seto joven y seto adulto 1 y 2 respectivamente (tabla 3.3). Gran parte de la pluviometría es producida fuera de las fases del cultivo (fase I, II y III) y no puede ser totalmente aprovechada de tal forma que en los tres primeros años el 65, 50 y 20 % de las precipitaciones efectiva se produjeron fuera de este periodo. En los 4 años siguientes el porcentaje oscilo en 20 33, 31 y 25% para cada año y en los últimos 4 años 29, 33, 30 y 40%

El inicio de la campaña de riego fue el día del año (dda) 125, 145 y 144 para el tratamiento Control en los años 2009, 2010 y 2011 respectivamente (seto joven), casi un mes que para el tratamiento RDC-1 en 2009 y algo más de una semana el resto de los años (tabla 3.3). El tratamiento RDC-2 se retrasó 42, 48 y 21 días para cada uno de los tres años iniciales de estudio, mientras que el último tratamiento de riego se inició los dda 174, 250 y 200, es decir finales de junio, primeros de septiembre y mediados de julio. Por tanto, el RDC además de disminuir la dosis de riego redujo la duración de la campaña siendo el final de la misma similar para todos los tratamientos con la llegada de las precipitaciones otoñales. En los cuatro años siguientes (2012-2015) considerado seto adulto 1, los dos primeros años el tratamiento RDC-1 se activó a los 14 y 26 días después del Control, pero en los años sucesivos fue activado en la misma fecha. El tratamiento RDC-2 como media se comenzó a regar 32 días después y para el tratamiento más deficitario encontramos que hasta bien entrado julio no es necesario aplicar riego e incluso en el año 2014 prácticamente no se regó. Por último, en los años correspondientes a un seto adulto 2 (2016-2019) todos los tratamientos de riego se activaron en la misma fecha salvo en primer año (2016) donde los dos tratamientos más deficitarios se retrasaron en 21 y 70 días respectivamente. Cabe señalar que hubo dos años en toda la serie de datos (marcados con *) que fue necesario aplicar riego mucho antes que en otras campañas bien por no producirse lluvias primaverales o por producirse lluvias una vez iniciado el riego que provocó un corte y posterior activación.

La adopción de las estrategias de RDC supuso una reducción considerable en el volumen de agua de riego aplicada en todos años de ensayo y con diferencias entre las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, como se puede ver en la figura 3.2. La dosis máxima (Control) fue aumentando a medida que el olivar se fue desarrollando y varió desde 3.930, 5.010 y 5.300 m³/ha para olivar joven y adulto 1 y 2. En la etapa de seto joven (2009-2011) y considerando que en el Control aportó el 100% de ETc, en RDC-1 el agua media aplicada fue del 64 %, mientras que en RDC-2 y 3 fue del 27 % y del 11% respectivamente. En seto adulto 1 (2012-2015) la media de las cantidades de riego aportadas en los tratamientos deficitarios fue del 65%, 26% y 8 % para RDC-1, 2 y 3. En la última etapa de desarrollo entre los años 2016-2019 (seto adulto 2) estos porcentajes variaron en 69%, 49% y 33% respectivamente.

Tabla 3.3. Necesidades hídricas del olivar y agua total aplicada tanto por riego como por la precipitación efectiva (Pe) para las distintas fases y desarrollo del cultivo en un olivar en seto variedad `Arbequina`. Finca la Orden-CICYTEX. Años 2009-2019.

	Año	Periodo	ETc (mm)	Pe (mm)	Agua aplicada (mm)			
					Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
(A) ETAPA JOVEN	2009	Fase I	237	63	98	61	22	6
		Fase II	206	4	156	73	26	0
		Fase III	200	53	87	56	34	31
		Total	762	341	342	190	81	36
		Duracion	(DDA)		125-314	153-314	167-314	174-314
	2010	Fase I	345	144	73	24	0	0
		Fase II	265	2	200	134	28	0
		Fase III	219	114	115	70	39	29
		Total	969	525	388	228	67	29
		Duracion	(DDA)		145-330	152-330	193-330	250-330
	2011	Fase I	345	128	94	65	24	0
		Fase II	262	12	241	169	71	6
Fase III		218	78	115	104	78	62	
Total		936	270	450	339	174	67	
Duracion		(DDA)		144-327	133-327	165-327	200-327	
(B) ETAPA ADULTO 1	2012	Fase I	362	58	224	111	69	51
		Fase II	261	0	261	215	94	6
		Fase III	226	133	118	127	45	35
		Total	950	238	603	454	208	92
		Duracion	(DDA)		136-292 *	150-292 *	157-292 *	206-292 *
	2013	Fase I	340	156	157	27	2	1
		Fase II	262	7	246	169	74	0
		Fase III	185	103	97	97	65	36
		Total	910	398	500	293	140	37
		Duracion	(DDA)		129-290	155-290	178-290	246-290
	2014	Fase I	323	65	139	77	8	6
		Fase II	259	4	228	118	54	0
Fase III		220	159	71	44	20	0	
Total		920	328	438	239	82	6	
Duracion		(DDA)		133-260	133-260	178-260	-	
2015	Fase I	335	53	156	91	35	10	
	Fase II	258	1	222	157	43	15	
	Fase III	206	94	87	72	6	7	
	Total	907	197	465	321	84	31	
	Duracion	(DDA)		128-304	128-304	146-251	160-251	
(B) ETAPA ADULTO 2	2016	Fase I	317	129	54	29	10	0
		Fase II	261	5	256	147	114	62
		Fase III	217	106	160	107	78	21
		Total	917	339	470	284	202	84
		Duracion	(DDA)		160-295	160-295	172-295	182-295
	2017	Fase I	349	52	169	100	69	59
		Fase II	267	10	257	165	91	59
		Fase III	213	36	172	136	89	74
		Total	938	192	599	400	249	193
		Duracion	(DDA)		163-304	163-304	163-304	163-304
	2018	Fase I	324	174	95	82	64	56
		Fase II	228	1	194	132	89	48
Fase III		215	98	147	105	88	57	
Total		873	317	435	319	241	161	
Duracion		(DDA)		163-291**	163-291**	163-291**	163-291**	
2019	Fase I	352	63	153	114	94	75	
	Fase II	265	0	265	186	141	103	
	Fase III	233	56	198	151	117	88	
	Total	957	197	615	452	353	267	
	Duracion	(DDA)		122-308	122-308	122-308	122-308	

* Riego todos los tratamientos durante DDA 86-117

** Riego todos los tratamientos durante DDA 121-140

Analizando las diferencias estacionales y de etapas de desarrollo del cultivo observamos que en la fase II (de endurecimiento de hueso a envero) en un seto joven se aplicó de media aproximadamente el 50% del riego en los tratamientos Control y RDC1, del 39% en RDC-2 y tan solo el 4% en el tratamiento más deficitario (tabla 3.3). En fase III (primero de septiembre a recolección) es donde se aplicó la mayor cantidad de agua en los tratamientos más deficitarios con el 47 y 92% respectivamente, mientras que fue del 30 y del 27% para RDC-1 y Control. Por tanto, en fase I (desde brotación a endurecimiento de hueso) es donde menos cantidad de riego se aplicaba en cada uno de los tratamientos. En olivar en seto adulto 1 tiene un porcentaje de riego en fase II muy similar a la fase anterior, pero en este caso el 50% de la dosis total aplicada ocurre en todos los tratamientos menos en el más deficitario (RDC-3) con un 12%. Sin embargo, en fase III es el momento en el que tratamiento RDC-3 recibe su mayor parte del riego con un 47% del total. RDC-1 y 2 recibieron ambos el 26% y el tratamiento Control el 19%. En este caso y como diferencia con respecto a la fase joven, el Control fue el único tratamiento que recibió más dosis en fase I que en la III con un 34% de la dosis total. Por último, cuando tenemos un olivar adulto 2, en fase II todos los tratamientos recibieron cantidades muy similares situadas entre el 39 y 46% del riego total aplicado. En fase III entre el 32 y 36% y el resto y también muy similar entre sí en la fase inicial que además fue la que menos cantidad se aplicó.

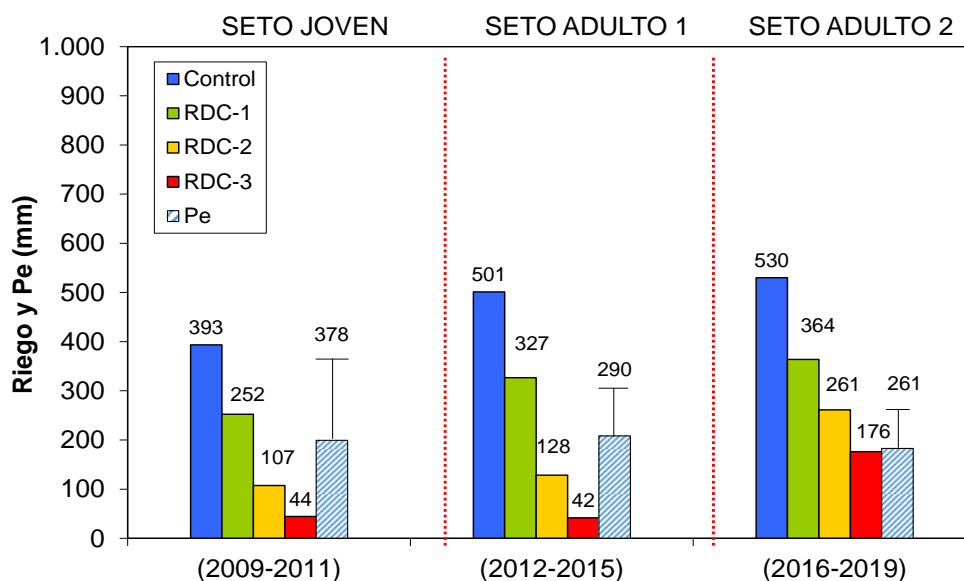


Figura 3.2. Agua media total aplicada tanto por riego como por la precipitación efectiva para las distintas etapas de desarrollo de cultivo de un olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX. Año 2009-2019. Pe se representa como ocurrida en fases de cultivo (barra) o fuera de ella (línea).

3.1.4. POTENCIAL HÍDRICO E INTEGRAL DE ESTRÉS.

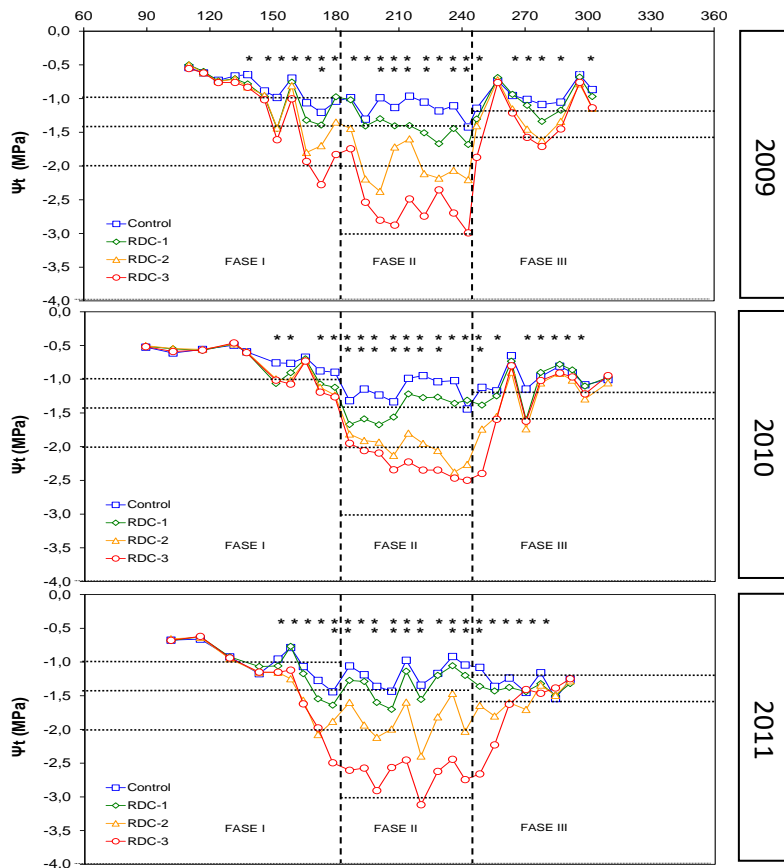


Figura 3.3: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto joven variedad. 'Arbequina'. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales.

La figura 3.3 muestra la evolución estacional del potencial hídrico de tronco (Ψ_t) en los cuatro tratamientos para los tres años de etapa de seto joven. Los diferentes tratamientos partieron de valores similares tras la brotación y a medida que avanzó la estación el Ψ_t descendió progresivamente debido a la falta de lluvia y agotamiento de las reservas hídricas del suelo. El año 2010 con una pluviometría mayor alcanzó potenciales más altos con respecto a los otros dos años, no hallándose diferencias entre los cuatro tratamientos en fase I. El resto de los años encontramos al menos una fecha en donde si encontramos diferentes estados hídricos entre todos los riegos. En estos tres años después del inicio de la campaña de riego, se produjeron lluvias en el mes de mayo que dieron lugar a una recuperación de Ψ_t en todos los tratamientos para volver a diferenciarse para el inicio de la fase II. Del mismo modo en la fase III se produjeron

lluvias fuerte otoñales en el mes de octubre en los dos primeros años que hizo recuperar todos los tratamientos salvo en 2011 que fueron más tardía y mostro más diferencias en esta fase que el resto de los años. Solo el año 2009 y debido a que noviembre no fue muy lluvioso se volvieron a encontrar diferencias entre los tratamientos.

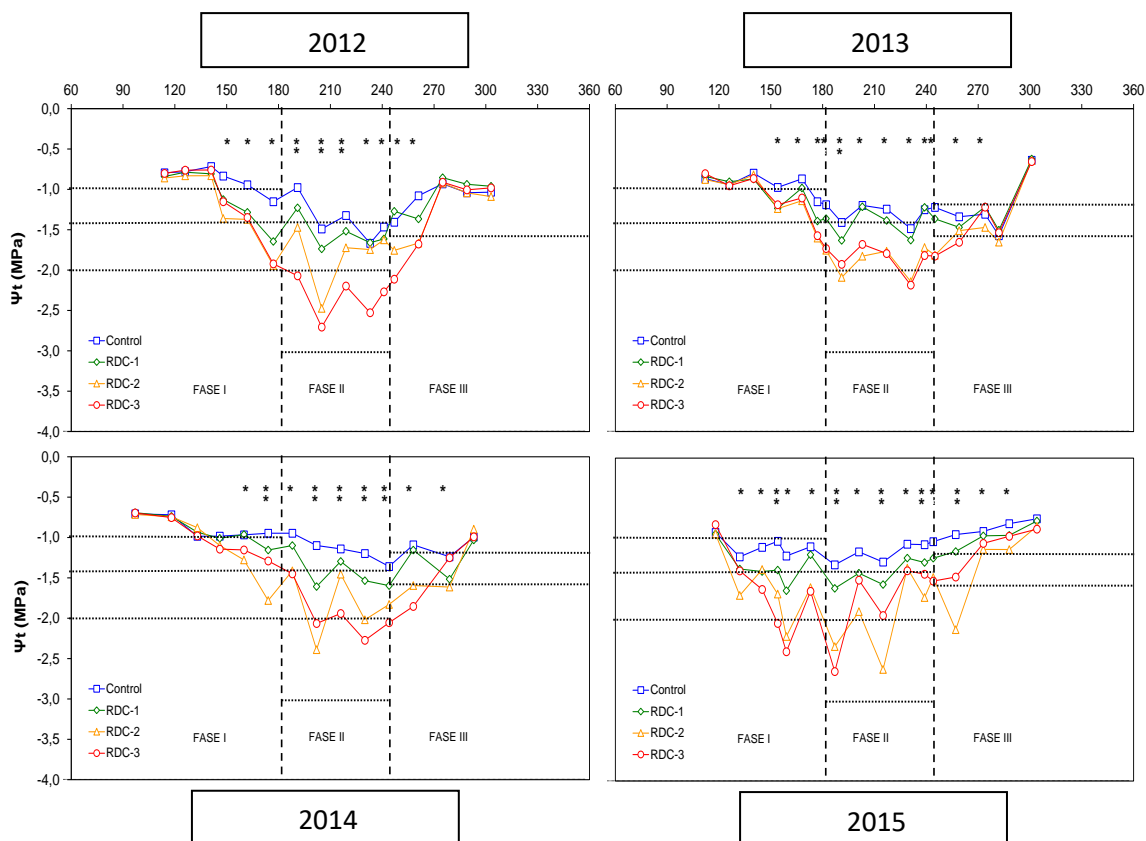


Figura 3.4: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto adulto 1 variedad 'Arbequina'. Finca La Orden- CICYTEX (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales.

Con respecto a la segunda etapa de desarrollo del olivar en seto (adulto 1) nos encontrábamos con dos años más lluviosos (2013 y 2014) y dos más secos (2012 y 2015) lo cual se observa en la evolución de potencial hídrico (figura 3.4) con niveles más bajos en toda la campaña en esos años pocos lluviosos. En 2012 aunque en fase I no encontramos ninguna medida con diferencias entre todos los tratamientos, se observa una bajada paulatina durante toda la fase del potencial hídrico de tallo. En fase II encontramos hasta 3 momentos donde las diferencias fueron marcadas entre los

distintos riegos y en fase III solo hubo diferencias entre los más y menos regados para recuperarse con las lluvias otoñales tardías.

El año 2013 (más lluvioso) las diferencias fueron las menos marcadas de todos los años con tan solo un momento a principios de la fase II donde se encontraron diferencial entre todos los tratamientos de riego. Sin embargo, en 2014, si hubo más periodos donde el potencial de tallo fue diferente entre los distintos riegos incluso en fase I. Destaca unas lluvias otoñales muy tardías que provocaron que se pudiese provocar un estrés ligero en esta fase. Además, hubo un momento den la campaña de riego (fase II) que el tratamiento RDC-2 sufrió un fallo en el riego y calló por encima del nivel establecido para posteriormente rehidratarse. Este mismo fallo de riego sucedió en la campaña siguiente en fase II (2015) que provoco que el tratamiento RDC-2 se estresara por debajo de los niveles de potencial establecidos y superando en algunos momentos al tratamiento deficitario más severo (RDC-3). Aunque fue la campaña más seca de este estado de desarrollo con una primavera y otoño bastantes escasos de lluvia, se produjeron lluvias puntuales en diferentes momentos del ciclo que provocó muchos dientes de sierra en la evolución del potencial de tallo.

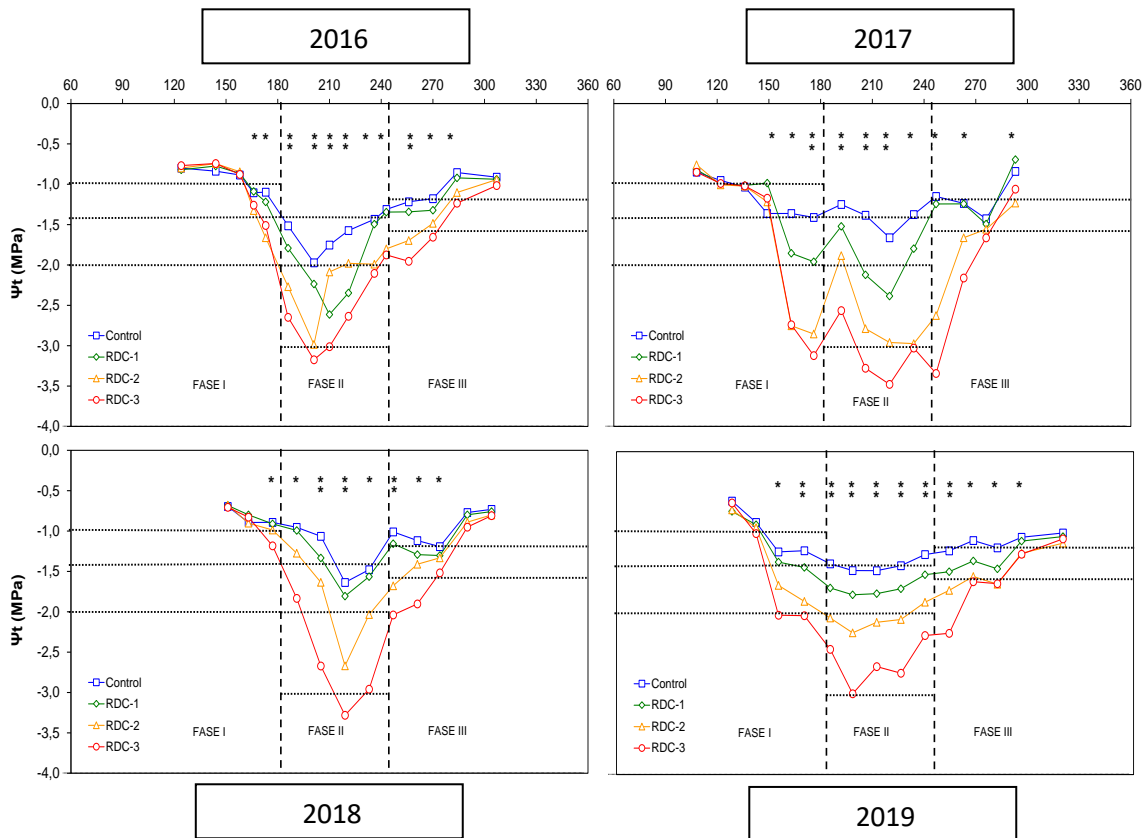


Figura 3.5: Evolución de Ψ_t para distintas fases en olivar seto adulto 2 variedad 'Arbequina'. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2011). Cada punto es la media de 12 datos, * (algún tratamiento distinto y ** (todos) ($P < 0,05$) según la prueba de Tukey. Las líneas discontinuas corresponden a los niveles de potencial umbrales.

En la última etapa de desarrollo estudiada (adulto 2) encontramos igualmente dos años más lluviosos (2016 y 2018) frente a los otros años con menor pluviometría. Sin embargo, el descenso de Ψ_t fue acusado llegando e incluso superando los valores de -3.0 Mpa marcados como umbral para RDC-3 en fase II del cultivo (figura 3.5). En todos los años se consiguió alcanzar diferencias significativas en todos los tratamientos en al menos algún momento de la fase I y por tanto diferencial notables de estrés en esta primera etapa. En fase III también se generó diferencias en estrés hídrico incluso con diferencias en algún momento entre los cuatro tratamientos de riego salvo en el año 2017. Cabe destacar en el año 2016 una bajada más notable de nivel de potencial en el tratamiento RDC-1 debido a fallos en el sistema de riego a mitad de la fase II de la campaña.

Con respecto a la integral de estrés hídrico (S_ψ), se generaron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos de riego salvo 2013, 2014 y 2015 donde los dos tratamientos más deficitarios se igualaron y 2018 donde los dos mejor regados fueron similares (tabla 3.4). El año que más nivel de estrés hídrico alcanzó el tratamiento más severo fue el 2017 y el que menos el año 2013 coincidiendo con el año más seco y el segundo año más lluvioso respectivamente. El año 2010 aunque fue el que más precipitación registró, no presentó el mayor nivel de integral de estrés debido a que gran parte de su pluviometría se registró fuera de las fases de cultivo. En el lado contrario, el tratamiento Control presentó un menor nivel de estrés el año 2018 y el año con mayor valor de la serie en este tratamiento fue el 2016 debido a que en algunos momentos el tratamiento tubo medidas de potencial muy por debajo de los umbrales medios para este tratamiento.

En la fase I se consiguió generar estrés entre los tratamientos en todos los años de estudio, pero no con la misma intensidad y diferencias entre ellos. Hubo años como 2009 o 2019 donde hubo diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, pero en la mayoría de los años no se generó esta intensidad de gradiente debió a las diferentes precipitaciones primaverales entre años. En fase II en cambio, en la mayoría de los años

si hubo diferencias notables en estrés hídrico entre las estrategias de riego aplicadas. Solo hubo tres años (2013, 2014 y 2016) donde en los dos primeros no se generó diferencia entre los dos riegos más deficitarios (RDC-2 y 3) y en el tercer año entre los riegos deficitarios RDC-1 y 2). En parte final del cultivo, fase III, en casi todos los años de estudio se alcanzó diferencias de estado hídrico entre los dos mejor y peor regados. Solo hubo un año, 2013, que el estrés fue similar entre los tratamientos en esta fase y también hubo otros años como 2014, 2015, 2018 y 2019 que estas diferencias fueron mayores.

Tabla 3.4. Integral de estrés hídrico (S_w) total y por fases de cultivo en un olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX. Años 2009-2019. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

	AÑO	Tratamiento	Integral TOTAL		Integral FASE I		Integral FASE II		Integral FASE III	
			MPa x día (DDA 120-300)	(DDA 120-181)	(DDA 182-245)	(DDA 246-300)				
ETAPA JOVEN	2009	Control	84,2	d	24,6	d	37,7	d	22,0	b
		RDC-1	115,1	c	32,7	c	56,3	c	26,0	b
		RDC-2	167,5	b	42,9	b	89,6	b	34,9	a
		RDC-3	221,8	a	55,7	a	125,8	a	40,4	a
	2010	Control	78,4	d	14,9	b	40,9	d	22,6	b
		RDC-1	108,4	c	23,5	a	57,9	c	26,9	b
		RDC-2	157,3	b	25,3	a	95,8	b	36,1	a
		RDC-3	175,9	a	27,2	a	112,3	a	36,4	a
	2011	Control	99,1	d	28,5	b	35,3	d	35,3	b
		RDC-1	118,0	c	32,8	b	46,0	c	39,2	b
		RDC-2	173,3	b	47,2	a	79,9	b	46,3	a
		RDC-3	233,8	a	54,5	a	128,7	a	50,7	a
ETAPA ADULTO 1	2012	Control	92,8	d	22,5	c	45,5	d	24,9	b
		RDC-1	119,7	c	40,5	b	54,0	c	25,2	b
		RDC-2	159,1	b	51,4	a	71,3	b	36,3	a
		RDC-3	187,6	a	50,8	a	99,6	a	37,2	a
	2013	Control	102,3	c	28,2	c	53,7	b	26,7	a
		RDC-1	117,8	b	37,5	b	62,7	b	25,6	a
		RDC-2	161,3	a	45,7	a	96,5	a	31,0	a
		RDC-3	156,1	a	43,9	a	95,5	a	27,7	a
	2014	Control	82,9	c	25,7	c	39,6	c	17,5	b
		RDC-1	116,0	b	33,1	bc	57,7	b	25,1	ab
		RDC-2	162,4	a	45,4	ab	86,8	a	30,3	a
		RDC-3	164,0	a	38,9	a	97,8	a	27,3	ab
2015	Control	85,3	c	27,6	c	46,4	d	11,3	c	
	RDC-1	121,8	b	40,2	b	65,7	c	16,0	b	
	RDC-2	196,6	a	54,3	ab	113,2	a	29,0	a	
	RDC-3	175,4	a	57,2	a	97,5	b	20,7	ab	
ETAPA ADULTO 2	2016	Control	128,2	d	30,1	b	74,9	c	23,2	b
		RDC-1	159,6	c	31,9	b	100,5	b	27,2	b
		RDC-2	189,6	b	39,4	a	115,4	b	34,8	a
		RDC-3	224,2	a	40,7	a	142,0	a	41,5	a
	2017	Control	114,4	d	41,8	c	44,5	d	28,1	b
		RDC-1	163,5	c	60,6	b	73,1	c	29,8	b
		RDC-2	261,5	b	92,2	a	117,9	b	51,4	a
		RDC-3	307,7	a	101,0	a	142,2	a	64,5	a
	2018	Control	71,0	c	11,0	b	38,7	d	21,3	c
		RDC-1	84,3	c	10,2	b	47,3	c	26,8	c
		RDC-2	124,3	b	14,6	ab	75,8	b	33,9	b
		RDC-3	185,3	a	20,4	a	118,3	a	46,6	a
2019	Control	106,4	d	29,0	d	54,4	d	22,9	c	
	RDC-1	142,4	c	36,5	c	73,7	c	32,2	b	
	RDC-2	189,5	b	50,1	b	99,2	b	40,3	a	
	RDC-3	245,3	a	62,0	a	138,3	a	44,9	a	

3.1.5. VOLUMEN DEL SETO Y MADERA DE PODA

El desarrollo del olivar en seto desde sus primeros años tras la plantación (2009) hasta el año 2019 se representa en la figura 3.6 y en donde los 3 primeros años de desarrollo (seto joven) se asimiló a una forma geometría diferente a la fase adulta donde los cortes mecánicos de la poda cambiaron la forma natural del árbol. Se observa un incremento ascendente hasta el año 2012 donde se alcanza el máximo de tamaño del seto con alrededor de unos 10.000 m³/ha de superficie arbórea para el tratamiento Control y RDC-1. RDC-2 aunque con menor tamaño de copa, alcanzó igualmente el máximo en el año 2012, mientras RDC-3 continuó creciendo hasta 2014 y se mantuvo posteriormente en niveles similares a RDC-2 salvo en 2018 que fue menor. Entre los años 2012 al 2014 son los años de más desarrollo la cubierta del seto y a partir de este año se produce una ligera bajada del tamaño máximo anual del seto lo que podría atribuirse al envejecimiento de los árboles.

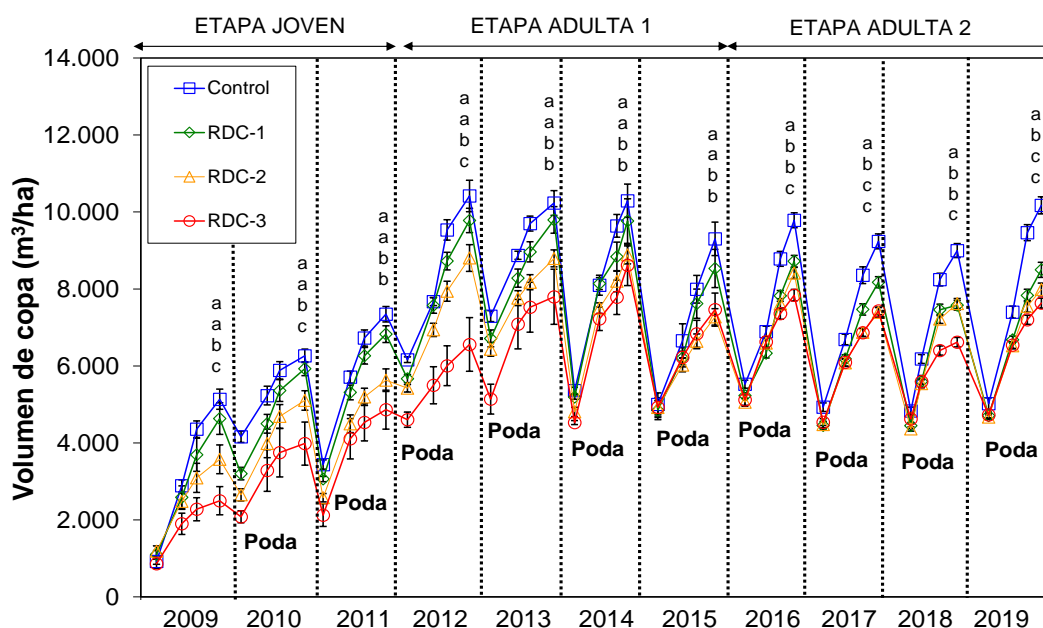


Figura 3.6: Evolución de la cubierta vegetal en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

Comparando el volumen de copa entre los tratamientos vemos que entre Control y RDC-1 no se producen diferencias en desarrollo a pesar del considerable ahorro de agua de riego hasta el año 2016 (etapa adulta 2). Cuando la estrategia aplicada es

moderada o severa (RDC-2 y 3) controló más efectivamente el tamaño del seto en todas las etapas estudiadas siendo RDC-3 demasiado severo en un seto joven lo que provocó el retraso en la llegada a máxima cobertura. En este tipo de sistemas la poda es necesaria todos los años para mantener el seto en las dimensiones para su manejo y mecanización por lo que observa en la figura 3.6 fuertes bajadas de tamaño del seto al inicio de la campaña. Estas bajadas en los 4 primeros años no igualan a los tratamientos, pero en años sucesivos con un seto esta ya desarrollado, al realizar una poda todos los tratamientos parten de un tamaño similar al inicio de la primavera.

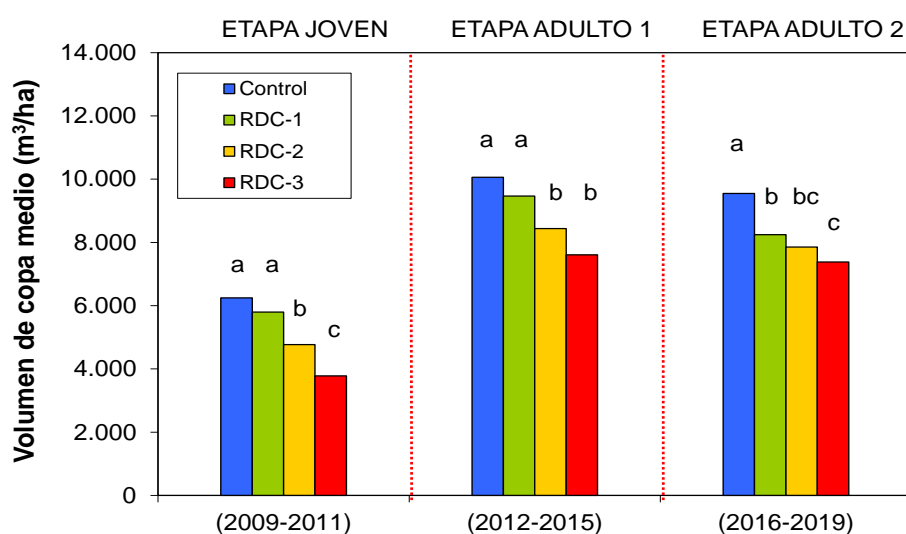


Figura 3.7: Volumen de copa medio en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

Los tamaños medios por etapa de desarrollo del cultivo se muestran en la figura 3.8 observándose que en fase joven una estrategia de déficit ligera (RDC-1) no provocó un menor desarrollo del seto con respecto al Control. Los tratamientos RDC-2 y 3 presentaron una reducción de su cubierta de seto del 24 y 39% respectivamente. En etapa adulta 1, al igual que sucedió en la etapa joven, no hubo diferencias entre los dos tratamientos más regados y si entre los dos más deficitarios que además fueron similares con una bajada de la cubierta entre el 16-24%. En un seto adulto 2, déficits ligeros si provocaron una disminución del tamaño del seto con 14% seguido del 18 y 23% para déficit moderado y severo.

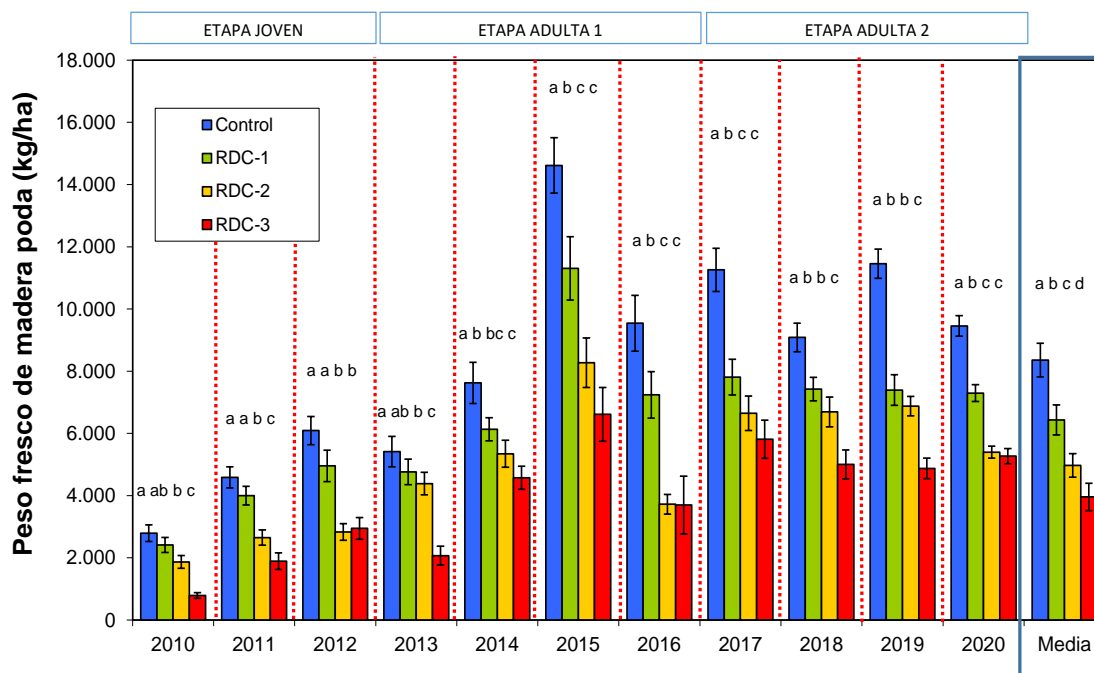


Figura 3.8: Evolución de madera de poda en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego. Finca La Orden-CICYTEX, años 2010-2020. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

La figura 3.8 representa la evolución de la madera de poda eliminada en los tratamientos a partir de la poda 2010 que es el año siguiente de iniciarse el ensayo y hasta la poda postcosecha de 2020. Se observa que en los 3 primeros años las intervenciones son pequeñas y encaminadas a podas de formación del seto y sin diferencias entre los tratamientos mejor regados. Los más deficitarios fueron menores y diferentes entre salvo en 2012. En los primeros años de fase adulta (2013 y 2014) también se aplicaron pocas intervenciones de poda, pero ya en 2015 fue necesario aplicar correcciones más severas y con diferencias entre el Control y RDC-1. En los últimos 4 años, se trata de una poda de mantenimiento y se observa intervenciones muchos más estables, aunque con diferencias entre algunos años. Hubo diferencias entre Control y RDC-1, este a su vez fue similar a RDC-2 salvo en 2020 que fue mayor y entre los dos más deficitarios solo hubo diferencias y con un tamaño menor del RDC-3 en los años 2018 y 2019.

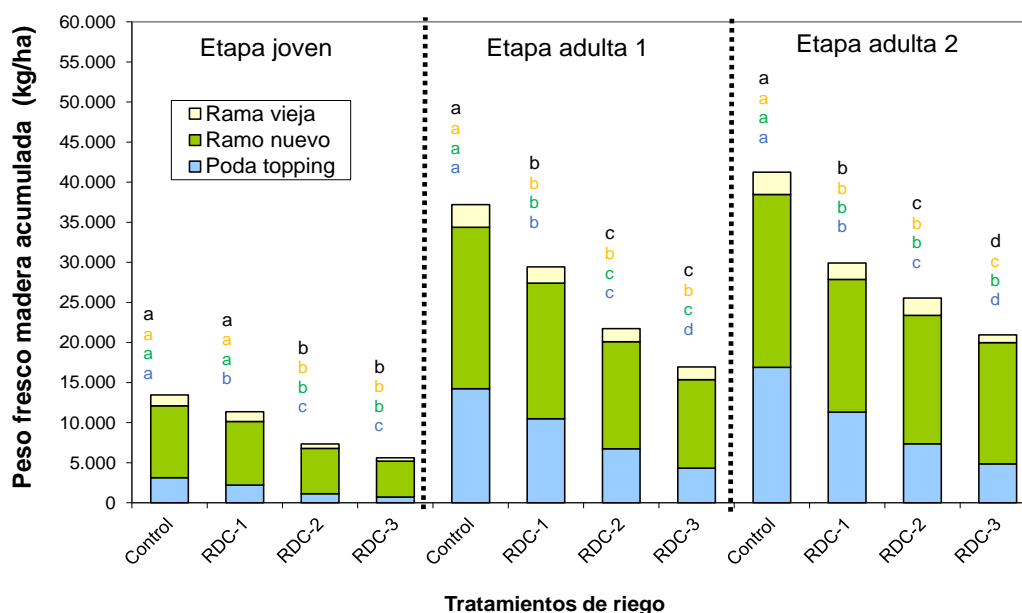


Figura 3.9: Poda acumulada por etapa de cultivos y tipo de madera eliminada en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2010-2020. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos o tipo de madera ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

La poda se separó en diferentes tipos de madera como muestra la figura 3.9 y en donde se han calculado las medias para cada etapa de desarrollo. En los primeros años de cultivo, y aunque las intervenciones fueron pequeñas, se encontraron diferencias entre los tratamientos más regados (Control y RDC-1) y los más deficitarios (RDC-2 y 3) tanto en la cantidad total como en ramo nuevo y viejo. En el topping hubo incluso diferencias entre Control y RDC-1 con un 23, 20 15 y 13% de total de vegetación eliminada respectivamente para cada uno de los tratamientos. En esta etapa el porcentaje de rama vieja osciló entre el 10-11% para Control y RDC-1 y del 7-8% para los más deficitarios. En etapa adulta 1 se incrementó en tres veces las cantidades de leña de poda eliminada en todos los tratamientos con respecto a la etapa anterior. Control fue el que más cantidad se eliminó seguido de RDC-1 y los que menos RDC-2 y 3 y similares entre sí. Sin embargo, en la poda topping si hubo diferencias marcadas entre todos los tratamientos de riego y constituyendo el 38, 36, 31 y 28% del total podado respectivamente para Control, RDC-1, 2 y 3. La cantidad de madera vieja eliminada aumentó considerablemente con respecto a la fase joven duplicándose para los

tratamientos más regados e incluso triplicándose para los dos más deficitarios. En este caso solo hubo que eliminar más ramo viejo en el tratamiento Control con respecto al resto. En la etapa adulto 2, se produjeron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos en la madera total eliminada y esas mismas diferencias fueron encontradas en la parte de poda topping. Además, en esta etapa se incrementó ligeramente la cantidad de vegetación en altura con respecto a la anterior con cantidades sobre el total de 41, 38, 38 y 23% para cada tratamiento de riego. Con respecto al ramo viejo fue similar las cantidades eliminadas con respecto a la etapa de adulto 1 en Control y RDC-1, algo superiores en RDC-2 y menores en RDC-1. Esto provocó que el Control fue el tratamiento con más cantidad de madera vieja eliminada, seguidas de RDC-1 y 2 con similares intervenciones y el tratamiento RDC-3 fue el de menor escala.

3.1.6. VIGOR DE LA PLANTA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO

3.1.6.1. Perímetro de tronco

La figura 3.10 correspondiente a la evolución del perímetro de tronco desde el inicio del ensayo y durante los 11 años estudiados y se observa cómo se van diferenciando los diferentes tratamientos a lo largo de los años con diferencias notables al final de cada etapa. Así encontramos que al final de la etapa joven no hubo diferencias en vigor entre el Control y RDC-1 pero si entre los más deficitarios con un 16,6 y 49,4% menos de crecimiento del tronco respectivamente para RDC-2 y 3. Cuando el olivar en seto finaliza la etapa adulta 1, todas las estrategias de riego aplicadas han generado diferentes secciones de tronco y esto se mantiene igualmente hasta el final de la etapa adulta 2. En este caso las diferencias generadas han sido del 13,4, 23,8 y 36,9% menores con respecto al Control para los tratamientos RDC-1, 2 y 3 en un seto adulto 1 y del 18,3, 26,7 y 37,9% para un seto adulto 2 respectivamente comprándolo con el Control.

Cuando analizamos la tasa generada de la sección de tronco anualmente en cada uno de los tratamientos (Figura 3.10) encontramos igualmente que en la etapa inicial del seto un déficit ligero (RDC-1) no afectó al tamaño del tronco y fue necesario estrategias de moderadas a severas para generar diferencias. Estas además fueron muy fuertes cuando se aplicó un RDC-3. Sin embargo, en un seto adulto 1, las estrategias de riego

ligeras provocaron una menor tasa de crecimiento de tronco salvo para el año 2013 y en un seto adulto 2 todos los años el RDC-1 afecto a este parámetro con respecto al Control. Con respecto a las diferentes estrategias deficitarias aplicadas, hubo dos años en etapa adulto 1, donde todos presentaron la misma tasa de crecimiento sin diferencias significativas entre ellos y que además coincide con años “on” de carga de los olivos. El resto de los años hubo diferencias entre RDC-1 y los más deficitarios que fueron similares entre ellos. En un seto adulto 2 sucedía algo parecido con respecto a no encontrar diferencias algunos años entre las estrategias deficitarias, pero en este caso ha sucedido en un año “on” y otro “off” y otros dos años donde el RDC-3 si presento menores crecimientos. Hay que destacar que no es hasta el 2º año de entrar en etapa adulto 2 cuando las tasas de crecimiento decaen.

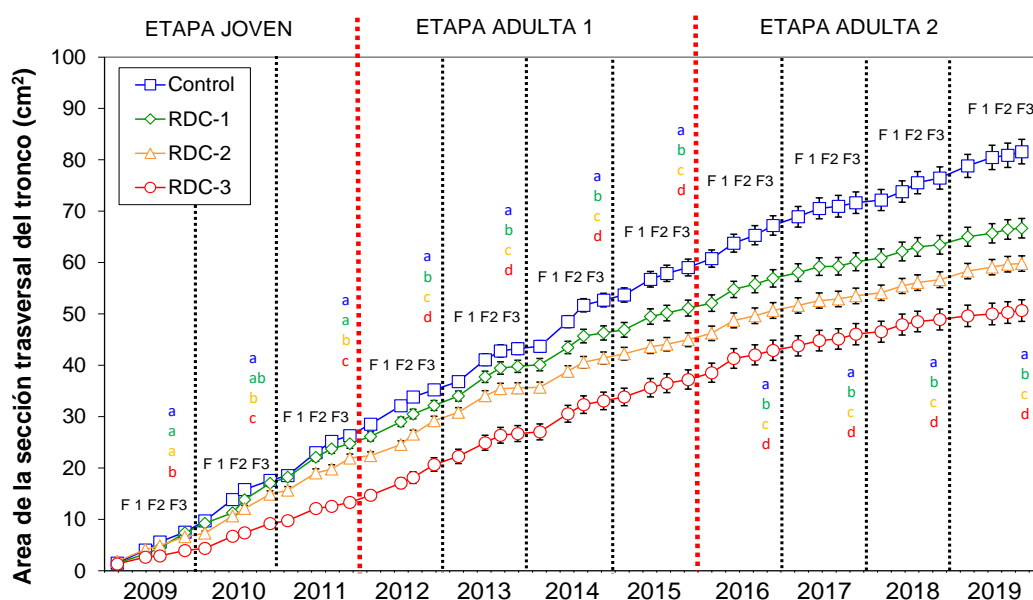


Figura 3.10: Evolución del perímetro de tronco en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas al final de cada año representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

En la figura 3.11 se representan además las tasas anuales y las medias por etapas de desarrollo del cultivo para cada uno de los tratamientos de riego y se observa igualmente que en etapa joven un déficit ligero no reduce el vigor del árbol pero que a medida que se intensificaba el recorte de agua la sección de tronco disminuía. En las etapas adultas tanto en 1 y 2 el comportamiento fue parecido en ambas con un riego

Control mayor que los riegos deficitarios que fueron similares entre sí, pero hay una diferencia de tasa general del crecimiento afectada por la edad del árbol que hacer crecer menos en esta etapa del cultivo de más del 30%.

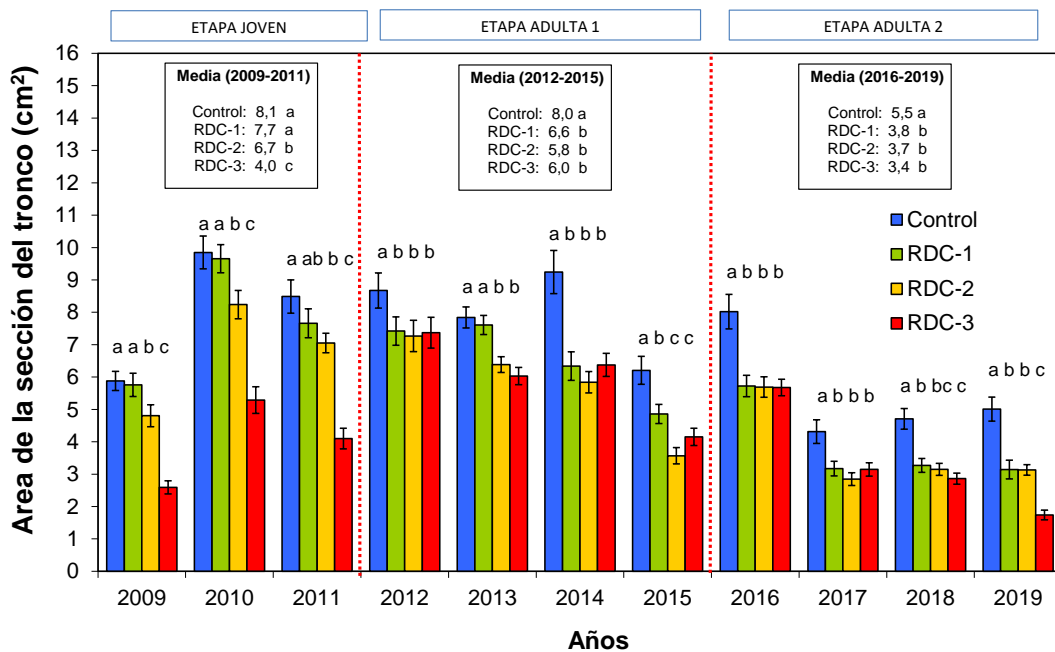


Figura 3.11: Tasa de crecimiento anual del perímetro de tronco en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

3.1.6.2. Brotes anuales

El crecimiento vegetativo es uno de los parámetros más sensibles a la falta de agua de ahí la importancia de cuantificar el desarrollo del brote del año donde además se desarrollará la producción de aceitunas al año siguiente. De ahí la especial importancia de cuantificar no solo la longitud de estos, sino su área foliar (actividad fotosintética) y los nudos desarrollados (tabla 3.5). Estas medidas han sido tomadas para la etapa joven y solo en la primera etapa de seto adulto. Con respecto al área foliar (Tabla 3.5 a) se observa que tanto en etapa joven como adulta 1 un riego RDC-1 no afectó a este parámetro salvo para el primer año de un seto joven (2009) y el primero de adulto 1 (2012). Para un RDC-2 solo el año 2014 fue similar en crecimiento a Control y RDC-1 y sólo en 2016 al RDC-1 siendo el resto de los años menor. Si lo comparamos con el tratamiento más deficitario, hubo 2 años en toda la serie que fueron similares entre ellos (2010 y 2011) y diferentes significativamente el resto de las campañas.

Tabla 3.5: Componentes del crecimiento vegetativo del brote del año en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2016. Cada punto es el promedio de 80 datos, las letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos analizado al final de cada año ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

			Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
Area foliar (cm²) a)	Etapa joven	2009	134 a	114 b	98 c	85 d
		2010	92 a	96 a	88 b	82 b
		2011	71 a	71 a	61 b	62 b
	Etapa adulta 1	2012	71 a	58 b	56 c	48 d
		2013	68 a	64 a	52 b	44 c
		2014	75 a	80 a	80 a	66 b
		2015	88 a	91 a	51 b	46 c
Longitud brote (cm) b)	Etapa joven	2009	40,9 a	33,3 b	27,0 c	23,3 d
		2010	29,5 a	30,6 a	29,5 a	28,5 a
		2011	22,1 a	21,0 a	19,2 b	18,6 b
	Etapa adulta 1	2012	19,3 a	16,8 b	17,1 b	13,9 c
		2013	19,7 a	18,2 a	15,3 b	13,5 c
		2014	16,4 a	17,8 a	17,0 a	14,9 b
		2015	20,9 a	20,7 a	13,4 b	11,7 c
nº nudos c)	Etapa joven	2009	24,3 a	21,7 b	17,2 c	14,3 d
		2010	18,9 a	18,8 a	16,4 b	15,7 b
		2011	11,7 a	11,1 ab	10,4 b	11,2 ab
	Etapa adulta 1	2012	10,1 a	9,0 b	8,9 b	8,5 bc
		2013	11,7 a	11,4 ab	10,6 b	9,1 c
		2014	8,6 a	8,9 a	8,8 a	8,2 a
		2015	13,2 a	12,4 a	8,0 b	7,8 b
Distancia entrenudos (cm) d)	Etapa joven	2009	1,7 a	1,5 b	1,5 b	1,6 ab
		2010	1,6 b	1,6 b	1,8 a	1,8 ab
		2011	1,9 a	1,9 a	1,9 a	1,6 b
	Etapa adulta 1	2012	1,9 a	1,9 a	1,9 a	1,6 b
		2013	1,7 a	1,6 a	1,5 bc	1,5 b
		2014	1,9 a	1,9 a	1,9 a	1,8 b
		2015	1,6 a	1,7 a	1,7 a	1,6 b

En longitud de brote (tabla 3.5 b), para un seto joven el comportamiento fue similar al del área foliar salvo en 2010 donde no hubo diferencias en tamaño de brote, pero si en área en los riegos más deficitarios. En el caso de un seto adulto 1 también hubo un año con un comportamiento diferente con respecto a la superficie de hojas (2012) en donde todos los tratamientos fueron similares y en este caso de la longitud de brotes no hubo diferencias entre RDC-1 y 2. Analizándolo en conjunto se observa como el crecimiento vegetativo es muy alto en los primeros años y poco a poco se va estabilizando para mantenerse en unos niveles muy similares en un seto adulto 1.

Para el número de nudos del brote (tabla 3.5 c) tan solo hubo un año, 2014, donde todos los tratamientos presentaron la misma cantidad. En el resto de los años el Control tuvo más nudos que el resto de los tratamientos junto con RDC-1 salvo los años 2009 y 2012 que si marcaron diferencia. También ha habido un año (2011) en donde el RDC-3 fue igualmente similar. Entre los más deficitarios, tan solo hubo dos años que fueron diferentes y corresponden al 2009 y 2013. En cuanto a la distancia entre los nudos (Tabla 3.3 d), la dinámica fue que se acortaran a medida que a longitud de brote disminuía para compensando la pérdida productiva. Sin embargo, hay años en donde el comportamiento ha sido diferente como el caso del 2010 en donde los más deficitarios presentaron mayor distancia coincidiendo además con ser el único año donde las longitudes de los brotes de todos los tratamientos han sido similares.

En la figura 3.12 se han seleccionado diferentes años tipo en cada una de las etapas estudiadas para ver el comportamiento anual del desarrollo de los brotes anuales. En el caso de un seto joven se ha incluido el primer año productivo (2009) donde la carga de los árboles aun es muy pequeña y donde se produce grandes crecimientos vegetativos y el último año (2011) en donde a tasa de crecimiento ha decaído y el seto presenta ya una buena producción. Analizando el desarrollo anual, observamos que las mayores tasas de crecimiento se producen en la fase I del cultivo pudiéndose generar diferencias si aplicamos déficit hídrico en este momento. En el caso de 2009 y 2011 que además fueron años con buenas precipitaciones primaverales, se consiguió generar diferencias entre el Control y el resto de deficitarios que fueron similares entre sí en el primer año y para el año 3 solo hubo diferencias entre Control y RDC-3 situándose el resto de los tratamientos de forma intermedia. En la fase II en 2009 los brotes siguieron creciendo, aunque con tasas menores y en este caso los diferentes riegos aplicados generaron diferencias significativas en crecimiento entre los tratamientos. Para el año 2011, la tasa de crecimiento decaió en esta fase, pero aun así hubo diferencias entre los mejor y peor regados. En fase III, los brotes continuaron creciendo, pero con una tasa mucho menor que la fase anterior. Este crecimiento fue mayor el 2009 con diferencias entre los más y menos regados y para el 2011 todos fueron iguales.

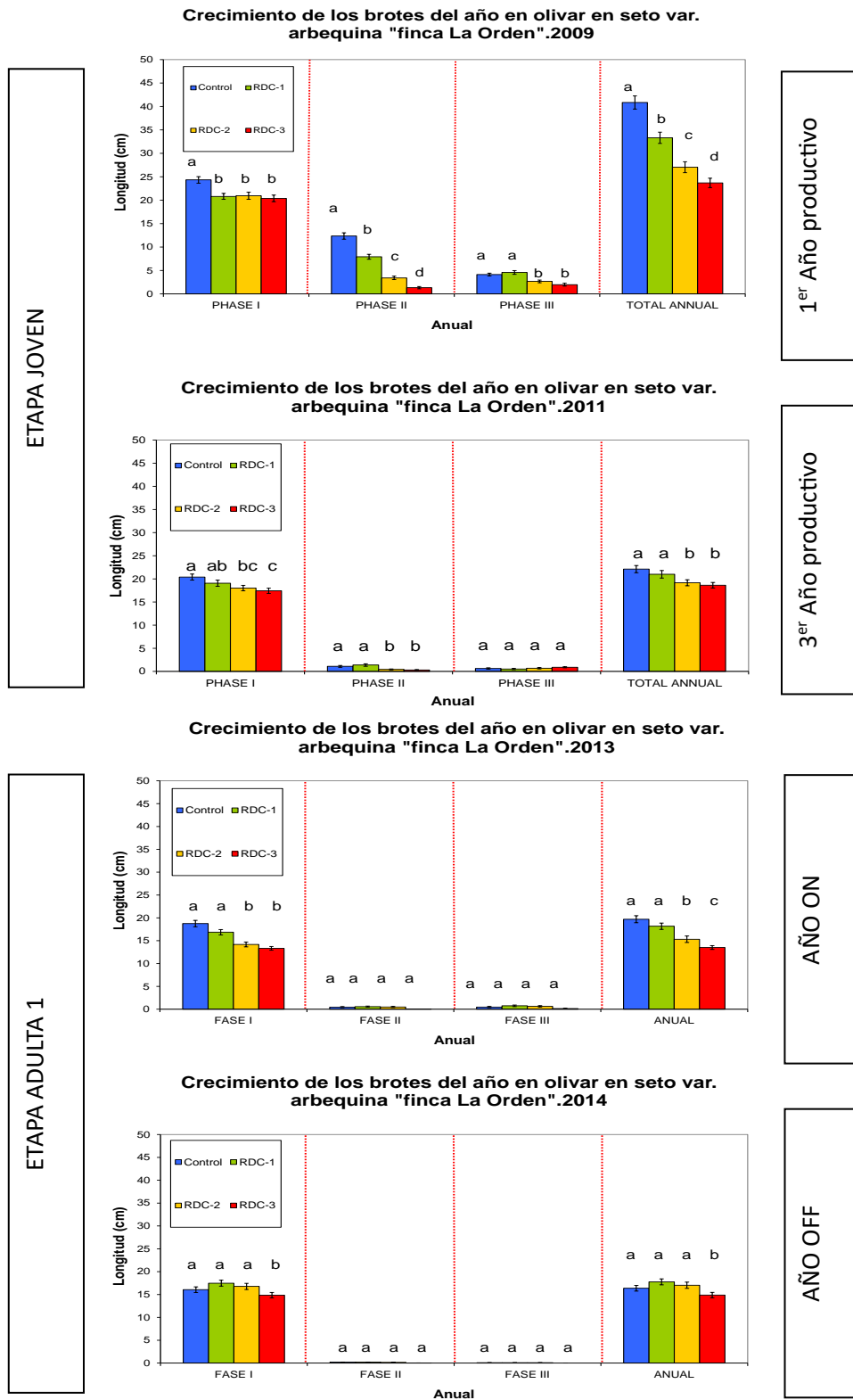


Figura 3.12: Evolución del crecimiento del brote del año de tronco en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego, desarrollo y periodos de carga productiva. Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 80 datos, las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

Para un seto adulto 1 se han seleccionado un año ON (2013) y un año OFF (2014) de carga de frutos. En ambos años la tasa de crecimiento en fase II y III es inexistente y todo el desarrollo vegetativo cuando el árbol es adulto se produce en fase I. En este período cuando el año es ON se consiguieron brotes más largos cuando regamos con un Control o RDC-1 frente al resto de riegos. Sin embargo, cuando el año es OFF es necesario aplicar un RDC-3 para generar diferencias. Si comparamos la tasa de crecimiento entre un año ON y OFF se observa que en años en carga el riego ayuda a mantener una tasa de crecimiento mayor, hecho que no sucede en los años OFF.

3.1.5. RELACIÓN ENTRE DESARROLLO VEGETATIVO Y EL RIEGO

En la figura 3.13 se muestra la relación no lineal entre ambas variables con distinta intensidad en función del riego que se le aplique y para dos etapas de desarrollo del olivo. Estas correlaciones fueron más altas en etapa joven frente a la adulta 1 debido al rango más amplio de crecimiento. RDC-3 en seto adulto 1 fue el que peor relación encontró al tener brotes muy similares en tamaño. Las comparaciones múltiples realizadas entre los coeficientes de regresión de los 4 tratamientos de riego indican que no hay diferencias entre los tratamientos Control y RDC-1 en ninguna de las dos etapas con comportamientos similares entre sí pero que este fue diferente con respecto a RDC-2 y RDC-3 diferentes a todos.

Aunque en todos los casos siempre hay un mayor número de nudos a medida que aumenta la longitud del brote independientemente de las distancias máximas que puedan alcanzar los entrenudos, estas distancias si se ven modificadas dependiendo del tamaño del brote. En un seto joven si la longitud es mayor de 17,5 cm el número de nudos es mayor en Control y RDC-1 con respecto al resto de tratamientos, pero si la longitud es menor a ese tamaño es justo lo contrario. Para etapa adulta 2 sucede algo similar, pero en este caso el punto de inflexión está en una media de 15 cm de longitud de brote. Esto indica que, los tratamientos más deficitarios cuando crecen poco por un estrés fuerte ven compensado el número de nudos, pero si el tamaño final es más largo pierden nudos y por tanto potenciales puntos fructíferos y esto sucede en cualquier etapa de desarrollo del seto con mayor o menos intensidad.

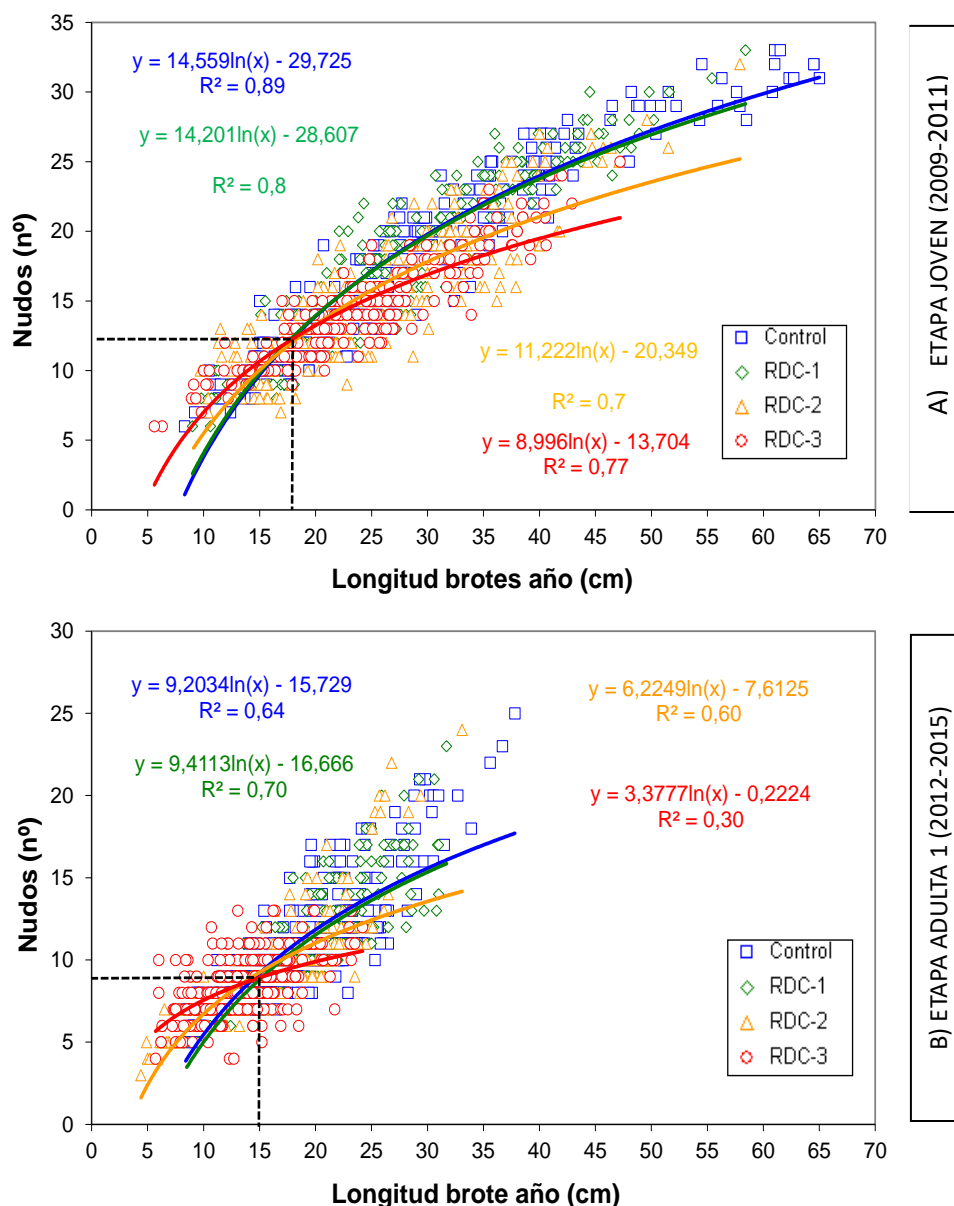


Figura 3.13: Correlación entre el número de nudos, la longitud de los brotes del año y los tratamientos de riego en un olivar en seto var. 'Arbequina' en etapa joven (2009-2011) y etapa adulta1 (2012-2015). n= 80 y las líneas son el ajuste de regresión no lineal para cada tratamiento $P < 0.05$. Finca la Orden-CICYTEX

Con el fin de evaluar la respuesta del desarrollo del seto frente a las diferentes disposiciones de agua analizadas durante el periodo experimental (2009-2019), se encontraron correlaciones entre los principales parámetros agronómicos evaluados (volumen de copa y área de tronco) y los valores medios anuales del agua aplicada en cada estrategia de riego y etapa de desarrollo (figura 3.14). En la etapa joven, volumen de copa (a) aumentó proporcionalmente a la dosis de riego aplicada pero no hubo diferencias en crecimiento entre los dos más regados por lo que aplicar más agua no

supuso más desarrollo del seto y lo mismo sucede con respecto a la tasa de crecimiento de tronco (b). Sin embargo, cuando entramos en la etapa adulta 1 mientras que el comportamiento en volumen de copa se mantiene, aunque con un mayor crecimiento, en área de tronco la tasa baja y además si se encuentran diferencias entre los dos más regados. Cuando el olivar en seto entra en la etapa adulto 2 encontramos que los tratamientos deficitarios se mantienen en tasa de crecimiento de volumen de copa, pero el Control sigue aumentando. La sección de tronco en cambio sigue bajando la tasa en esta etapa e igualmente el Control es el que mayor tasa tiene de todos.

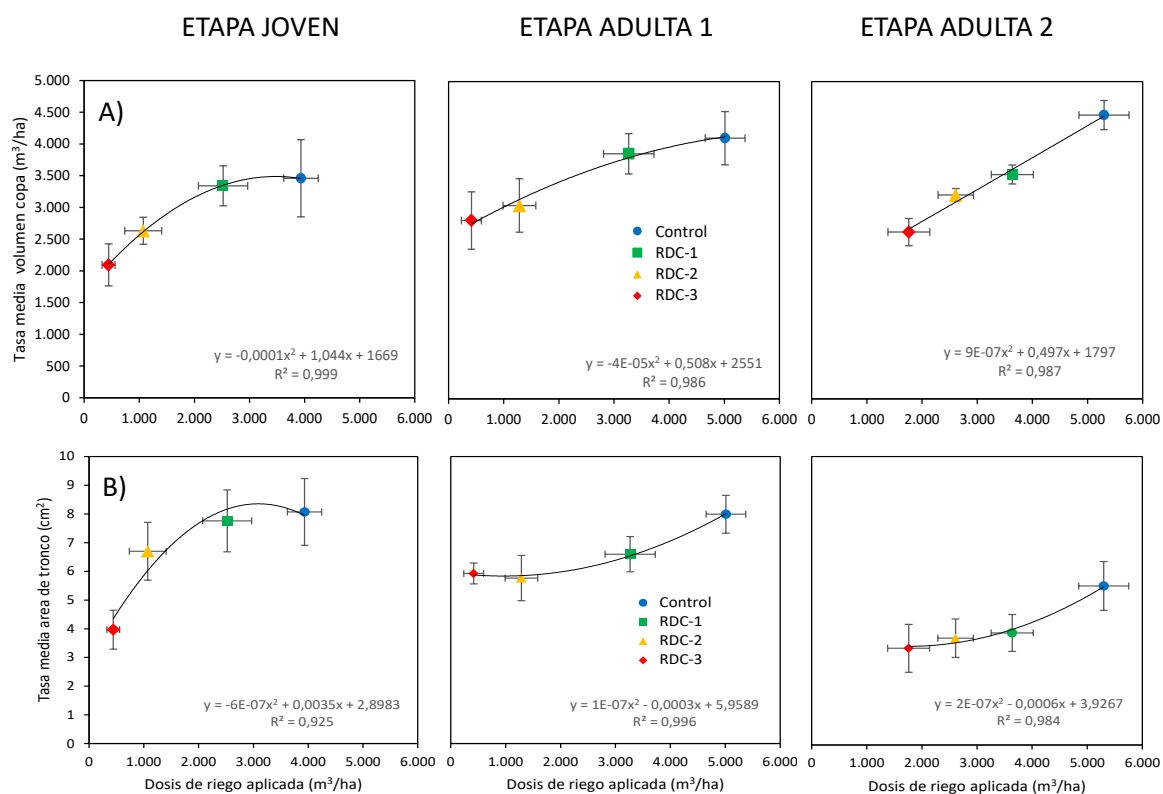


Figura 3.14: Relación entre la dosis media de riego aplicada anualmente y la tasa de incremento de volumen de copa(A) y de área de tronco (B) en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos riegos y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Las barras representan el error estándar de la media.

Las correlaciones entre el tamaño del seto, su vigor y las podas de mantenimiento necesarias se calcularon para cada año y etapa de desarrollo utilizando los valores medios de los cultivares (tabla 3.6). En etapa joven se encontró que hay una alta correlación entre el estrés hídrico generado y los tres parámetros analizados. Para volumen de copa y poda influyo mucho en nivel de estrés generado en fase II del cultivo.

Sin embargo, para el área de tronco todas las fases influyeron. En adulto 1 de desarrollo sucedía algo similar, pero en este caso el estrés generado en cualquiera de las fases influyó en el tamaño de copa. El incremento de tronco sin embargo fue la fase 1. En la última etapa de desarrollo estudiada (adulto 2), donde más influencia tuvo el tamaño de copa sobre el estrés aplicado fue en fase II y III al igual que para el área de tronco y la poda. En vigor del tronco y el volumen de copa junto con las podas estuvieron muy relacionados sobre todo en fase joven.

Tabla 3.6. Correlaciones de Pearson (valores r) entre estado hídrico y caracteres vegetativos (volumen de copa, área de tronco y poda), para los distintos riegos (integral de estrés total y por fases) y estados de desarrollo del árbol en olivar en seto variedad 'Arbequina' Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019 (se marca con distintos colores los rangos de la correlación)).

		S ψ total	S ψ F1	S ψ F2	S ψ F3	Volumen copa	Incremento VC	Area de tronco	Incremento AT
ETAPA JOVEN (2009-2012)	Volume copa (VC)	-0,62	-0,53	-0,70	-0,13				
	Incremento V copa	-0,56	-0,29	-0,66	-0,24	0,65			
	Area de tronco (AT)	-0,35	-0,27	-0,47	0,17	0,89	0,43		
	Incremento AT	-0,65	-0,68	-0,63	-0,33	0,83	0,40	0,72	
	Poda	-0,57	-0,48	-0,63	-0,15	0,89	0,53	0,83	0,77
ETAPA ADULTA 1 (2013-2016)	Volume copa (VC)	-0,74	-0,65	-0,66	-0,33				
	Incremento V copa	-0,62	-0,44	-0,58	-0,42	0,78			
	Area de tronco (AT)	-0,53	-0,13	-0,58	-0,60	0,50	0,56		
	Incremento AT	-0,62	-0,64	-0,49	-0,26	0,71	0,55	0,14	
	Poda	-0,63	-0,48	-0,56	-0,47	0,64	0,72	0,71	0,43
ETAPA ADULTA 2 (2017-2019)	Volume copa (VC)	-0,51	-0,29	-0,49	-0,65				
	Incremento V copa	-0,60	-0,31	-0,64	-0,65	0,90			
	Area de tronco (AT)	-0,69	-0,43	-0,72	-0,68	0,67	0,77		
	Incremento AT	-0,32	-0,35	-0,17	-0,45	0,63	0,46	0,28	
	Poda	-0,67	-0,41	-0,69	-0,71	0,73	0,69	0,71	0,54

Muy alta

Alta

3.2. DISCUSIÓN

Uno de los problemas de la alta densidad de árboles en el olivar en seto es el vigor de las variedades de olivo disponibles, incluso en la variedad “a priori” mejor adaptadas a estos sistemas ‘Arbequina’. El exceso de vigor obliga a intervenciones severas de poda y lleva al envejecimiento prematuro de las plantaciones. Por otra parte, el estrés hídrico, incluso leve afecta a los procesos relacionados con la expansión celular, como es el crecimiento vegetativo, por lo que inducido en periodos de activo crecimiento vegetativo reduce el vigor. En este estudio se analiza el efecto de diferentes estrategias de riego deficitario controlado sobre el vigor de los árboles de un seto de la variedad ‘Arbequina’, comparando con un tratamiento Control regado para cubrir las necesidades hídricas, en un periodo de 11 años que comprende desde el año 2 hasta el 12 tras la plantación. Este enfoque resulta novedoso teniendo en cuenta que en plantaciones leñosas y olivares en sistemas menos intensivos se recomienda cubrir las necesidades hídricas de las plantas hasta que alcanzan un considerable volumen de copa y en el caso de adoptar estrategias de riego deficitario que sea una vez la plantación ha entrado en producción. Otros aspectos a tener en cuenta son el efecto que puede tener una estrategia de riego en la campaña actual sobre las posteriores, ya que la producción de aceituna se localiza en el crecimiento del año anterior, así como un posible efecto acumulado a lo largo de los años.

3.2.1. EL RIEGO Y EL ESTADO HÍDRICO

Según el estudio de Branquinho *et al.*, (2021) sobre modelos de simulación y predicción para escenarios futuros las necesidades de riego pueden aumentar hasta un 16% en olivares superintensivos en los próximos 20 años por lo que la supervivencia de estos sistemas dependerá de una gestión sostenible de los recursos hídricos. Las nuevas plantaciones de olivar en seto monovarietales además de reducir la biodiversidad presentan elevados insumos entre los que se encuentra el suministro de agua por lo que es de especial interés el uso eficiente de agua de riego para reducir los impactos ecológicos (Guerrero-Casado *et al.*, 2021).

El método más utilizado para la programación del riego en olivares es el que se basa en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc), tanto por el método

propuesto por FAO (Allen *et al.*, 1998) como por otros posteriores propuestos también basados en multiplicar la evapotranspiración de referencia por uno o varios coeficientes (Allen *et al.*, 2005; Paço *et al.*, 2019). En olivar hay diferentes trabajos realizados para los distintos tipos de sistemas como indica Rallo *et al.* (2021) en su revisión sobre coeficientes duales en este cultivo. En la mayoría de los trabajos realizados sobre riego deficitario se utiliza como referencia la ETC a la que se aplica un coeficiente reductor, bien para todo el ciclo mediante un riego deficitario sostenido (Grattan *et al.*, 2006; Ramos y Santos, 2010), un riego deficitario controlado con coeficientes diferentes en función del estado fenológico del cultivo (Fernández *et al.*, 2013; Padilla-Díaz *et al.*, 2016), o dotaciones fijas condicionadas a la disponibilidad de recursos hídricos (Martínez-Gimeno *et al.*, 2022). En todos los casos, el nivel de estrés soportado por los árboles a lo largo de los diferentes estados fenológicos dependerá de la ubicación de la parcela y por tanto de las condiciones edafoclimáticas. Este ensayo emplea para el cálculo de los coeficientes de cultivo en el tratamiento Control el modelo de Testi *et al.* (2006) que utiliza los datos climáticos de la zona, el diseño de la plantación y el tamaño de la cubierta. En este trabajo los coeficientes de cultivo varían a lo largo de la vida del seto, no solo en la etapa joven, al incrementarse la cubierta vegetal, sino al pasar de las etapas de adulto 1 a 2 ya que entre estas hay diferencias el tamaño de la cubierta.

Una alternativa propuesta por otros autores es utilizar indicadores de estado hídrico de la planta como referencia para el ajuste de las programaciones de riego (Moriani *et al.*, 2012; Martínez-Gimeno *et al.*, 2022; Hueso *et al.*, 2023). La principal ventaja es que las dosis de riego se adaptan a las condiciones agroclimáticas con el objetivo de mantener un estado hídrico adecuado en cada estado fenológico de acuerdo con los objetivos productivos en cada. Este ha sido el planteamiento de este trabajo y como se puede ver en la tabla 3.7 la adopción de este criterio dio lugar a aplicaciones inferiores a las que se hubieran hecho en el Control utilizando la referencia de la ETC, principalmente en la fase I al adaptarse el inicio de la campaña a las reservas de agua disponibles en el suelo. El inconveniente de este procedimiento es que resulta complicado adoptar por parte de los agricultores. Una solución sería obtener, como se ha hecho en este trabajo unos coeficientes adaptados a las condiciones locales, que contemplen además de la estrategia de riego la etapa y estado fenológico.

Tabla 3.7. Coeficientes para gestión de estrategias de riego calculadas a partir de dosis aplicadas basadas en medidas de potencial hídrico de tronco para las diferentes fases y desarrollo del olivar en seto variedad `Arbequina`. Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019).

		Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
Fase I	Etapa Joven	0,65	0,52	0,41	0,36
	Etapa adulta 1	0,72	0,47	0,32	0,29
	Etapa adulta 2	0,69	0,58	0,51	0,47
	Media	0,69	0,52	0,41	0,37
Fase II	Etapa Joven	0,84	0,53	0,19	0,03
	Etapa adulta 1	0,91	0,58	0,23	0,03
	Etapa adulta 2	0,95	0,65	0,44	0,29
	Media	0,92	0,61	0,31	0,12
Fase III	Etapa Joven	0,88	0,74	0,62	0,57
	Etapa adulta 1	1,00	0,94	0,74	0,66
	Etapa adulta 2	1,07	0,88	0,73	0,62
	Media	1,02	0,89	0,72	0,63

Otra idea en relación con las plantaciones es que las necesidades hídricas son bajas en los primeros años tras la plantación, sin embargo, en olivar en seto son altas desde los primeros años de plantación debido a que con la alta densidad de plantación conseguimos tener una masa arbórea en breve periodo de tiempo. En el cuarto año de cultivo las dotaciones necesarias son superiores a 4.000 m³/ha para mantenerse en más de 5.000 m³/ha en fase adulta del olivar en seto.

Tabla 3.7. Condiciones climáticas, estado hídrico y agua aplicada en fase II del cultivo en olivar en seto variedad `Arbequina`. Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019).

Años	T ^a max F2	Precipitación		Potencial (RDC-3)		Volumen agua F2 (RDC-3)
		E-Jn	F2 (Jl-A)	F2 MIN	F2 MEDIO	
2009	38,2	203	6	-3,0	-2,6	0
2010	38,5	437	2	-2,5	-2,3	0
2011	40,6 (1)	238	18	-3,1	-2,7	6
2012	40,7 (1)	97	0	-2,7	-2,4	6
2013	40,8 (1)	340	10	-2,2	-1,9	0
2014	37,7	222	5	-2,3	-2,0	0
2015	38,2	107	2	-2,6	-1,7	15
2016	39,1	293	7	-3,2	-2,6	62
2017	43,92 (5)	173	15	-3,5	-3,1	59
2018	43,99 (5)	307	2	-3,3	-2,6	48
2019	39,6	112	0	-3,0	-2,6	103

* () días +40°

Con los umbrales marcados de potencial hídrico de tronco junto con las medidas realizadas en la parcela se observa que hay años en los que no se alcanzaron los niveles de potencial marcados como límite inferior de referencia en el riego más deficitario. Es el caso de los años 2010 (etapa joven) y todos los años de la etapa adulta 1, mientras que en adulta 2 se consigue alcanzar sobradamente (Tabla 3.8). Hay que atribuir estas diferencias a las condiciones meteorológicas presentadas en el periodo estudiado.

Según Martín-Vertedor *et al.* (2011b) y Moriana *et al.* (2012), el nivel de carga de los árboles afecta al estado hídrico de los mismos, de forma que en años de carga es difícil poder mantener el mismo potencial de referencia de “no estrés” que en años de descarga. Sin embargo, en nuestro caso no se ha encontrado un efecto claro del nivel de carga de los árboles sobre este aspecto, ni sobre las dotaciones de riego necesarias para mantener los niveles de referencia de cada tratamiento. Cabe pensar que en esta variedad y sistema de cultivo el año de menos carga mantiene una buena producción, no teniendo una vecería tan acusada como para observarse este efecto.

3.2.2. EL CONTROL DEL VIGOR

El tamaño de seto máximo se alcanzó al 5º año tras la plantación en los tratamientos mejor regados con un tamaño de unos 10.000 m³/ha mientras que el tratamiento más deficitario alcanzó su máximo de la serie de 11 años el año siguiente, no llegando en ningún caso al volumen del Control. RDC-2 y RDC-3 mantuvieron durante el resto de los años volúmenes entorno 8.000 m³/ha. Las estrategias de RDC dieron lugar a setos de diferentes tamaños para la misma variedad (Arbequina) con un mismo criterio de poda. El riego deficitario redujo en todos los tratamientos el peso de la madera de poda tanto para formar el seto como para mantenerlo. Es destacable que en la etapa adulto 1 con un déficit ligero (RDC-1) fue suficiente como para reducir de forma significativa el peso de la madera de poda en relación al Control lo que reduce la necesidad y severidad de las intervenciones de poda. La poda topping no fue necesaria realizarla hasta el inicio de la campaña 2011 (4º año) en ninguno de los tratamientos y aunque fue mucho mayor en los más regados frente a los más deficitarios no supuso un ahorro en esta operación de poda. El resto de los años, con un seto ya formado, incluso un déficit ligero hizo crecer menos en altura al seto y esto supone una mejor iluminación de la cubierta (menos sombreadamiento) y un menor consumo hídrico. Del mismo modo, en madera nueva lateral y vieja sucede algo similar y es necesario renovar más los setos para que sean productivos en los tratamientos más regados. Hay pocos trabajos científicos sobre poda de olivar en seto (Albarracín *et al.*, 2017; Lodolini *et al.*, 2023) y ninguno donde se haya evaluado con diferentes dosis de riego y separado por zonas del seto.

El tener más volumen de copa o superficie foliar implica necesariamente tener más producción ya que entraría factores como la iluminación o aireación del seto que puede

provocar una bajada de la producción además de un envejecimiento prematuro del seto. El objetivo debe ser tener setos productivos, que necesiten un bajo mantenimiento con equilibrio entre el desarrollo vegetativo y productivo presentado el olivar en seto menos costes de mantenimiento y más vida útil (Zucchini *et al.*, 2023).

La sección de tronco es la medida clásica de control de vigor y una vez conseguido el volumen de cubierta deseado un seto más vigoroso es más exigente en podas y como hemos visto, con menor vida productiva. En este trabajo de larga duración se observa que las tasas de incremento de la sección del tronco van reduciéndose al avanzar la edad de los árboles por lo que el control del vigor es más efectivo en las dos primeras etapas de la plantación. Los setos del tratamiento Control al finalizar el ensayo mostraron las secuelas de la estrategia de riego con olivos con el mayor perímetro de tronco, mucha rama vieja y poca superficie foliar productiva frente a árboles con mucho menor vigor y vegetativamente equilibrados correspondiendo a los tratamientos con riego deficitario (figura 3.15).



Figura 3.14: Estado de seto Control (a) y RDC-3 (b) al finalizar el ensayo en 2019. Finca La Orden-CICYTEX.

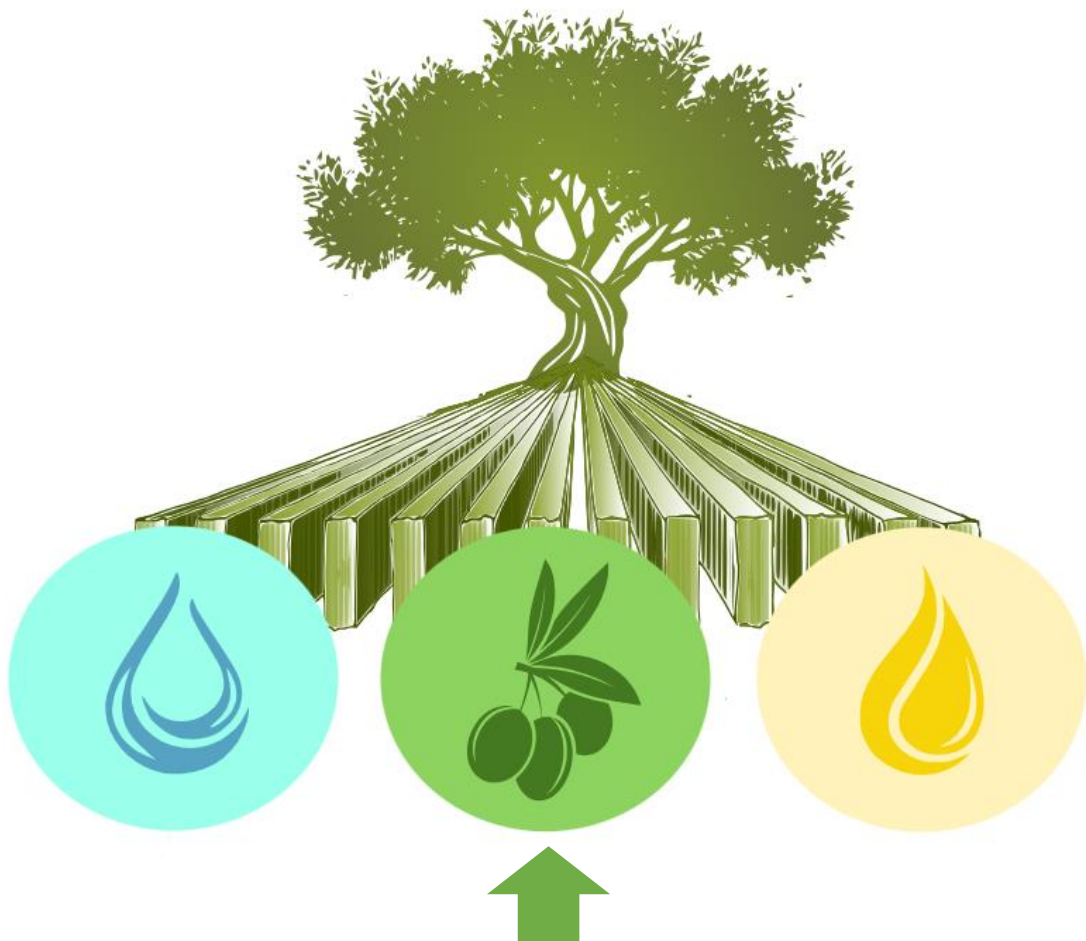
3.2.3. POTENCIAL PRODUCTIVO

Los brotes anuales laterales son los que soportarán la producción de frutos del año siguiente pero no son parcialmente responsables del tamaño final del seto. Hemos visto que estos brotes laterales crecen de forma apreciable en la fase I mientras que apenas

se ha medido crecimiento en las dos fases posteriores. Sin embargo, el seto sigue incrementando su volumen en las fases II y III ya que los brotes en altura siguen creciendo durante toda la campaña. En consecuencia, el estrés hídrico generado en la fase I es el determinante del potencial productivo del año siguiente, pero es complicado aplicar estrategias deficitarias en este periodo. En las zonas de clima mediterráneo debido al ciclo natural de la pluviometría, concentrada entre el otoño y la primavera, queda almacenada en el suelo y disponible para el olivo en esta fase. En este estudio hay años en los que se ha llegado a establecer diferencias entre tratamientos, pero otros en donde todos presentan la misma tasa y es por ello que no se ha conseguido correlacionar la integral de estrés hídrico en esta fase con la longitud de los brotes del año ya que unos años si a ha habido, pero otros no. Al avanzar la vida de los setos el crecimiento individual de estos brotes no es lo único que marca las diferencias entre tratamientos en el potencial productivo, sino que además intervienen el número de brotes generados en la superficie del seto. El estado hídrico inducido por los diferentes tratamientos modificó el comportamiento en el desarrollo de los brotes y la distancia de los entrenudos varió que aumento con el nivel de estrés hídrico. Los tratamientos con más estrés acortaron los entrenudos en longitudes cortas, pero estos aumentaron si el tamaño del brote fue más largo por lo que ante condiciones extremas de poco riego y bajo crecimiento los brotes compensaron la pérdida productiva. Además, el proceso de inducción de esas yemas a flor se produce en ese mismo año y por tanto no solo afectaría la estrategia de riego aplicada al crecimiento vegetativo de ese año sino también a la floración del siguiente como indica Zucchini *et al.* (2023).

CAPÍTULO 4:

RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (II): PRODUCCIÓN DE ACEITUNA Y ACEITE.



CAPÍTULO 4: RESPUESTA A LARGO PLAZO DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO (II): PRODUCCIÓN DE ACEITUNA Y ACEITE.

4.1. RESULTADOS

4.1.1. FLORACIÓN Y CUAJADO

La tabla 4.1 muestra los parámetros de floración y cuajado de frutos medidos sobre los ramos del año anterior para la etapa joven (2009-2012) y adulto 1 (2013-2015) de desarrollo del olivar en seto. El número de inflorescencias por brote, en el año 2009 fue similar en todos los tratamientos ya que todos recibieron el mismo riego en el año previo de plantación. En los años sucesivos el tratamiento con déficit severo (RDC-3) tuvo menos inflorescencias que el Control. Comparado el Control con RDC-2 solo hubo diferencias en tres de los siete años estudiados y con RDC-1 tan solo un año, siempre con menor número en los tratamientos menos regados. Si analizamos el 2º y 3º año de producción de un seto joven y el promedio de años ON y OFF en etapa adulta 1 (figura 4.1) encontramos que tras la entrada en producción hubo mayor número de inflorescencias que en fase adulta ya que el seto es de poco tamaño y los brotes más largos. El 2º año del seto joven (2010) tuvo diferencias significativas entre Control y RDC-1 con respecto a RDC-2 y 3 pero no entre ellos mientras que en 2011 (3º año productivo) los brotes presentaron menos inflorescencias al aumentar el seto de tamaño y de producción siendo sólo RDC-3 el que tuvo menos inflorescencias frente al resto de tratamientos. En la etapa adulta 1 el comportamiento fue diferente con mayor floración en años ON que OFF como cabría esperar y las diferencias entre los tratamientos presentó una tendencia muy similar a la explicada en fase joven.

Cuando analizamos el porcentaje de inflorescencias por yemas totales del brote del año anterior (tabla 4.1) encontramos un comportamiento muy similar al descrito para las inflorescencias, salvo en tres de los años de estudio (2011, 2015 y 2016) en donde los tratamientos más deficitarios alcanzaron un mayor porcentaje de inflorescencias por yema.

Tabla 4.1. Parámetros de floración y cuajado de frutos en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2016. Cada dato es el promedio de 80 brotes por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey. (AP= año productivo).

	Año	Riego	Vecería	Inflorescencia/brote (numero)	Inflorescencia/yemas (%)	Frutos/brote (numero)	Frutos/inflorescencia (numero)	frutos/cm brote (numero)					
ETAPA JOVEN	2009	Control	1º AP	16,8	a	79,1	a	26,0	a	1,54	a	1,06	a
		RDC-1		18,1	a	80,6	a	24,1	ab	1,33	b	0,93	ab
		RDC-2		16,9	a	79,6	a	22,3	b	1,32	b	0,84	b
		RDC-3		17,2	a	78,2	a	21,4	b	1,24	c	0,83	b
	2010	Control	2º AP	34,2	a	76,5	a	38,6	a	1,13	a	0,94	a
		RDC-1		31,0	a	77,8	a	31,6	b	1,02	b	0,90	a
		RDC-2		21,9	b	73,9	b	21,1	c	0,98	b	0,79	b
		RDC-3		17,7	b	73,4	b	18,0	c	0,99	b	0,81	b
	2011	Control	3º AP	23,1	a	68,3	b	25,1	a	1,16	a	0,90	a
		RDC-1		23,0	a	71,5	b	24,5	a	1,16	a	0,95	a
		RDC-2		21,1	ab	77,1	a	22,7	b	1,07	b	0,85	b
		RDC-3		19,3	b	76,0	a	21,3	b	1,08	b	0,86	b
ETAPA ADULTO 1	2012	Control	OFF	18,1	a	57,2	a	24,7	a	1,37	c	0,85	a
		RDC-1		14,1	b	49,2	b	20,8	b	1,48	b	0,79	b
		RDC-2		6,6	c	29,8	c	12,4	c	1,88	a	0,60	c
		RDC-3		6,5	c	32,6	c	11,8	c	1,82	a	0,67	c
	2013	Control	ON	20,5	a	74,3	a	29,5	a	1,44	a	1,10	a
		RDC-1		18,7	a	72,7	a	24,1	b	1,28	b	0,99	b
		RDC-2		18,7	a	71,0	ab	23,1	b	1,25	b	0,97	b
		RDC-3		14,8	b	68,8	b	19,1	c	1,24	b	0,98	b
	2014	Control	OFF	13,0	a	55,0	a	19,8	a	1,52	a	0,96	a
		RDC-1		11,9	a	55,4	a	16,5	b	1,39	b	0,90	b
		RDC-2		10,2	ab	53,0	b	13,4	c	1,31	b	0,82	c
		RDC-3		8,4	b	47,9	c	12,9	c	1,53	a	0,83	c
2015	Control	ON	18,9	a	75,3	b	18,0	a	0,95	a	0,71	a	
	RDC-1		17,4	ab	76,5	b	15,9	ab	0,91	a	0,65	ab	
	RDC-2		17,0	b	79,2	a	13,6	b	0,80	b	0,57	b	
	RDC-3		16,5	b	80,0	a	8,7	c	0,53	c	0,40	c	

En todos los años, el tratamiento Control presentó mayor cantidad de frutos cuajados que los tratamientos menos regados siendo significativas con respecto a RDC-2 y 3 y con RDC-1 en cuatro de los siete años estudiados (tabla 4.1). En cuanto al número de frutos finales por inflorescencia hay dos años atípicos: 2012 en que RDC-2 y RDC-3 tuvieron en mayor número de frutos por inflorescencia que los otros dos tratamientos y 2014 en que RDC-3 se iguala con el Control con el mayor número de frutos. En estos dos años coincide que el número de inflorescencias en los déficits severos fue muy lo que pudo resultar en mayor proporción de cuajado y/o retención de los frutos. El resto de los años, la tendencia es que a medida que se restringe el riego cuajan menos frutos por inflorescencia y por cm de brote.

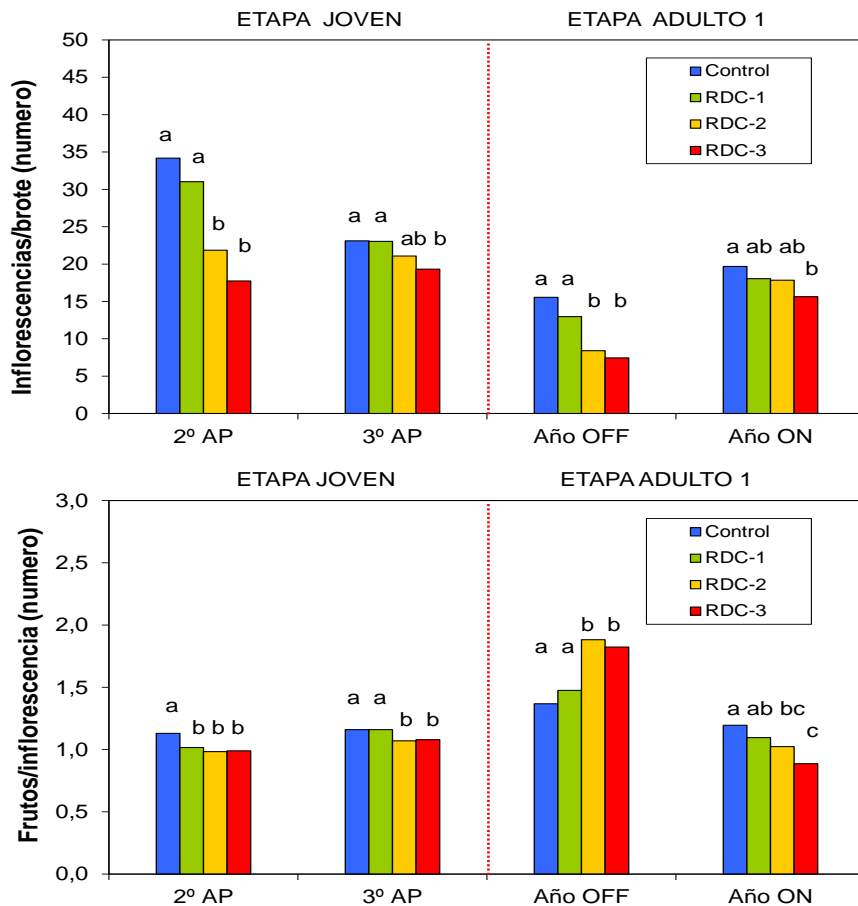


Figura 4.1: Inflorescencias y frutos medios por inflorescencia en años ON Y OFF en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 80 datos, las barras representan el error estándar de la media.

En un análisis por etapas de desarrollo se observa que en los años de entrada en producción fue mayor el número de inflorescencias por brote que en la fase adulta 1, al disponer los árboles de menos brotes, pero de mayor longitud. (Figura 4.2). En ambas etapas la tendencia es a disminuir las inflorescencias por brote al reducir el volumen de agua aplicada, aunque las diferencias entre tratamientos son mayores en años con carga baja de frutos. Sin embargo, el número de frutos por inflorescencias en un seto adulto 1 fue mayor en los tratamientos más deficitarios en los años de OFF, mientras en que años ON vuelve a decrecer al reducir el agua aplicada. -Previo al conteo de frutos al final de recolección, se hizo un conteo de frutos a los 60 días después de plena floración (datos no presentados) y se observó que la cantidad de fruto en cosecha no difirió mucho con un mínimo porcentaje de caída por lo que la población final de aceitunas queda fijada al inicio de la fase II del cultivo.

4.1.2. EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL CREMIENTO DEL FRUTO

La figura 4.2 muestra la evolución estacional de los frutos en peso fresco y seco desde estado guisante hasta recolección para los años 2010 y 2011 de la etapa joven del seto que corresponden al 2º y 3º año productivo donde la carga de los árboles va aumentando. Se observa que en el año 2010 los tratamientos más regados (Control y RDC-1) tuvieron frutos con menor peso con respecto a los tratamientos más deficitarios y estos además tardaron más en alcanzar el IM óptimo. El año siguiente (2011), el comportamiento fue justo lo contrario con frutos de menor peso y con más retraso de maduración en los tratamientos con más déficit aplicado (RDC-2 y 3). Si comparamos los dos años no hubo diferencias en la tasa final alcanzada a pesar de las diferencias de cargas de los años.

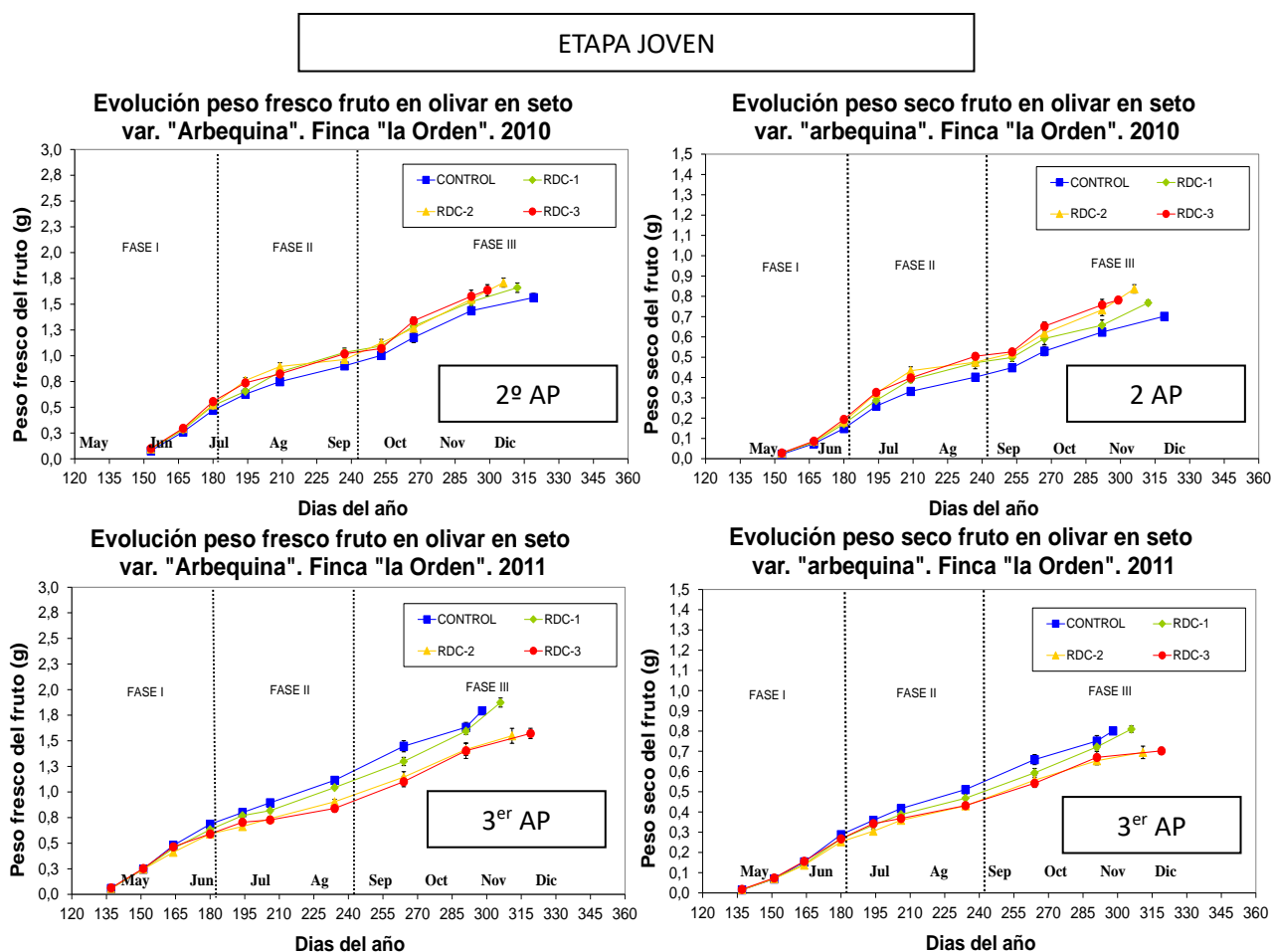


Figura 4.2: Evolución del crecimiento de las aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego en etapa joven del cultivo en año off (2010) y on (2011). Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 120 datos, las barras representan el error estándar de la media.

En etapa adulta 1, se ha tomado los años 2014 y 2015 como representativos de años con carga baja de frutos (OFF) y alta (ON) respectivamente (figura 4.3). En el año OFF no hubo diferencias en peso fresco final alcanzado, aunque en la evolución estacional el Control fue ligeramente mayor que el resto de los riegos. En peso seco en cambio, la estrategia RDC-3 destacó tanto al final de campaña como en parte de la evolución estacional que estuvo a la par con el tratamiento Control. En este año (2014) los tratamientos mejor regados maduraron más precozmente que los más deficitarios. El siguiente año analizado en esta etapa fue el 2015 (año ON) y donde se observa que la alta carga provocó que el tamaño final de los frutos fuera mucho más baja con respecto al año OFF. En este caso, el RDC-3 obtuvo el mayor peso fresco y seco al final de la campaña con respecto al resto de tratamientos y la maduración se adelantó y fue progresiva a medida que la dosis de agua era mayor.

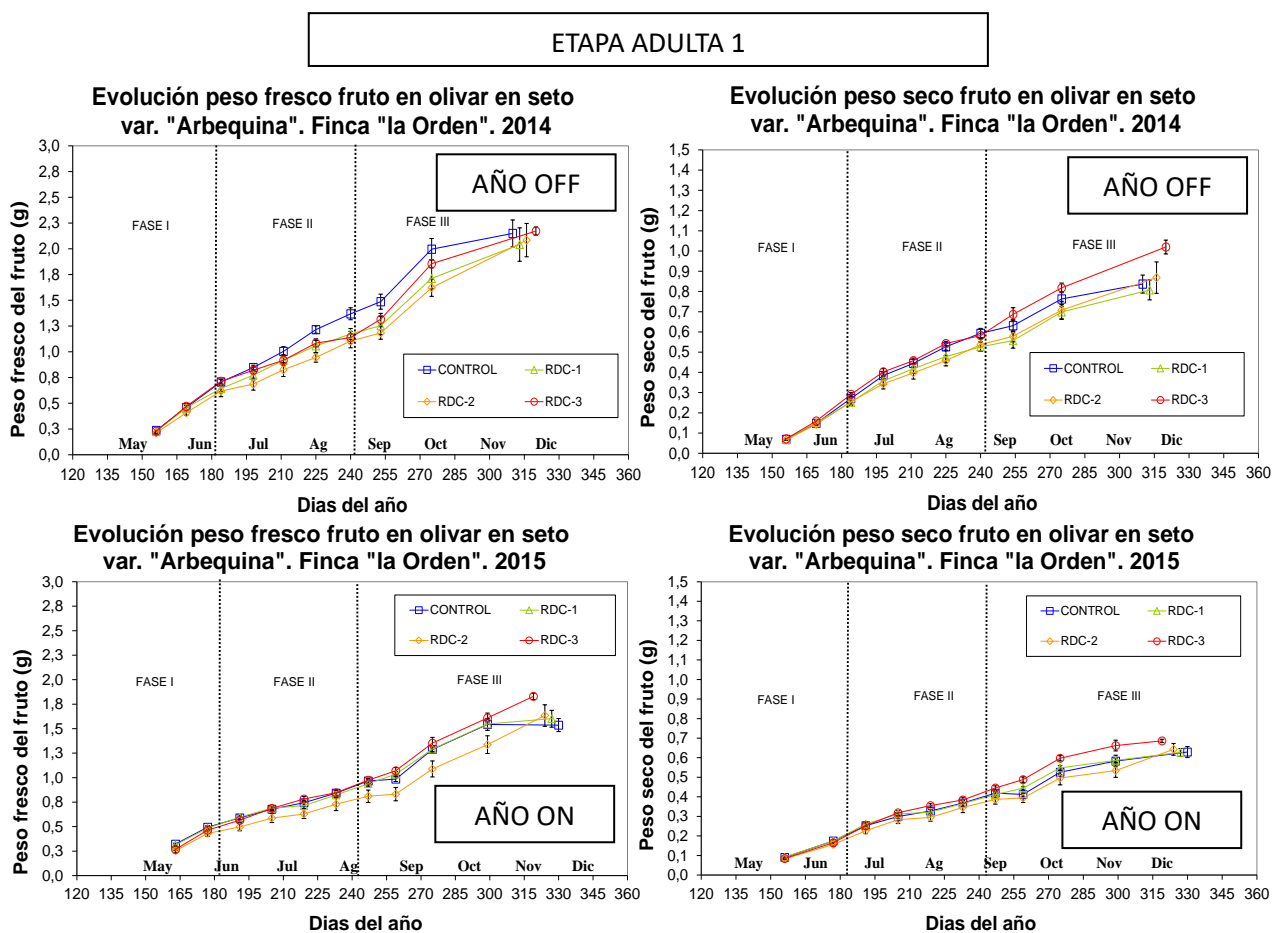


Figura 4.3: Evolución del crecimiento de las aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego en etapa adulta 1 del cultivo en año OFF (2014) y ON (2015). Finca La Orden-CICYTEX. Cada punto es el promedio de 120 datos, las barras representan el error estándar de la media.

4.1.3. PRODUCCIÓN Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

4.1.3.1. Producción de aceitunas

El olivar en seto entró en producción al 2º año de plantación y fue incrementando su producción de aceitunas en los tres años siguientes de etapa joven del cultivo (figura 4.4a). El uso de estrategias de riego severas y moderadas hizo decaer la cantidad de aceituna final en todos los años estudiados en esta etapa mientras que déficits ligeros mantuvieron la productividad. Como dato medio, se alcanzó una productividad de 11.000 kg/ha de aceitunas en el Control, que no fue diferente significativamente con respecto al RDC-1 pero si presentó una bajada del 35,7 y 54,9 % en RDC-2 y 3 respectivamente. En la etapa adulto 1 (figura 4.4b), en los años OFF (2012 y 2014) los tratamientos mejor regados (Control y RDC-1) presentaron una mayor y similar producción frente al resto de tratamientos que además fueron similares entre sí. En los años ON (2013 y 2015), sucedió algo similar con los mejor regados, aunque el tratamiento RDC-2 en el año 2015 se situó al nivel de ellos no presentando pérdidas productivas y en 2013 no perdió tanta cosecha como el RDC-3. Este en cambio siempre tuvo pérdidas productivas. Si observamos el promedio para esta etapa de desarrollo, los resultados muestran que la producción se elevó a más de 19.000 kg/ha (casi el doble con respecto a la etapa anterior), el tratamiento de déficit ligero no presentó pérdidas productivas mientras que los otros dos tratamientos deficitarios bajaron su producción de aceitunas en un 31,7 y 37,5% sin diferencias significativas entre ellos.

Cuando el olivar en seto entro en etapa de adulto 2 (figura 4.4c) el comportamiento varió encontrándonos que en los años OFF el tratamiento con déficit severo produjo al mismo nivel que lo mejor regados, mientras que el tratamiento de déficit moderado (RDC-2) fue el que menos produjo. En años ON, sin embargo, encontramos diferencias incluso con el tratamiento RDC-1, siendo en el año 2017 el Control es el más productivo, seguido de RDC-1 y 2 y el que menos el RDC-3 y en 2019 aunque el Control fue igualmente el que más produjo, las diferencias entre los deficitarios no fueron tan marcadas siendo muy similares. Se observa además que el nivel máximo productivo baja en esta etapa al empezar a presentar el seto un envejecimiento encontrándonos que la media de producción del tratamiento Control se

situó en algo más de 15.000 kg/ha. Al igual que sucedía en las etapas anteriores analizadas, no se encontraron diferencias significativas con el tratamiento RDC-1 y si con el resto de los tratamientos deficitarios, pero con porcentajes de pérdida menores del 20,8 y 23,6 % respectivamente.

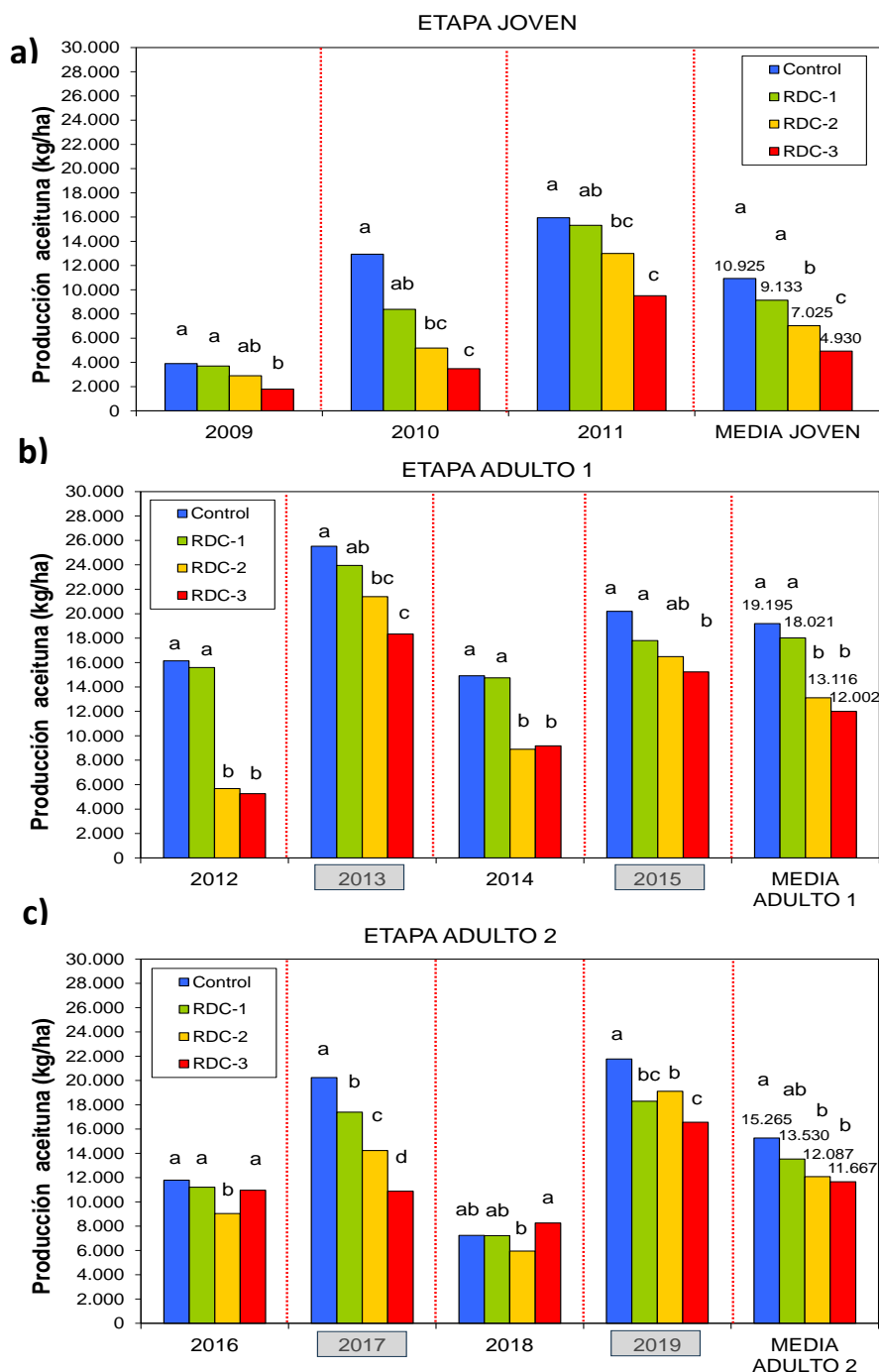


Figura 4.4: Producción de aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

La tabla 4.2 muestra para cada uno de los tratamientos de riego la fecha de recolección, así como el IM en el momento de la recolección. La recolección se inició en cada tratamiento cuando las aceitunas tornaban entre 2- 2,5 para este parámetro y ello generó diferentes fechas de recolección. No hubo diferencias de IM en ninguno de los años estudiados por lo que las diferencias obtenidas tanto en características de las pastas como de la calidad del aceite serán debidas exclusivamente a la dosis de riego aplicada. Con respecto a las fechas de recolección y aunque ya se ha comentado en algunos años en las evoluciones de los frutos, en la tabla 4.2 se muestra lo sucedido en toda la secuencia de años. Los años 2009, 2011, 2014, 2016, 2017 y 2019 los tratamientos mejor regados maduraron más precozmente con respecto a los más deficitarios que se fueron recolectando progresivamente en función de la intensidad del déficit. El resto de los años sucedió todo lo contrario y destaca también el año 2013 donde se heló toda la recolección que fue recogida en el mismo día. Parece que no existe una relación clara entre maduración, carga de los árboles (años sombreados ON) o dosis de riego aplicada ya que el comportamiento vario con los años o la etapa de desarrollo.

Tabla 4.2. Índice de madurez (IM) y fecha de recolección en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento (n=4). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey (A= adelanto, R=retraso, H= aceituna helada).

		Fecha recoleccion Control, RDC-1, 2, 3(dda)		Tratamientos de riego				
				Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3	
IM	Etapa joven	2009	320/326/334/347	A	2,5 a	2,5 a	2,7 a	2,3 a
		2010	319/312/306/299	R	2,2 a	2,6 a	2,6 a	2,3 a
		2011	298/306/311/319	A	2,3 a	2,4 a	2,1 a	2,0 a
Etapa adulta 1	2012	326/325/318/319	R	2,5 a	2,4 a	2,9 a	2,9 a	
	2013	325/325/325/325	H	1,8 a	1,9 a	2,0 a	1,8 a	
	2014	310/313/316/320	A	2,5 a	2,8 a	3,0 a	2,6 a	
	2015	330/327/324/319	R	2,5 a	2,6 a	2,8 a	2,6 a	
Etapa adulta 2	2016	321/321/328/328	A	1,8 a	2,0 a	1,8 a	1,9 a	
	2017	320/326/334/347	A	1,5 a	1,4 a	1,5 a	1,5 a	
	2018	354/353/344/331	R	2,4 a	2,3 a	2,5 a	2,2 a	
	2019	314/329/347/350	A	1,7 a	1,8 a	1,9 a	1,8 a	

4.1.3.2. Carga de frutos

El riego Control presentó mayor número de aceitunas en todos los años frente al RDC-2 y 3, menos en los años 2016 y 2018 (años OFF) en donde esta tendencia fue inversa (tabla 4.3). Entre los tratamientos con más déficit también hubo diferencias de cargas menos en el año 2012 que fueron similares. Por otro lado, el tratamiento de déficit ligero (RDC-1) fue similar al Control en los años 2009, 2013, 2014, 2016 y 2018 y diferente el resto de los años. Si lo comparamos con RDC-2 (déficit moderado) no hubo diferencia entre ellos en el año 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019 coincidiendo que todos ellos son años ON (casillas en gris).

Tabla 4.3. Carga de las aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada dato es la media de 40 datos por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey

		Año	Tratamientos de riego			
			Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
Carga (nº árbol)	Etapa joven	2009	1.092 a	1.036 a	822 b	569 c
		2010	4.196 a	2.351 b	1.557 c	1.094 d
		2011	4.502 a	4.121 b	4.274 b	3.079 c
	Etapa adulta 1	2012	5.115 a	3.481 b	1.106 c	1.348 c
		2013	13.633 a	12.490 ab	11.102 b	8.923 c
		2014	3.638 a	3.863 a	2.226 b	2.153 c
		2015	6.714 a	5.687 b	5.323 b	4.211 c
	Etapa adulta 2	2016	3.572 b	3.843 b	2.979 c	4.497 a
		2017	9.155 a	7.500 b	7.253 b	5.688 c
		2018	2.196 b	2.275 b	1.818 c	2.803 a
		2019	8.183 a	6.696 b	6.952 b	5.771 c

Analizando este parámetro en el desarrollo del olivar en seto (figura 4.5) observamos una primera etapa joven donde los árboles aún no han alcanzado su máximo potencial y donde incluso un déficit ligero hace bajar el número de aceitunas por árbol. La pérdida de carga fue similar entre RDC-1 y 2 y mucho más baja si aplicamos déficits severos. Cuando el olivar en seto entra en la etapa de adulto 1, es cuando encontramos las mayores cargas de fruto siendo los años más productivos de olivar. En este caso y al igual que sucedía en la etapa anterior, un déficit ligero baja el número de

frutos por árbol, pero hay que aplicar estrategias RDC-2 y 3 para que esta bajada sea considerable no presentando diferencias entre ellos. En adulto 2, la intensidad del déficit no hizo disminuir en mayor proporción la carga de los árboles con respecto al Control que si presentó más frutos por olivo. Como se ha comentado, en esta etapa los árboles no consiguen alcanzar las cargas de aceitunas conseguidas en los primeros años de un seto adulto.

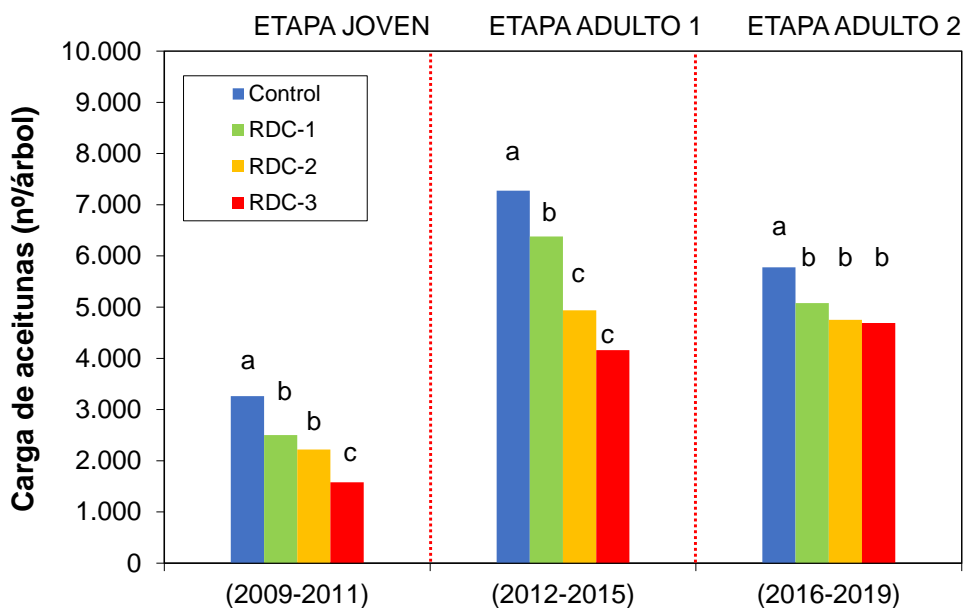


Figura 4.5: Carga de aceitunas media en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

4.1.3.3. Peso del fruto

El peso fresco final de la aceituna varió según los tratamientos y los años de estudio menos en el año 2014 que presentaron el mismo tamaño (tabla 4.4). Los frutos de la estrategia Control fueron mayores en 6 de los 11 años de estudio (2009, 2011, 2013, 2016, 2017 y 2018) con respecto al RDC-3. Sin embargo, en los años 2012, 2015 y 2019 el tratamiento más deficitario tuvo mayor tamaño de fruto que Control y los años 2010 y 2014 fueron similares. El tratamiento RDC-1 fue similar al Control en 8 de los años estudiados, salvo en 2010 y 2012 que fue de más tamaño y por el contrario en 2016 el menor. Cuando aplicamos una estrategia RDC-2 estos presentaron un mayor peso fresco en 5 de los años de ensayo, en 3 fue de los menores (2011, 2017 y 2019) y los años 2015 y 2016 que ha estado intermedio. El comportamiento en peso seco fue algo diferente

con respecto al fresco encontrando que RDC-2 tuvo la mayor cantidad de materia seca en 9 años, seguido de RDC-1 (6 años) y en tan solo 5 años en los tratamientos con más y menos agua de riego. Si comparamos los años ON y OFF en la etapa adulta (marcado gris) se observa que los frutos son de mayor tamaño en los años de descarga como cabría esperar y no hay una tendencia clara que la dosis de riego afecte más en unos años con respecto a otros.

Tabla 4.4. Peso fresco y seco de la aceituna en recolección en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de 40 datos por tratamiento. Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

		Año	Tratamientos de riego				
			Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3	
PF aceituna (g)	Etapa joven	2009	1,80 a	1,81 a	1,79 a	1,63 b	
		2010	1,56 b	1,66 a	1,71 a	1,63 ab	
		2011	1,79 a	1,87 a	1,55 b	1,57 b	
	Etapa adulta 1	2012	1,90 d	2,33 b	2,66 a	2,11 c	
		2013	0,96 a	0,97 a	0,98 a	1,05 b	
		2014	2,15 a	2,04 a	2,08 a	2,17 a	
		2015	1,54 c	1,60 bc	1,63 b	1,83 a	
	Etapa adulta 2	2016	1,72 a	1,50 b	1,56 b	1,23 c	
		2017	1,12 a	1,17 a	1,00 b	0,97 b	
		2018	1,68 a	1,61 a	1,67 a	1,49 b	
		2019	1,36 b	1,39 b	1,40 b	1,45 a	
	PS aceituna (g)	Etapa joven	2009	0,74 b	0,76 b	0,81 a	0,79 a
			2010	0,70 c	0,77 b	0,84 a	0,78 ab
			2011	0,80 a	0,81 a	0,69 b	0,70 b
		Etapa adulta 1	2012	0,79 c	0,90 b	1,11 a	0,99 b
			2013	0,38 a	0,39 a	0,40 a	0,43 b
2014			0,84 b	0,81 b	0,87 ab	1,02 a	
2015			0,63 b	0,63 b	0,64 ab	0,69 a	
Etapa adulta 2		2016	0,62 a	0,59 a	0,59 a	0,48 b	
		2017	0,49 a	0,53 a	0,48 ab	0,44 b	
		2018	0,65 a	0,64 a	0,63 a	0,58 b	
		2019	0,55 c	0,64 ab	0,63 b	0,66 a	

Analizando la media por etapas de cultivo (figura 4.6), se puede discernir más información indicando que en un seto joven el RDC-1 presentó frutos con más peso fresco en comparación con un déficit severo (RDC-3) los otros tratamientos se situaron

en posiciones intermedias entre ambos. En adulto 1 en cambio y debido a que es el periodo con mayor carga de los árboles, el Control fue el de menor tamaño de aceituna frente al resto de tratamientos. En el último período (adulto 2), donde las cargas de los frutos bajan, Control y RDC-1 y 2 tuvieron mayores y similares pesos frente a RDC-3 que fue el menor. En peso seco el comportamiento fue muy similar salvo para la etapa inicial donde no se encontraron diferencias en este parámetro entre los tratamientos de riego que consiguieron todos alcanzar la misma materia seca.

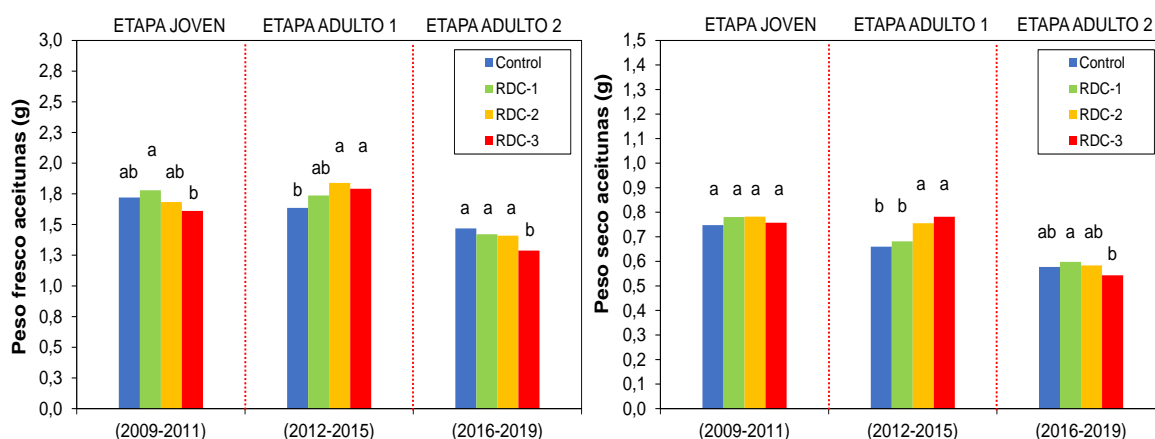


Figura 4.6: Peso fresco y seco medio de aceitunas en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey.

Tabla 4.5. Humedad de la aceituna en recolección en olivar en seto variedad ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento (n=4). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey.

		Año	Tratamientos de riego			
			Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
Humedad (%)	Etapa joven	2009	60,5 a	58,6 a	54,8 b	51,0 c
		2010	58,6 a	57,0 a	53,4 b	51,0 c
		2011	60,5 a	60,9 a	58,1 b	56,2 c
	Etapa adulta 1	2012	59,5 a	62,4 a	60,4 a	60,5 a
		2013	54,3 a	56,1 a	54,1 a	55,8 a
		2014	61,5 a	61,0 a	59,9 ab	57,6 b
		2015	60,0 a	61,6 a	60,8 a	61,9 a
	Etapa adulta 2	2016	64,7 a	62,1 b	62,1 b	60,8 b
		2017	57,7 a	56,7 a	53,1 b	54,9 ab
		2018	62,5 a	62,1 ab	60,9 ab	60,3 b
		2019	58,7 a	57,4 ab	55,3 b	54,6 b

En cuanto al contenido de agua de los frutos (tabla 4.5), se observa que las aceitunas de los árboles con más riego presentaron en la mayoría de los años estudiados más humedad. Solo hubo dos años donde el contenido fue similar en todos los tratamientos (año 2012 y 2015).

4.1.3.4. Contenido graso

El contenido en aceite en fresco fue mayor a medida que el déficit hídrico fue más severo de manera general en la secuencia de años estudiados (tabla 4.6). Solo ha habido un año (2015) donde todos los rendimientos fueron similares y los años 2010 y 2017 donde RDC-3 bajo su contenido con respecto a RDC-2.

Tabla 4.6. Rendimiento graso en fresco y seco en recolección en olivar en seto variedad 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2019-2019. Cada dato es la media de las repeticiones por tratamiento (n=4). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey.

		Año	Tratamientos de riego			
			Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
Rdo graso (% PF)	Etapa joven	2009	20,1 b	20,8 b	23,4 a	23,2 a
		2010	21,7 b	20,9 b	24,0 a	21,5 b
		2011	21,3 c	22,4 b	23,0 ab	24,1 a
	Etapa adulta 1	2012	17,7 b	17,4 b	19,7 a	19,7 a
		2013	15,8 c	17,2 b	17,7 b	19,7 a
		2014	15,2 c	17,5 b	20,9 a	21,7 a
		2015	16,7 a	15,2 a	16,1 a	15,6 a
	Etapa adulta 2	2016	12,0 c	14,3 b	15,8 a	16,4 a
		2017	18,6 c	19,2 bc	22,1 a	20,4 b
		2018	14,9 b	16,0 ab	16,2 a	16,4 a
		2019	14,5 c	18,9 b	19,6 b	21,8 a
	Rdo graso (% PS)	Etapa joven	2009	51,0 a	50,2 a	51,8 a
2010			51,3 a	52,6 a	51,4 a	43,9 b
2011			53,9 c	56,2 b	56,1 b	58,3 a
Etapa adulta 1		2012	43,6 c	46,5 b	49,5 a	49,7 a
		2013	34,5 c	39,2 b	38,6 b	44,5 a
		2014	39,3 c	44,8 b	52,1 a	51,1 a
		2015	41,8 a	39,6 a	41,0 a	40,9 a
Etapa adulta 2		2016	34,0 c	37,7 b	41,8 a	41,9 a
		2017	43,8 c	44,4 bc	47,3 a	45,3 b
		2018	39,8 b	42,2 a	41,5 a	41,4 a
		2019	35,4 c	44,4 b	43,9 b	47,9 a

Cuando analizamos este parámetro, sobre seco los resultados difieren sobre todo en los primeros años de desarrollo (2009 y 2010) donde RDC-3 fue el q menos grasa sobre seco acumuló frente al resto de tratamientos. El resto de los años siguió tendencias similares con un 2015 con el mismo contenido en aceite y el año 2017 donde el estrés severo lo hizo bajar.

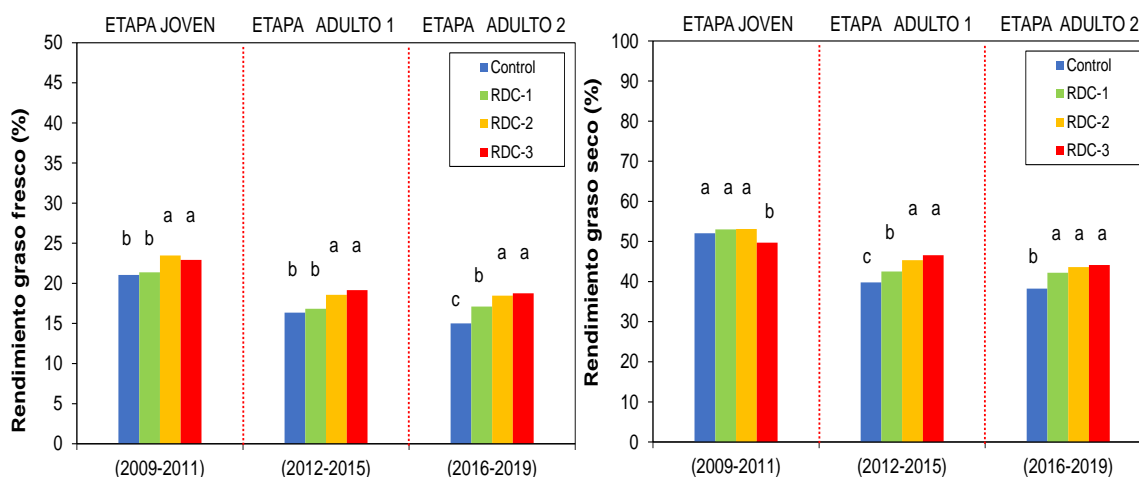


Figura 4.7: Rendimiento graso fresco y seco medio de aceitunas en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

Calculando los promedios por etapas de cultivo (figura 4.7) observamos que la tendencia en contenido graso sobre fresco es aumentar a medida que se incremente el déficit hídrico. La cantidad de aceite en fresco es mayor en los primeros años de cultivo y va bajando a medida que el árbol se envejece independientemente de la estrategia de riego aplicada. En cuanto a este mismo dato, pero sobre materia seca el comportamiento difiere solo en la etapa joven del cultivo donde solo baja cuando aplicamos déficits fuertes. El resto de comportamiento es similar al explicado sobre fresco incluso en el decrecimiento del contenido graso a medida que el olivar avanza en su desarrollo.

4.1.3.5. Producción de aceite

En la figura 4.8 se muestran los resultados de aceite y se observa la misma dinámica explicada para la producción de aceitunas, pero en los tratamientos más deficitarios al presentar mayor rendimiento graso en muchos de los años de estudio, compensa en parte la pérdida productiva.

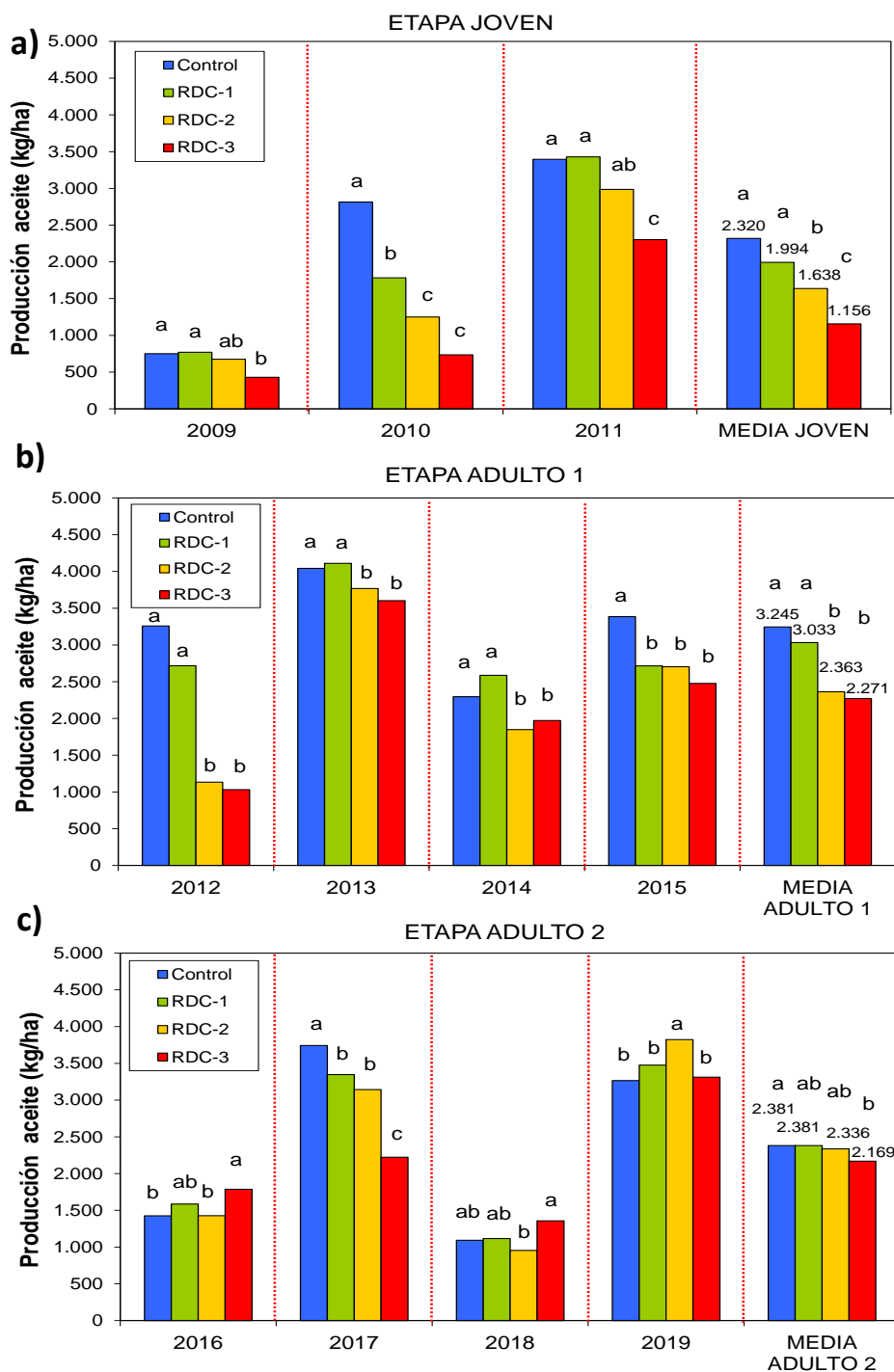


Figura 4.8: Producción de aceite en olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

Analizando medias por etapas de cultivo en fase joven (figura 4.8 a) el Control tuvo una producción de 2.320 kg de aceite por ha sin diferencia significativa con RDC-1. La pérdida de producción de aceite en RDC-2 fue del 29,4% y del 50,2 para el RDC-3

(porcentajes menores que en producción de aceitunas). En un seto adulto 1 (figura 4.8 b), la producción se elevó hasta 3.245 kg/ha para Control. RDC-1 fue similar estadísticamente y el resto de los tratamientos presentaron bajadas del 27,2 y 30 % respectivamente para RDC-2 y 3. Cuando analizamos la etapa adulta 2 (figura 4.8 c) el RDC-2 fabricó la misma cantidad de aceite que los otros tratamientos con más riego y solo se perdió un 8.9% para el tratamiento más deficitario. En este caso la media mayor alcanzada fue de 2.381 kg/ de aceite, valores muy similares a los encontrados en la etapa joven.

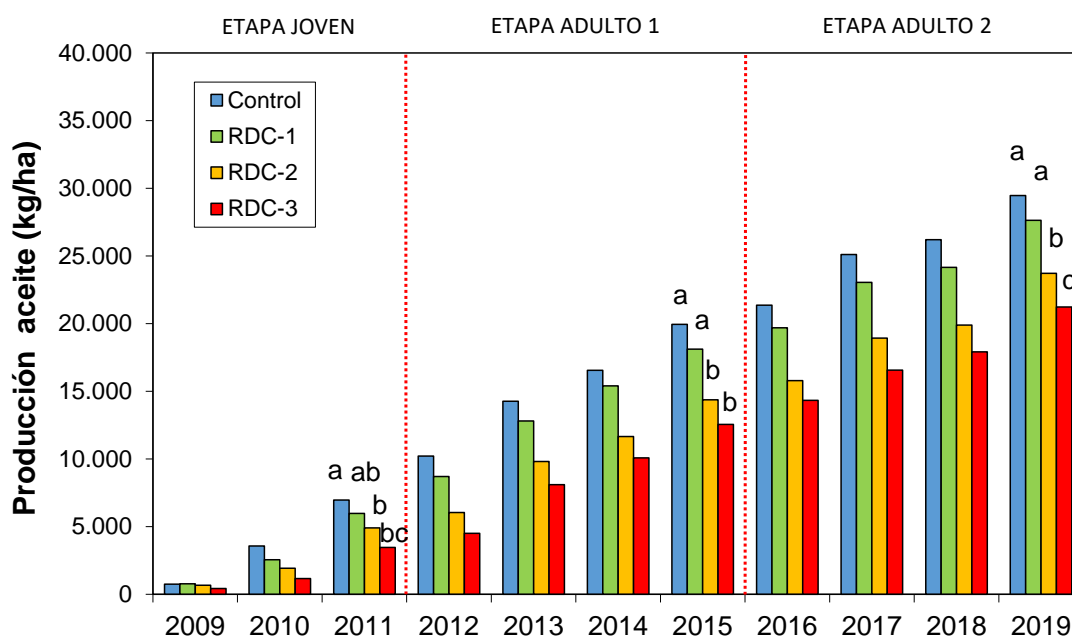


Figura 4.9: Producción acumulada de aceite en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey analizados al final de cada etapa.

En una evolución acumulada del aceite producido en todo el periodo de ensayo (figura 4.9) se observa que a medida que el seto envejece las diferencias entre los tratamientos con el Control se va atenuando. Así, aunque el tratamiento RDC-1 no encontró diferencias su porcentaje de variación paso del 14, 9,2 y 6,2% para cada etapa de desarrollo. El tratamiento RDC-2 evolucionó del 29,4 al 28 y 19,5% y para el tratamiento más deficitario del 49,8 al 37 y 28% respectivamente en etapa joven, adulto 1 y 2.

4.1.4. RELACIONES DE PRODUCTIVIDAD

Tabla 4.7. Eficiencia del uso del agua y productiva para producción de aceite (kg aceite/m³ agua o copa) en olivar en seto var. 'Arbequina' para distintos tratamientos de riego y etapas de cultivo. Finca La Orden-Valdesequera, año 2009-2019. Cada dato es a media de las repeticiones por tratamiento (n=4). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey.

		Años	Control	RDC-1	RDC-2	RDC-3
a) EUA (Kg aceite/m ³ agua)	Etapa joven	2009	0,16 c	0,25 b	0,33 a	0,27 ab
		2010	0,44 a	0,37 ab	0,38 ab	0,26 b
		2011	0,56 b	0,59 b	0,74 a	0,81 a
	Etapa adulta 1	2012	0,41 a	0,42 ab	0,28 b	0,36 a
		2013	0,53 d	0,74 c	0,93 b	1,19 a
		2014	0,50 d	0,99 c	1,76 b	6,84 a
		2015	0,55 b	0,58 b	1,17 a	1,38 a
	Etapa adulta 2	2016	0,20 c	0,30 b	0,32 b	0,55 a
		2017	0,54 c	0,67 b	0,70 ab	0,76 a
		2018	0,15 c	0,20 b	0,19 b	0,31 a
		2019	0,43 d	0,61 c	0,80 b	0,93 a
	b) EP (Kg aceite/m ³ copa)	Etapa joven	2009	0,15 b	0,17 ab	0,19 a
2010			0,45 a	0,30 b	0,24 bc	0,18 c
2011			0,51 a	0,48 a	0,52 a	0,47 a
Etapa adulta 1		2012	0,32 a	0,28 a	0,13 b	0,16 b
		2013	0,40 b	0,42 ab	0,43 ab	0,46 a
		2014	0,22 a	0,25 a	0,21 a	0,22 a
		2015	0,37 a	0,32 a	0,37 a	0,33 a
Etapa adulta 2		2016	0,15 b	0,18 ab	0,17 ab	0,23 a
		2017	0,41 a	0,41 a	0,43 a	0,30 b
		2018	0,12 b	0,15 b	0,13 b	0,21 a
		2019	0,32 b	0,41 ab	0,48 a	0,47 a

El tratamiento más eficiente en el uso del agua (EUA) fue el RDC-3 en la mayoría de los años de estudio (Tabla 4.7 a). La excepción está en el año 2010 donde este tratamiento fue el menos eficiente coincidiendo que produjo muy poco y además fue el año que más pluviometría registró tanto a nivel anual como en las fases de cultivo. Por el contra, el tratamiento con menos EUA fue el Control, con la misma excepción para el año 2010 y también 2012 donde fue de los más eficientes. El resto de los tratamientos se encontraron intermedios entre ambos, siendo RDC-1 y 2 muy interesantes de cara a presentar una buena EU, buena producción y buen control del vigor. Si analizamos este

parámetro por etapas de cultivo (figura 4.10) se observa comportamientos diferentes con un seto joven donde no hay diferencias entre los tratamientos en EUA, una etapa adulta 1 donde hay diferencias muy marcadas con una mayor eficiencia a medida que la estrategia deficitaria es más severa. Por último, una etapa adulta 2 donde, aunque se mantiene la misma tendencia que en adulta 1 aunque estas diferencias con son tan marcadas.

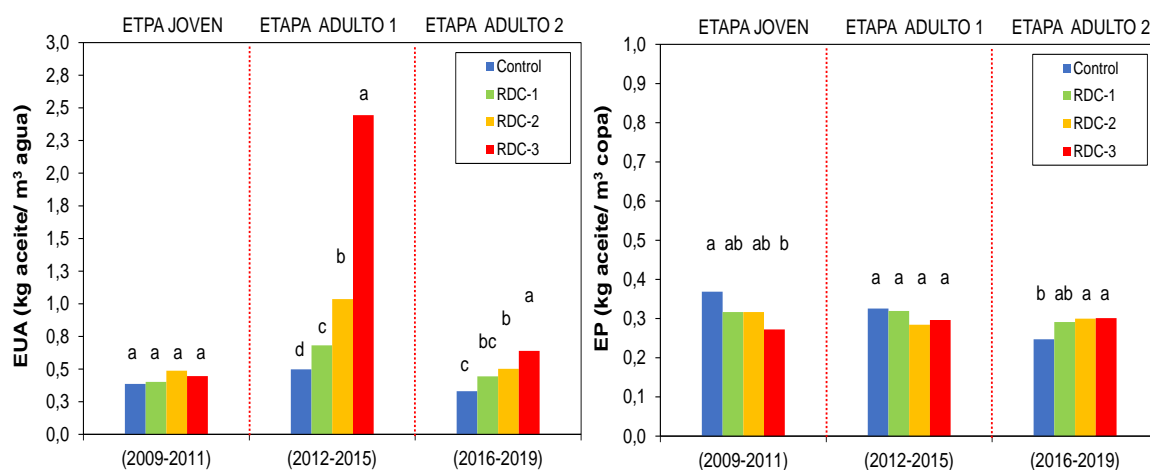


Figura 4.10: EUA y EP en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos riegos y etapas de desarrollo del cultivo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es el promedio de 40 datos por año y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según el test de Tukey.

También se ha evaluado la eficiencia productiva (EP) (kg aceituna/m³ de volumen de copa) para conocer el equilibrio entre la actividad productiva y la vegetativa en estas plantaciones tanto en la fase de entrada en producción como en estado adulto (Tabla 4.7 b). Cuando se analiza este parámetro encontramos que en cinco de los años estudiados (2009, 2013, 2016, 2018 y 2019) el RDC-3 presentó mayor eficiencia productiva que Control, mientras que los años 2010, 2012 y 2017 fue justo lo contrario. Además, hubo tres campañas (2011, 2014 y 2015) donde no se han encontrado diferencias significativas entre ninguno siendo igualmente productivos. Analizando según el desarrollo del cultivo, el comportamiento del olivar también difiere (Figura 4.9). En etapa joven, a medida que el déficit hídrico aumenta, se pierde EP, sin embargo, en seto adulto 1 no se encontró diferencias entre los tratamientos. En la última etapa estudiada (adulto 2) la tendencia se invierte, encontrando que mientras más déficit aplicamos mejor es la EP.

Con el fin de evaluar la respuesta global frente a las diferentes disposiciones de agua analizadas durante el periodo experimental (2009-2019), se encontraron correlaciones entre los principales parámetros agronómicos evaluados (producción de aceituna y aceite) y los valores medios anuales del agua aplicada en cada estrategia de riego y etapa de desarrollo (figura 4.11). En la etapa joven, el rendimiento medio de aceituna (a) aumentó proporcionalmente a la dosis de riego aplicada pero debido a que estamos en una etapa donde la producción aumenta por año, parece no haber diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, una vez estabilizada la producción en la etapa adulta 1 se observa claramente como se produce más aceituna con el aumento de la dosis de agua, aunque no hubo diferencias entre Control y RDC-1, sin con RDC-3 y RDC-3 se situó entre ambos. Cuando el olivar en seto entra en la etapa adulto 2 encontramos que las producciones no son diferentes entre sí. Se observa además la diferencia de rango del agua usada cuando un seto es joven a cuando es adulto.

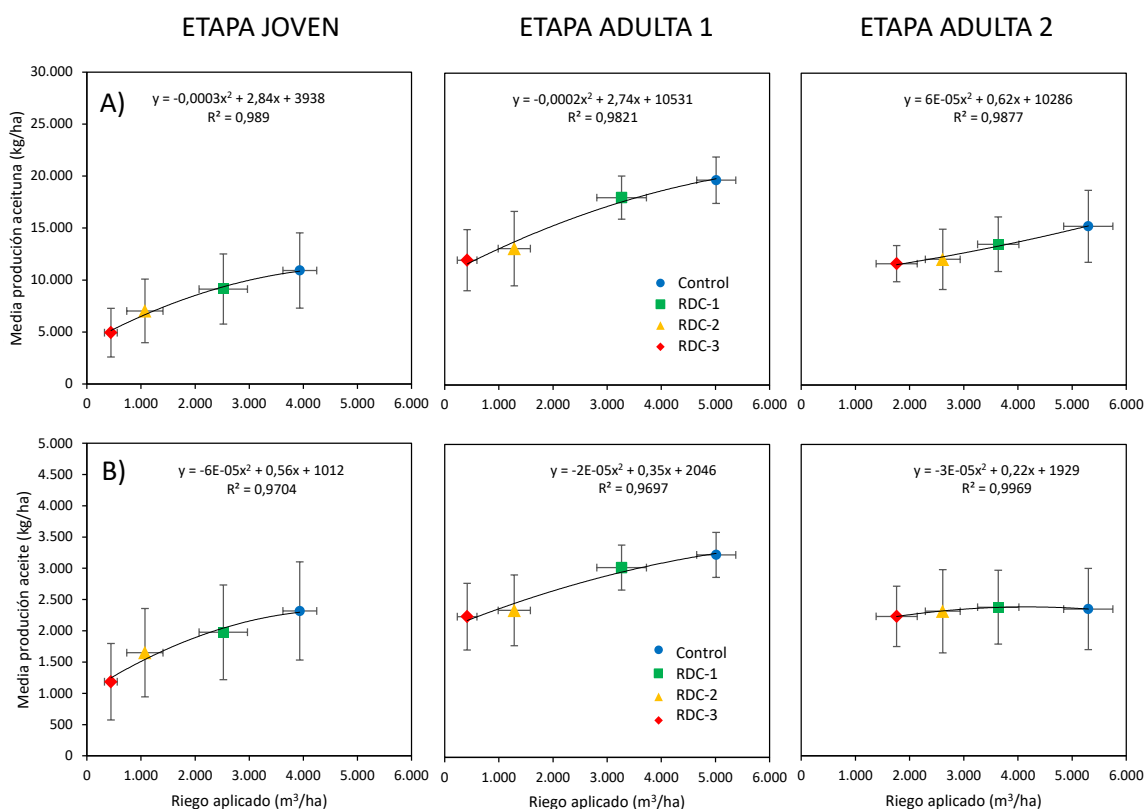


Figura 4.11: Relación entre la dosis media de riego aplicada anualmente y el rendimiento medio de aceituna (A) y de aceite (B) en olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX, años 2009-2019. Cada punto es la media de cuatro repeticiones por tratamiento y año. Las barras representan el error estándar de la media.

Al analizar el parámetro producción de aceite (b) los resultados son similares, aunque se observa que los tratamientos más deficitarios logran compensar la producción de aceite al presentar en general más rendimiento graso.

Tabla 4.8. Correlaciones de Pearson (valores r) entre estado hídrico y caracteres agronómicos productivos (producción y componentes del rendimiento), para los distintos riegos (integral de estrés total y por fases) y estados de desarrollo del árbol en olivar en seto variedad 'Arbequina'. Finca la Orden-CICYTEX (2009-2019) (se marca con distintos colores los rangos de la correlación).

		S _ψ total	S _ψ F1	S _ψ F2	S _ψ F3	P aceitunas	Carga	PF fruto	PS fruto	Humedad	Rnd graso
ETAPA JOVEN (2009-2012)	P aceitunas	-0,33	-0,19	-0,48	0,18						
	Carga	-0,26	-0,15	-0,41	0,23	0,98					
	PF fruto	-0,46	-0,29	-0,47	-0,40	-0,02	-0,19				
	PS fruto	-0,01	-0,10	0,04	-0,05	-0,12	-0,26	0,86			
	Humedad	-0,65	-0,32	-0,77	-0,30	0,60	0,55	0,41	-0,24		
	Rnd graso	0,66	0,53	0,62	0,61	0,01	0,06	-0,34	0,13	-0,41	
	P aceite	-0,25	-0,13	-0,40	0,25	0,99	0,98	-0,06	-0,13	0,56	0,13
ETAPA ADULTA 1 (2013-2016)	P aceitunas	-0,46	-0,31	-0,25	-0,11						
	Carga	-0,25	-0,20	-0,10	-0,04	0,89					
	PF fruto	0,03	0,02	-0,13	-0,03	-0,78	-0,90				
	PS fruto	0,12	0,07	-0,04	0,03	-0,87	-0,92	0,95			
	Humedad	-0,10	0,04	-0,22	-0,20	-0,41	-0,66	0,65	0,54		
	Rnd graso	0,41	0,12	0,32	0,21	-0,45	-0,29	0,19	0,35	-0,32	
	P aceite	-0,38	-0,30	-0,17	-0,05	0,95	0,87	-0,78	-0,83	-0,54	-0,17
ETAPA ADULTA 2 (2017-2019)	P aceitunas	0,05	0,30	-0,10	-0,08						
	Carga	0,22	0,51	-0,01	0,11	0,93					
	PF fruto	-0,58	-0,73	-0,35	-0,54	-0,45	-0,72				
	PS fruto	-0,46	-0,55	-0,31	-0,41	-0,18	-0,47	0,86			
	Humedad	-0,60	-0,75	-0,36	-0,59	-0,52	-0,66	0,71	0,32		
	Rnd graso	0,61	0,68	0,41	0,62	0,32	0,46	-0,59	-0,23	-0,85	
	P aceite	0,25	0,49	0,06	0,15	0,93	0,92	-0,56	-0,20	-0,73	0,64

Muy alta

Alta

Las correlaciones entre todos los rasgos mencionados se calcularon para cada año y etapa de desarrollo utilizando los valores medios de los cultivares (tabla 4.8). En etapa joven solo se encontró una alta correlación media positiva entre la producción de aceitunas o aceite y la carga de los árboles. Para la etapa adulta 1, además de la correlación anterior encontrada, también se encontró que la producción de aceituna y aceite estaba influida por el peso del fruto (fresco y seco). También la carga de los árboles influyó sobre el peso fresco y seco de las aceitunas. En el último periodo estudiado se volvió a repetir o encontrado en la fase inicial y además aparece una nueva relación entre humedad y rendimiento graso que no ha sido encontrada en etapas anteriores.

4.2. DISCUSION

Los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico después del crecimiento vegetativo son la floración y el cuajado de los frutos (Hsiao, 1973). En el capítulo anterior se ha visto como los niveles de estrés hídrico provocados en las distintas fases anuales afectan al crecimiento de la cubierta, principalmente la fase I al avanzar la edad del olivar. La producción de un olivar se genera sobre el crecimiento de brotes del año anterior por lo que las estrategias de riego aplicadas en el año previo influirán en parte sobre la producción del año en curso. La cosecha final será el efecto acumulado de dos años. Por otra parte, el crecimiento vegetativo y reproductivo compiten por las fuentes y ante situaciones de déficit hídrico prevalece el desarrollo de flores y los frutos (Díaz-Espejo *et al.*, 2007; Zucchini *et al.*, 2023). Al pararse el crecimiento de brotes con niveles de estrés ligeros los asimilados producidos por la fotosíntesis pueden redirigirse hacia los frutos, pero superando un cierto nivel de estrés y/o con una carga alta de frutos la capacidad de asimilación puede llegar a ser limitante y afectar a los procesos implicados en el crecimiento del fruto y la maduración (Pérez-Arcoiza *et al.*, 2023). En este capítulo se estudia cómo afecta el estrés generado en los distintos tratamientos de riego en los procesos productivos del año en curso y el efecto acumulado en los primeros 11 años productivos del olivar.

4.2.1. FLORACIÓN Y CUAJADO

El ciclo reproductivo del olivo tiene un carácter bianual y la cosecha de aceituna del año actual se empieza a gestar con la formación de los puntos de fructificación y los procesos de inducción, iniciación diferenciación floral con los que la yema queda señalada como de flor o madera. La inducción se produce al final del endurecimiento del hueso (Haberman *et al.*, 2017) aunque en algunas zonas puede ocurrir incluso después de la cosecha para yemas formadas a finales de verano u otoño. Tras la inducción, la fase de iniciación, que no muestra ningún cambio morfológico en la yema, depende del frío y de la latencia del botón floral (Ramos *et al.*, 2018). La última etapa (diferenciación) comienza con la formación de la inflorescencia en la yema, y es la única etapa que muestra modificaciones morfológicas visibles. Suele comenzar durante el

invierno, y las condiciones climáticas pueden anticipar o retrasar la finalización de esta fase (Valverde *et al.*, 2020). Las inflorescencias desarrolladas en el año en curso quedan determinadas por la longitud de los brotes (número de nudos) y por la fertilidad de las yemas (un mayor número de nudos con flores) que se determinan en el periodo comprendido entre año previo e inicio del siguiente. En nuestros resultados el número de inflorescencias por brote disminuyó con el estrés hídrico en todos los años para niveles moderados y severos, así como el número de inflorescencias por yema en 10 de los 11 años estudiados como consecuencia de los niveles de estrés soportados en las correspondientes fases del año previo.

Los tratamientos RDC-2 y RDC-3 tuvieron también menor cuajado y esta vez debido al nivel de estrés soportado en la fase I, que en algunos experimentaron un rápido descenso del potencial hídrico con una imposición rápida del estrés. Las diferencias interanuales guardaron relación con el nivel de floración en la etapa adulta, de forma que un mayor número de inflorescencias disminuyó el cuajado, pero no en la joven ya que al ser los ramos más largos la competencia entre nudos debió de ser menor. Con estos resultados, para preservar el cuajado podemos establecer un límite de potencial en la fase I de -1 MPa que fue el correspondiente a RDC-1, siendo un nivel de estrés ligero (Moriani *et al.*, 2012). Hueso *et al.*, (2021) en su trabajo de riego deficitario en seto aplicado en primavera indica este mismo nivel para de potencial. Al final de la fase tenemos por tanto establecido el potencial productivo para ese año, ya que el nº de frutos por árbol es el componente del rendimiento que más influye sobre la producción.

4.2.2. DESARROLLO DEL FRUTO Y MADURACIÓN.

El tamaño final de la aceituna para una variedad en concreto depende del número de células del mesocarpo y del tamaño de las mismas, es decir, de la multiplicación y de la expansión celular. Aunque en este fruto ambos procesos se producen simultáneamente, hay periodos en los que domina la multiplicación (Fase I) y en otros la expansión (Rapoport *et al.*, 2012). Cuando se diseñan estrategias de riego deficitario en frutales de hueso y también en olivo se suele identificar la fase de endurecimiento del hueso como una fase menos sensible al déficit hídrico, ya que coincide con un periodo de ralentización del crecimiento, sin embargo en la evolución del crecimiento de la

aceituna, tanto en peso fresco, como seco (Figuras 4.3 y 4.4) se aprecia que en la fase II es cuando se establecen diferencias entre tratamientos en el peso de las aceitunas, y estas diferencias se suelen mantener en la fase III.

En etapas adultas del seto el tamaño del fruto parece estar más influido por la carga de los árboles que por la estrategia de riego aplicada de tal forma que una mayor carga provocó mejor tamaño de aceituna en los tratamientos más regados. Los años de descarga los frutos alcanzan mayor tamaño ya que no hay tanta competencia por asimilados. También el tamaño de la cubierta afecta a este parámetro. En peso seco el comportamiento fue muy similar salvo para la etapa inicial donde no se encontraron diferencias en este parámetro entre los tratamientos de riego que consiguieron todos alcanzar la misma materia seca debido a la menor carga de los árboles en este periodo.

La maduración de la aceituna se retrasa en los tratamientos deficitarios cuando la carga de los setos es muy alta o cuando el estrés hídrico es muy severo. Los años que llueve poco en la fase III (otoño) tardan más en madurar cuanto más estresados están. Además, el que se produzcan lluvias intensas previas a la recolección puede hacer llenar los frutos de agua y modificar este parámetro y por este motivo no siempre las aceitunas menos regadas presentan menos humedad. Aunque debido a los aspectos mencionados anteriormente la recolección se ha adelantado o retrasado al aumentar el estrés hídrico, dependiendo del año, en la mayor parte de los mismos se ha observado efecto del tratamiento, luego influye en la duración del proceso de maduración, probablemente dependiendo de la disponibilidad de fotoasimilados.

4.2.3. PRODUCTIVIDAD DE LOS SETOS.

En todas las etapas y todos los años de este estudio la producción de aceituna aumentó al incrementar el volumen de agua de riego aplicado. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos se van reduciendo en la etapa adulta 2 debido principalmente al descenso en la producción que experimenta el Control. El descenso en la producción en relación al Control fue considerable en las estrategias RDC-2 y RDC-3, mientras que el RDC-1 mantiene niveles similares en 9 de los 11 años, y en la media de cada una de las tres Fases. A pesar de la caída en la producción de RDC-2 y RDC-3 hay que destacar una producción interanual más estable en las fases adultas, al no

experimentar la misma caída de producción que los tratamientos más regados. Estos dos tratamientos se han mantenido en el tiempo, con menos desequilibrios y por tanto podríamos haber inducido un envejecimiento prematuro a los más regados llevados al máximo potencial productivo.

El contenido graso aumentó en todos los años con el estrés, salvo que este sea muy severo que hizo bajar este parámetro como sucede en alguno de los años, resultados muy contrastado por otros trabajos (Fernández *et al.*, 2018; Hueso *et al.*, 2021; Martínez-Gimeno *et al.*, 2023). El contenido graso en la aceituna fue más alto en la etapa joven cuando se expresa en relación a peso fresco, pero no en peso seco y llegó a ser mayor en el control en algunos años, en situaciones de alta competencia entre aceitunas y/o estrés severo en los tratamientos más estresados.

En olivar en seto para almazara lo que queremos producir es aceite y debido a que el contenido graso aumenta con el déficit hídrico, la producción obtenida amortigua en parte las pérdidas productivas encontradas para producción de aceitunas. Tal es así que en la etapa adulto 2, incluso RDC-2 produjo la misma cantidad de aceite que los más regados. Estos resultados hacen recomendable modificar la estrategia de riego en función de la edad del olivar empezando en los primeros años con estrategias de estrés ligero e ir pasando a programaciones con estrategias más severas al avanzar a edad de la plantación.

Un aspecto que han mencionado algunos autores es el efecto que tiene la carga del olivo sobre las necesidades hídricas y sobre el estado hídrico del mismo. En concreto, Moriana *et al.*, (2011) al establecer programaciones de riego en la var. 'Manzanillo' en intensivo basadas en niveles mínimos de potencial hídrico de tallos recomendaban modificar estos valores umbral en función de si el año era ON u OFF y de la misma forma Martín-Vertedor *et al.* (2011 a y b) con la variedad 'Morisca' en el mismo sistema intensivo. En este trabajo, aunque a lo largo de los 11 años ha habido diferencias interanuales notables en el nivel de carga de los árboles, los años con menos carga en el Control la producción ha sido superior a 7.000 kg/ha suficiente como para no dar lugar al efecto descrito, de forma que hubo años como 2016 y 2018 en que con cargas bajas se llegaron a los niveles preestablecidos y en años de cargas altas (2017 y 2018) se consiguió mantener el mismo criterio de los niveles de referencia. Esta atenuación de la

vecería es una característica de estos sistemas, por las características de las variedades y sistema de control de la vegetación, pero a la que puede contribuir una correcta gestión del riego que facilite el control del vigor sin intervenciones agresivas de poda.

Una característica que hace este estudio singular es el mantenimiento de unas mismas estrategias a lo largo de un periodo de 11 años y poder valorar el efecto a corto, medio y largo plazo de las mismas. El Control y RDC-1 han producido la misma cantidad de aceite y aunque el RDC-2 en la etapa de adulto 2 iguala las producciones con estos tratamientos, en el cómputo acumulado de kilos de aceite obtenido se queda por debajo. Fijando el análisis solo en producción de aceite, las estrategias RDC-2 y RDC-3 hicieron perder aceite, pero fueron más eficientes en el uso del agua. A medida que se desarrolla en seto, la EP varía y el Control es decreciente al aumentar la vida útil de olivar, mientras que los tratamientos más estresados esta se mantiene a lo largo del tiempo e incluso aumenta.

En el capítulo anterior se calcularon unos coeficientes para cada fase y etapa de desarrollo del cultivo que multiplicados por la ETc facilitarían la adopción de las estrategias de riego objeto de este trabajo. A la vista de los resultados productivos presentados en este capítulo, se proponen nuevas opciones, en las que según los intereses del propietario se podrían combinar estrategias diferentes al avanzar la edad del olivar. Con los resultados obtenidos se puede proponer una guía para la programación del riego de olivares en seto en la que se adapta la estrategia de riego a la edad del olivar, planteando “a priori” los objetivos productivos:

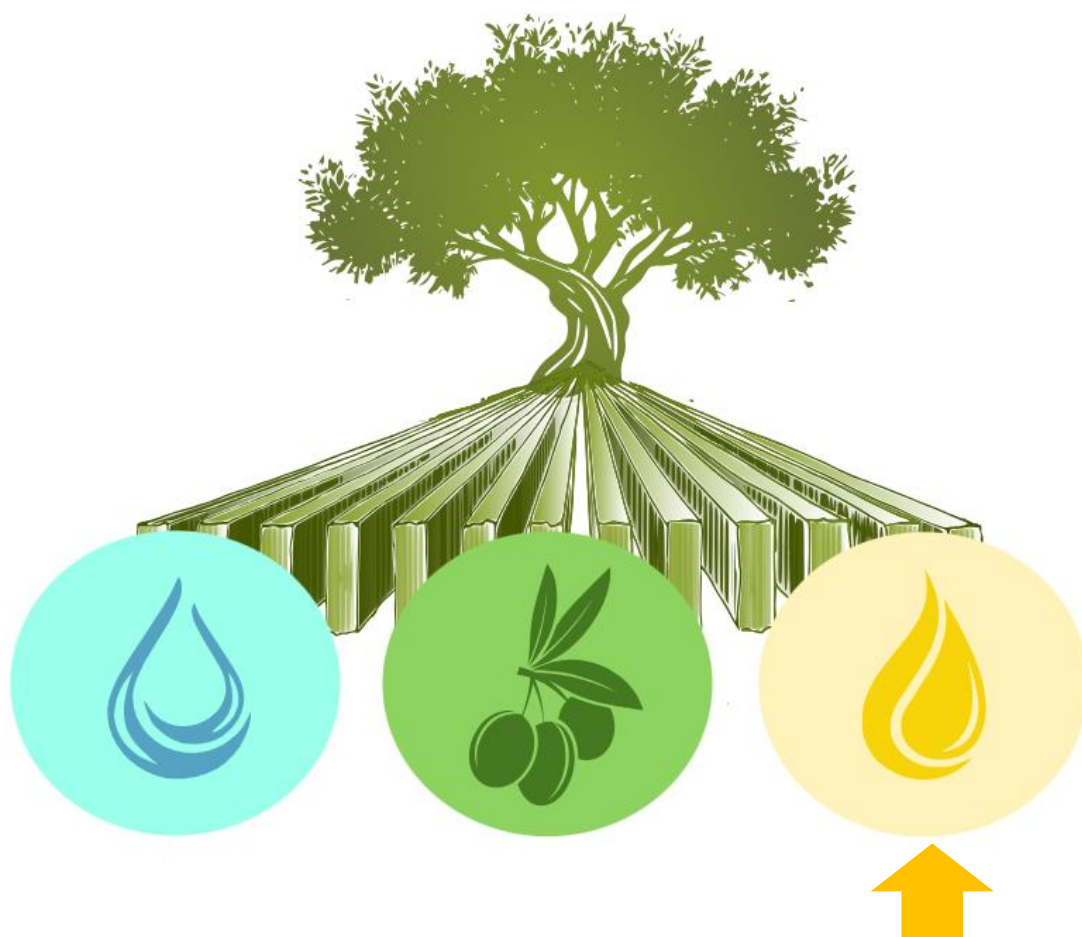
- Para maximizar la producción de aceite con cierto ahorro de agua habría que ir a estrategias ligeras (RDC-1) en las etapas joven y adulto 1 y pasar a moderadas en un seto adulto 2. Este planteamiento presenta 2 ventajas frente al control: ahorro de agua y prolongar la vida productiva del seto.
- Si el objetivo es un modelo de olivar que, entre rápido en producción, de bajo mantenimiento y menores costes de cultivo se propondrían estrategias de RDC-1 en fase joven, RDC-2 en etapa adulto 1 y RDC-3 en adulto 2. La producción obtenida sería menor, pero costaría menos producirla y también hay que tener en cuenta que llevaríamos aceitunas con menos agua a la almazara y por tanto más manejables en la industria.

- Por último, ante situaciones de falta de agua por sequía o cuando las concesiones hidrográficas nos limitan la dosis de agua aplicar se podría diseñar estrategias de RDC-2 en las dos primeras etapas y RDC-3 en la última.

Este trabajo nos proporciona información para hacer valoraciones del coste de oportunidad del agua: ¿Es más rentable aumentar la superficie y regar con menos agua o buscar máximas producciones en menor superficie?

CAPÍTULO 5:

EFFECTOS DE LA ESTRATEGIA DE RIEGO EN LA CALIDAD DEL ACEITE DE OLIVA DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA PARA DIFERENTES DESARROLLOS DEL CULTIVO.



CAPÍTULO 5: EFECTOS DE LA ESTRATEGIA DE RIEGO EN LA CALIDAD DEL ACEITE DE UN OLIVAR EN SETO CV. ARBEQUINA EN DIFERENTES DESARROLLOS DEL CULTIVO

5.1. RESULTADOS

5.1.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE CLASIFICACIÓN

En la tabla 5.1 se muestran los valores de acidez, índice de peróxidos y la absorbancia en el ultravioleta (K_{232} , K_{270}) obtenidos en los diferentes tratamientos de riego y clasificados por años. Las estrategias de riego no han tenido ninguna influencia sobre el grado de acidez de los aceites que se han obtenido en ninguna de los años de estudio ya que los frutos fueron recogidos con el mismo estado de maduración y en un buen estado sanitario. Cabe destacar que el año 2013 la acidez fue mayor en comparación con el resto de los años de estudio debido a que la aceituna se heló en el campo y por tanto el fruto estaba dañado. (marcado en gris de la tabla 5.1).

En el índice de peróxidos no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los años estudiados salvo en 2010 y 2014 que fueron todos similares. Hubo años en los que este índice fue mayor a medida que la dosis de riego decreció (2013 y 2015), otros que fue justo lo contrario (2009 y 2012) y un año 2011 donde los tratamientos RDC-1 y 2 presentaron mayores valores, seguido de Control y RDC-3. A pesar de estas diferencias no se observó una tendencia relacionada con el volumen de agua aplicada y en ningún caso afectó a la categoría del aceite obtenido.

En el índice K_{270} , (oxidación primaria del aceite) no se ha encontrado una relación significativa entre la cantidad de agua aplicada al seto en 5 de los 7 años de ensayo. Solo los años 2009 y 2012 los tratamientos más regados presentaron un valor menor que a medida que se restringía el riego. En el caso del K_{232} (oxidación secundaria) en los tres últimos años estudiados tampoco se encontraron diferencias entre los tratamientos de riego, pero hubo dos años (2009 y 2012) que una menor dosis de riego hizo aumentar este coeficiente y otros dos años (2010 y 2011) que sucedió justo lo contrario.

Tabla 5.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad para clasificación del aceite de olivar en olivar en seto variedad 'Arbequina' para diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden- CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey.

	AÑO	TRATAMIENTO	Acidez		Índice de Peróxidos		K ₂₃₂		K ₂₇₀	
			% de ac. oleico		meq O ₂ activo kg ⁻¹					
ETAPA JOVEN	2009	CONTROL	0,16	a	4,94	a	1,53	a	0,10	b
		RDC-1	0,13	a	3,20	b	1,45	b	0,10	b
		RDC-2	0,15	a	2,92	c	1,39	c	0,18	a
		RDC-3	0,13	a	2,86	c	1,40	c	0,22	a
	2010	CONTROL	0,10	a	2,28	a	1,14	c	0,11	a
		RDC-1	0,11	a	2,27	a	1,20	b	0,12	a
		RDC-2	0,10	a	2,35	a	1,43	a	0,12	a
		RDC-3	0,09	a	2,22	a	1,42	a	0,13	a
	2011	CONTROL	0,13	a	2,72	b	1,24	c	0,10	a
		RDC-1	0,11	a	3,28	a	1,31	bc	0,09	a
		RDC-2	0,11	a	3,35	a	1,32	b	0,09	a
		RDC-3	0,10	a	2,06	c	1,45	a	0,09	a
	Media	CONTROL	0,13	a	3,31	a	1,30	a	0,10	a
		RDC-1	0,12	a	2,91	b	1,32	a	0,10	a
		RDC-2	0,12	a	2,87	b	1,38	a	0,13	a
		RDC-3	0,11	a	2,38	c	1,43	a	0,15	a
ETAPA ADULTA 1	2012	CONTROL	0,09	a	11,29	a	2,20	a	0,07	b
		RDC-1	0,09	a	9,81	b	2,17	b	0,09	ab
		RDC-2	0,13	b	9,73	b	1,91	c	0,10	a
		RDC-3	0,13	b	7,05	c	1,87	c	0,10	a
	2013	CONTROL	0,24	a	3,57	c	1,36	a	0,10	a
		RDC-1	0,22	a	3,50	c	1,32	a	0,09	a
		RDC-2	0,20	a	4,42	b	1,39	a	0,10	a
		RDC-3	0,23	a	5,66	a	1,43	a	0,09	a
	2014	CONTROL	0,09	a	6,41	a	1,84	a	0,07	a
		RDC-1	0,12	a	6,14	a	1,80	a	0,08	a
		RDC-2	0,11	a	5,93	a	1,79	a	0,09	a
		RDC-3	0,11	a	6,17	a	1,89	a	0,09	a
	2015	CONTROL	0,10	a	2,66	c	1,43	a	0,09	a
		RDC-1	0,08	a	2,86	bc	1,56	a	0,07	a
		RDC-2	0,08	a	3,01	b	1,46	a	0,09	a
		RDC-3	0,09	a	3,22	a	1,55	a	0,08	a
Media	CONTROL	0,09	a	6,78	a	1,82	a	0,08	a	
	RDC-1	0,10	a	6,27	b	1,84	a	0,08	a	
	RDC-2	0,11	a	6,22	b	1,72	a	0,09	a	
	RDC-3	0,11	a	5,48	c	1,77	a	0,09	a	
Aceite de oliva virgen extra			<0,8		<20		<2,5		<0,22	
cosecha helada										

Analizando por etapas del cultivo en valores promedios, solo se encontraron diferencias en los índices de peróxidos, con valores mayores a más cantidad de riego en tanto para olivar en seto joven como adulto 1. En las medias del seto adulto 1 se han eliminado los valores del año 2013 ya que la aceituna se heló. Tanto los valores de acidez, índice de peróxidos y absorbancia a 232 y 270 nm de todos los aceites obtenidos en los

distintos tratamientos de riego, son considerablemente inferiores a los valores límite establecidos por la reglamentación de la Comunidad Europea (Reglamento UE nº1348/2013) para aceites de oliva virgen extra con valores de acidez $\leq 0,8$ %, índice de peróxidos ≤ 20 meq O₂ activo kg⁻¹ y valores de las absorbancias (K₂₃₂ y K₂₇₀) $\leq 2,50$ y $0,22$ respectivamente. Por lo tanto, las estrategias de riego aplicadas no afectaron en ninguno de los parámetros fisicoquímicos de cara a variar la categoría comercial obtenida que fue de aceite virgen extra en todos los tratamientos.

5.1.2. COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS

Cuando un olivar en seto es joven (tabla 5.2 a) el contenido de ácido linoleico (poliinsaturados), considerado un ácido graso esencial, disminuye a medida que se aplicaron estrategias de RDC más severas presentando el valor más alto el Control frente al resto de riegos deficitarios. Los ácidos grasos saturados (valorando el mayoritario que es el ácido palmítico), que son las grasas menos deseables, disminuyeron igualmente a medida que la estrategia era más deficitaria. Por el contrario, el contenido de ácido oleico (monoinsaturado), considerado como ácido graso bueno, aumentó en los tratamientos de mayor déficit. Analizando el promedio en esta etapa de seto joven, un riego deficitario moderado y severo favorece un perfil de ácidos grasos más saludable al aumentar la proporción de monoinsaturados que es medio-baja en esta variedad, baja los ácidos grasos malos y disminuye los esenciales que están presentes en altas concentraciones en 'Arbequina'. Si aplicamos estrategias ligeras el aceite no cambia con respecto al Control.

En la etapa de seto adulto 1 (tabla 5.3 b) en el ácido linoleico ha habido 3 años que este parámetro disminuye a medida que aumentamos el estrés hacia estrategias severas como sucedía en un seto joven, aunque ha habido un año (2012) que la tendencia era inversa. En el caso del ácido saturado palmítico, la tendencia es justo la contraria a la encontrada en el seto joven y un déficit hídrico aumentó este parámetro en 3 de los años y fue similar en 2014. En el caso del ácido oleico la tendencia no estuvo tan clara y hubo años que el riego favoreció su acumulación, pero otros que con déficit encontramos mejores valores. En los valores medios de la etapa no se encontraron diferencias en ninguno de los ácidos entre los riegos y si lo comparamos con la etapa

joven, se observa que los valores de oleico son mayores al ser el seto adulto y el palmítico y linoleico son ligeramente menores independientemente de la dosis de riego.

Tabla 5.2. Composición de ácidos grasos y sus relaciones de aceite de olivar en olivar en seto variedad 'Arbequina' para diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden- CICYTEX (2009-2011). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) según el test de Tukey

AÑO	Tratamientos riego	ACIDOS GRASOS						RELACIONES				
		% ac. palmítico (saturados)		% ac. oleico (monoinsaturados)		% ac. linoléico (poliinsaturados)		MUFA/PUFA (%)		UFA/SFA (%)		
(A) ETAPA JOVEN	2009	CONTROL	19,5	a	59,1	c	16,3	a	3,6	b	3,9	b
		RDC-1	19,2	a	59,8	c	16,1	a	3,7	b	4,0	ab
		RDC-2	18,0	ab	62,2	b	15,2	ab	4,1	ab	4,3	a
		RDC-3	17,5	b	64,1	a	14,1	b	4,6	a	4,5	a
	2010	CONTROL	17,2	a	65,1	b	13,0	a	5,0	b	4,5	b
		RDC-1	16,9	ab	67,2	a	11,9	b	5,6	a	4,7	ab
		RDC-2	16,5	ab	66,8	a	12,3	b	5,4	a	4,8	ab
		RDC-3	16,1	b	67,4	a	12,3	b	5,5	a	5,0	a
	2011	CONTROL	18,7	a	59,3	b	16,6	a	3,6	b	4,1	b
		RDC-1	18,1	ab	61,2	b	15,4	ab	4,0	ab	4,2	ab
		RDC-2	17,7	b	62,0	ab	15,2	ab	4,1	ab	4,4	a
		RDC-3	17,7	b	62,9	a	14,2	b	4,4	a	4,4	a
	Media	CONTROL	18,5	a	61,2	c	15,3	a	4,0	b	4,1	b
		RDC-1	18,1	ab	62,7	bc	14,5	ab	4,3	ab	4,3	ab
		RDC-2	17,4	b	63,7	ab	14,2	bc	4,5	ab	4,5	a
		RDC-3	17,1	b	64,8	a	13,5	c	4,8	a	4,6	a
(B) ETAPA ADULTA 1	2012	CONTROL	15,7	b	67,0	a	12,7	c	5,3	a	5,1	a
		RDC-1	16,3	b	65,7	b	13,3	bc	5,0	a	4,8	a
		RDC-2	17,4	a	62,6	c	15,0	a	4,2	b	4,5	b
		RDC-3	17,1	a	63,9	c	14,0	ab	4,6	ab	4,6	ab
	2013	CONTROL	15,0	b	69,9	a	10,7	ab	6,5	ab	5,4	a
		RDC-1	16,0	ab	68,3	b	11,2	a	6,1	b	5,0	ab
		RDC-2	15,6	ab	69,0	ab	11,1	a	6,2	b	5,1	ab
		RDC-3	16,8	a	68,7	ab	10,2	b	6,7	a	4,7	b
	2014	CONTROL	16,9	a	61,1	b	16,0	a	3,8	b	4,6	a
		RDC-1	16,3	a	63,7	a	14,4	b	4,4	a	4,8	a
		RDC-2	16,8	a	62,8	ab	14,7	b	4,3	a	4,6	a
		RDC-3	16,7	a	63,5	a	14,2	b	4,5	a	4,7	a
	2015	CONTROL	15,0	b	68,1	ab	11,5	a	5,9	a	5,3	a
		RDC-1	15,3	ab	68,1	ab	11,3	ab	6,0	a	5,2	a
		RDC-2	15,7	a	67,5	b	11,5	a	5,9	a	5,0	a
		RDC-3	15,4	ab	68,4	a	10,9	b	6,3	a	5,1	a
Media	CONTROL	15,7	a	66,5	a	12,7	a	5,2	a	5,1	a	
	RDC-1	16,0	a	66,4	a	12,5	a	5,3	a	4,9	a	
	RDC-2	16,4	a	65,5	a	13,1	a	5,0	a	4,8	a	
	RDC-3	16,5	a	66,1	a	12,4	a	5,3	a	4,8	a	

* MUFA= ac. grasos monoinsaturados / PUFA= ac. grasos poliinsaturados / UFA= ac. grasos insaturados / SFA=ac. grasos saturados

Con respecto a la relación insaturados/saturados (UFA/SFA) entre los ácidos (Tabla 5.2) un bajo valor representa un aceite menos fluido y puede afectar a las características organolépticas. En este trabajo, en un seto joven se modificó dicha relación tanto anualmente como el promedio de la etapa y el Control presentó un valor menor. Además, el valor medio obtenido para este parámetro en todos los riegos etapa joven es mejor a valor de referencia publicado para esta variedad de 5,24 (Tous y Romero, 2005). En el caso de un seto adulto 1, los dos primeros años de ensayo el aceite del tratamiento Control presentó una mayor relación que cuando se aplicaron déficits más severos y el resto de los años fue similar. En la media para esta etapa no se encontraron diferencias y el valor de la relación aumentó con respecto a fase joven a valores muy parecidos a los referenciados anteriormente.

La relación monoinsaturados/poliinsaturados (MUFA/PUFA) presentó igualmente diferencias entre tratamientos en etapa joven (Tabla 5.2), aumentando la relación a medida que se restringía la dosis de riego. En un seto adulto 1, el comportamiento fue muy similar al encontrado en la anterior relación con algunos años con diferencias, pero en el valor promedio por etapa de cultivo fueron similares. El valor encontrado para esta relación es también menor a lo referenciado para este cultivar de 5,53 en el Banco de Germoplasma de Cataluña (Tous y Romero, 2005) en la primera etapa u similar en la segunda.

5.1.3. FENOLES TOTALES

En la figura 5.1 se observa que el contenido en fenoles se incrementó al reducir el aporte de agua de riego de forma progresiva en los 7 años de estudio. Incluso riegos deficitarios ligeros (RDC-1) mostraron diferencias en la mayoría de los años de ensayo (2010, 2011, 2014 y 2015). En cuanto a los RDC-2 y 3 en los años 2009, 2011 y 2012 presentaron diferencias entre ellos siendo más alto el más severo pero el resto de los años fueron similares. Se observa además una tendencia natural de los árboles a presentar más contenidos de fenoles en la etapa inicial joven y que a medida que se hacen adultos decae presentando aceites con menos cantidad de fenoles.

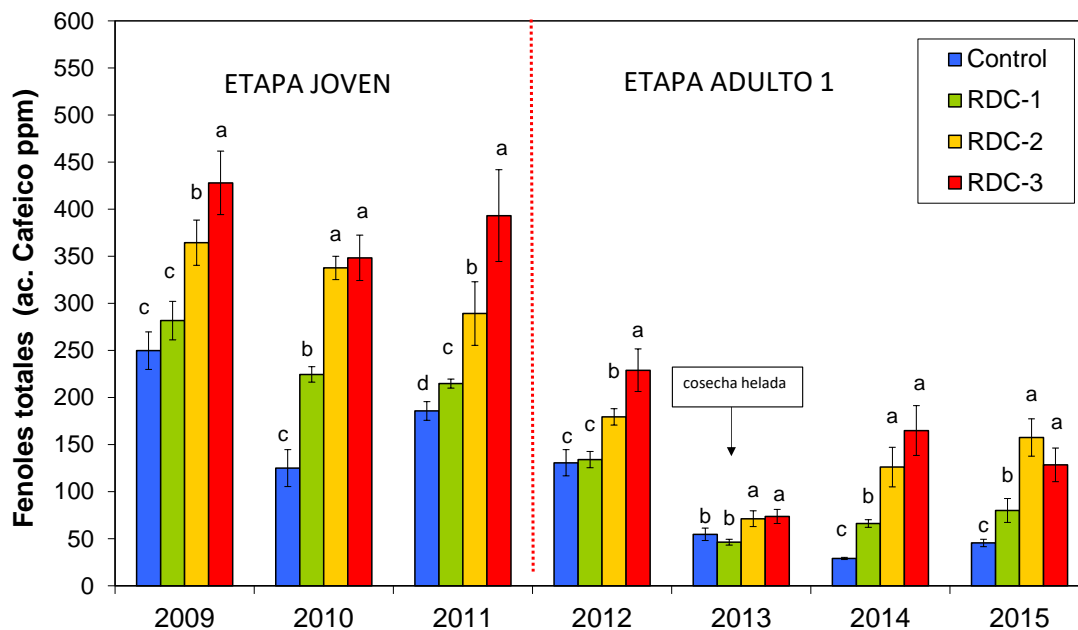


Figura 5.1. Evolución del contenido total de fenoles en olivar en seto variedad 'Arbequina' con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey.

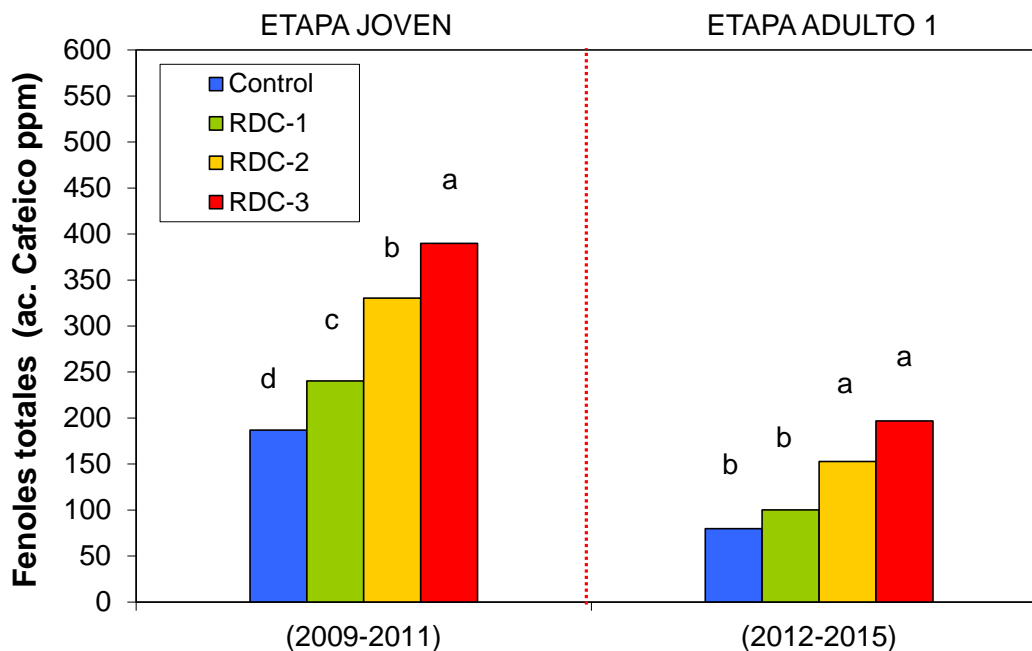


Figura 5.2. Media del contenido total de fenoles en olivar en seto variedad 'Arbequina' con diferentes riegos y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con el test de Tukey. * (excluido año 2013).

Cuando analizamos este parámetro por medias para cada etapa del cultivo (figura 5.2), queda reflejado de manera clara la bajada del nivel de cantidad de fenoles cuando el olivar en seto se hace adulto con un 57, 58, 54 u 49% menos para Control, RDC-1, 2 y 3 respectivamente. Se encontraron diferencias significativas entre los diferentes riegos aplicados con aumento de fenoles a más estrés hídrico en etapa joven, mientras que en la adulta 1 hay q aplicar estrategias severas y moderadas (sin diferencias entre ellas) para mejorar la cantidad de este antioxidante. En esta última etapa fue eliminado el año 2013 del valor medio al helarse la aceituna.

5.1.4. PIGMENTOS CLOROFÍLICOS Y CAROTENOIDES

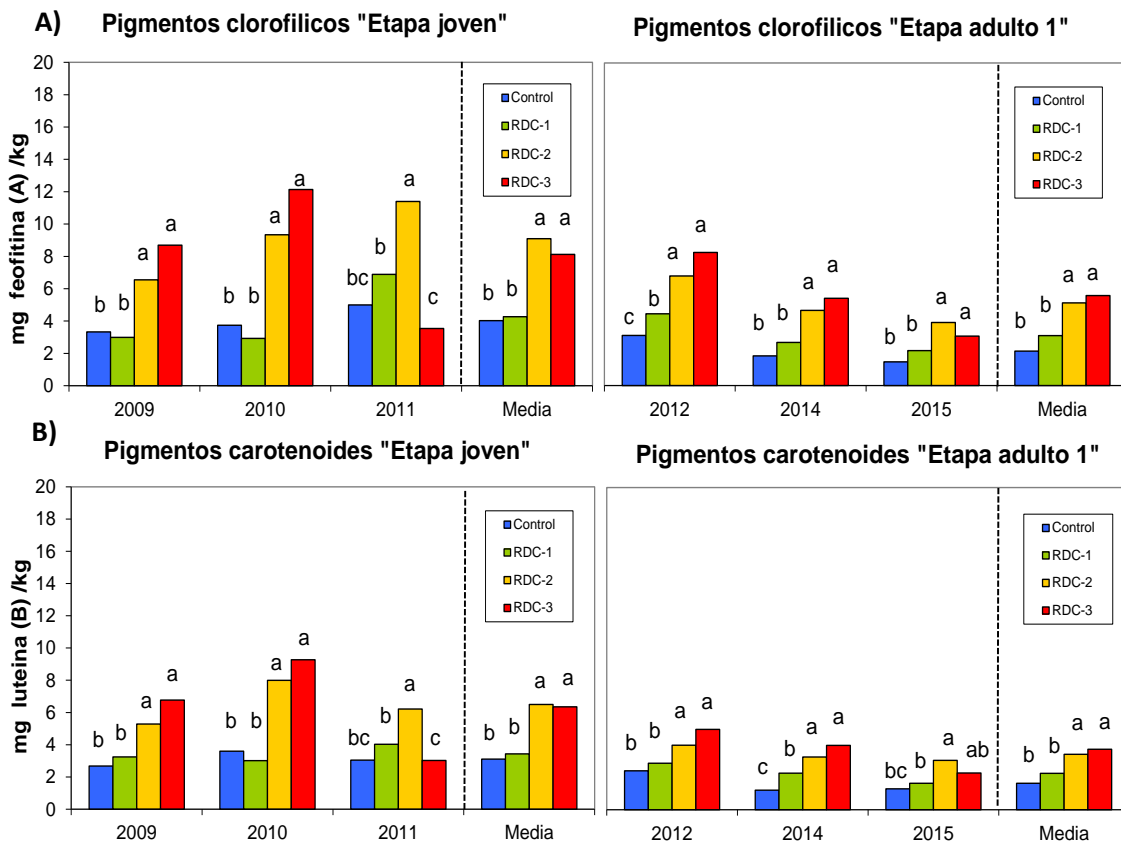


Figura 5.3. Pigmentos clorofílicos (a) y carotenos (b) en olivar en seto variedad 'Arbequina' con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según test de Tukey.

En los resultados obtenidos en los aceites de este ensayo para un olivar en seto joven se ha encontrado que los tratamientos con más cantidad de agua aplicada muestran menor concentración de clorofilas y carotenos (figura 5.3 a y b) y que estos

pigmentos aumentan con la reducción en el aporte de riego al cultivo sobre todo en tratamientos de déficit moderados a severos (RDC-2 y 3). Sin embargo, en el año 2011 en el tratamiento más estresado se produjo el efecto contrario en ambos pigmentos presentando valores similares al Control. Como media en esta etapa, solo se consigue mejorar el aceite cuando aplicamos déficit moderados y severos. Un déficit ligero no hizo cambiar la proporción de este parámetro con respecto a Control. En estado adulto 1 los resultados son similares a los encontrados en la etapa anterior, pero con niveles más bajo al igual que ocurría para los fenoles. En ese caso las bajadas en estos antioxidantes fueron del 46, 27, 39 y 31% respectivamente desde menos a más estrés hídrico.

5.1.5. ESTABILIDAD OXIDATIVA

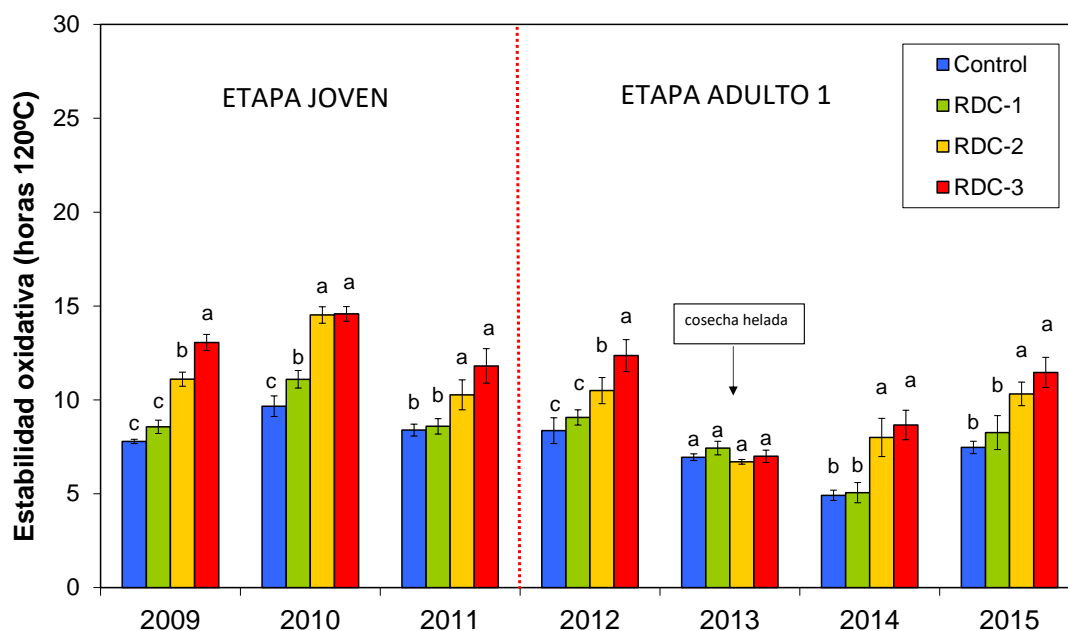


Figura 5.4. Evolución de la estabilidad oxidativa en horas Rancimat en olivar en seto variedad 'Arbequina' con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) con el test de Tukey.

Al aumentar la cantidad de fenoles con la restricción del agua de riego, la estabilidad oxidativa se vio afectada igualmente al estar ambas relacionadas (figura 5.4) por lo que los resultados son similares. En este trabajo, no hubo diferencias en la mayoría de los años analizados entre Control y RDC-1 con los menores valores de estabilidad

oxidativa, mientras que los tratamientos más deficitarios vieron aumentado este parámetro y sin diferencias entre ellos salvo para el 2009 y 2012 donde el déficit más severo logró obtener aceites más estables.

Cuando analizamos por etapas de desarrollo (figura 5.5) si se observa un comportamiento algo distinto al encontrado para fenoles. En primer lugar, no hay tanta diferencia entre un seto joven a un seto adulto por lo que habrá más antioxidantes que intervienen en el proceso de conservación del aceite. Además, en un seto joven, solo encontramos aceites más estables cuando aplicamos estrategias de riego severas y moderadas mientras que en fenoles influía incluso una estrategia de riego ligera. En el caso de un seto adulto, el resultado si es más similar, aunque la menor estabilidad oxidativa es más gradual aumentando a medida que la estrategia deficitaria es mayor.

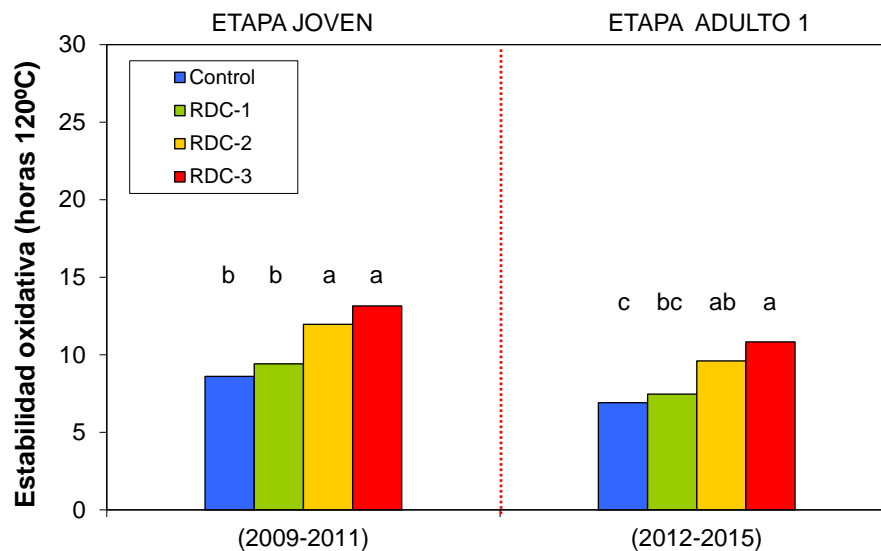


Figura 5.5. Media de la estabilidad oxidativa en horas Rancimat en olivar en seto variedad 'Arbequina' con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4) y letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) con el test de Tukey. * (excluido año 2013).

Cuando relacionamos la estabilidad oxidativa con los pigmentos fotosintéticos y fenoles totales encontramos buenas relaciones por lo que influyen directamente sobre el enranciamiento del aceite (figura 5.6). En este trabajo se obtuvo correlación cuando se separaron y compararon los tratamientos en cada campaña agrícola por lo que la influencia del clima en estos parámetros.

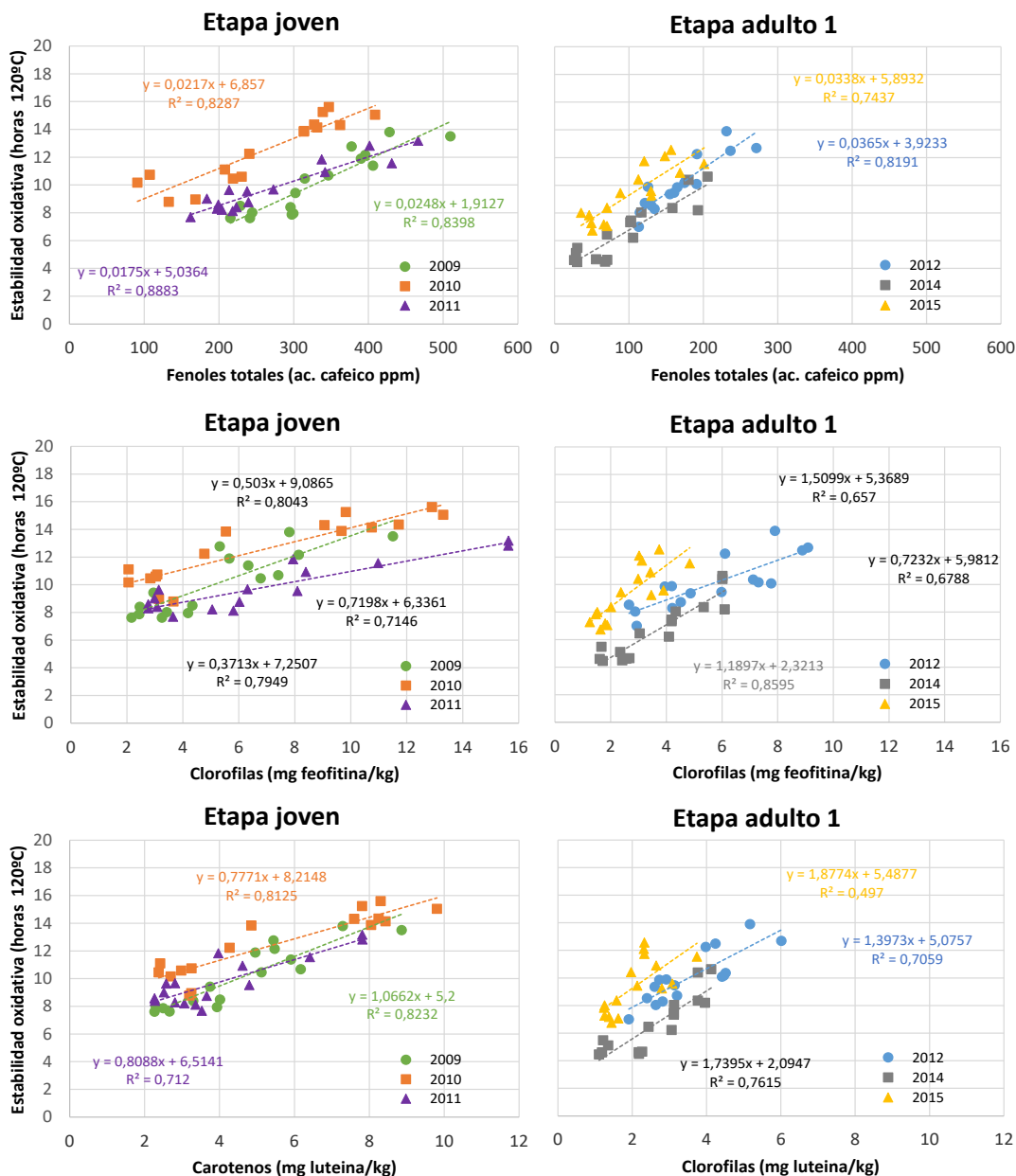


Figura 5.6. Relación entre fenoles totales (a), clorofilas (b) y carotenos (c) sobre estabilidad oxidativa de aceites de olivar en seto variedad ‘Arbequina’, para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CYCITEX, años 2009-2015. Cada punto es el valor por parcela elemental (n=16 por año) y las líneas es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos por año.

5.1.6. EVALUACIÓN SENSORIAL

Los resultados de este trabajo muestran que no se encontró ningún defecto negativo en ninguno de los aceites valorados que, junto con los análisis fisicoquímicos realizados, resultaron estar todos los aceites dentro de la categoría de aceite de Oliva Virgen Extra (AOVE), salvo para el año 2013 que su aceite se heló. Por tanto, cuando la

aceituna se recoge, manipula, procesa y se conserva el aceite de forma correcta, la dosis de riego aplicada no influye sobre la categoría de aceite que estamos obteniendo, es decir, AOVE. Donde influye el riego es en las intensidades de los aromas y sabor de los aceites.

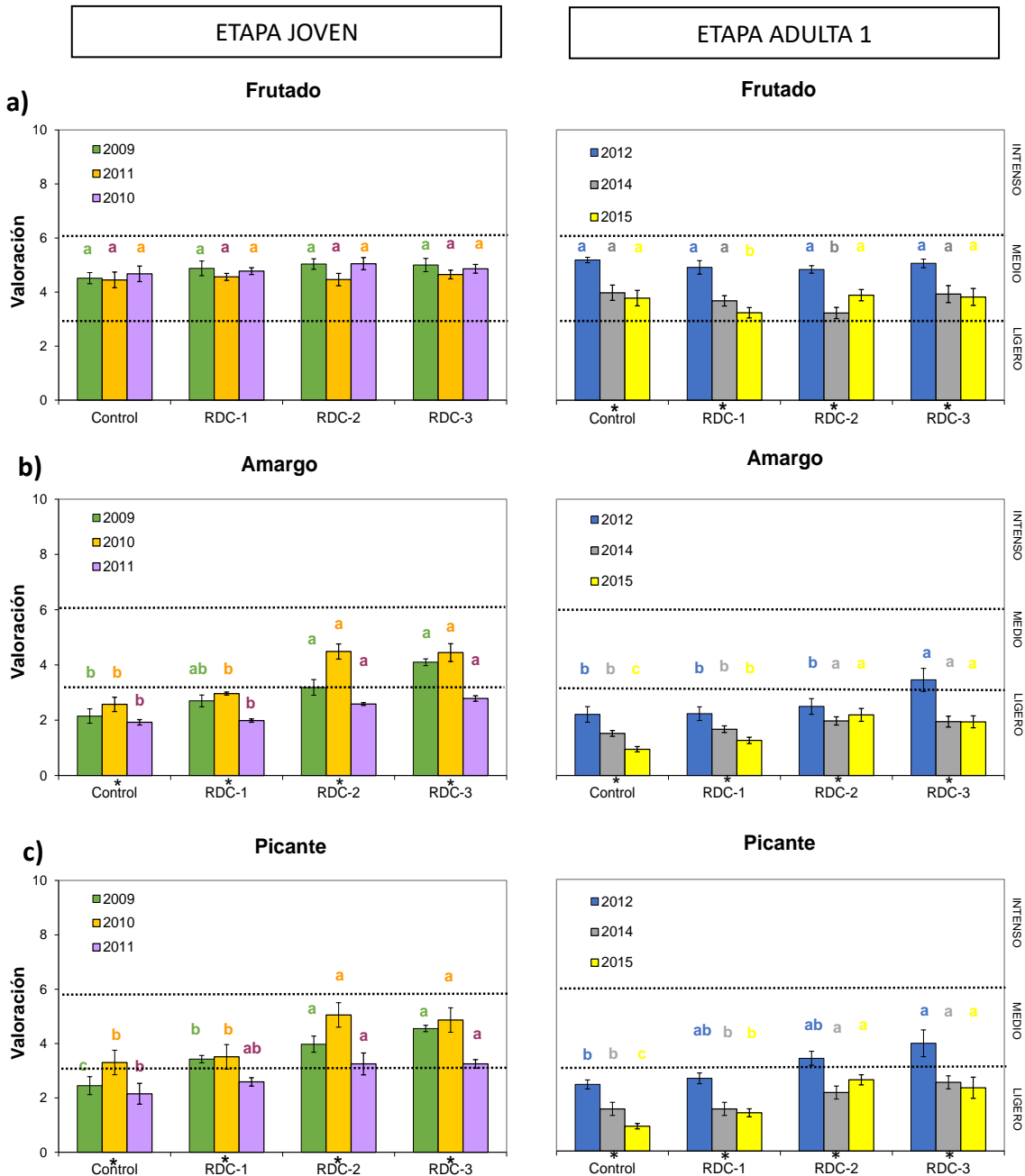


Figura 5.7. Evaluación del panel test de cata para los atributos positivo (a) frutado (b), amargo (c) y picante en los aceites del olivar en seto variedad ‘Arbequina’ con diferentes tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CICYTEX (2009-2015). Cada dato es el promedio de las repeticiones por tratamiento (n=4), las barras representan el error estándar de la media, letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos y asteriscos (*) entre los años (P<0,05) con el test de Tukey.

En la figura 5.7a se presenta la valoración del frutado del aceite para un seto joven (2009-2011) y muestra que este atributo no se vio afectado por la dosis de riego aplicada y mantuvo la misma valoración en todos los tratamientos y años de estudio. Para la variedad 'Arbequina' y según el reglamento (CE) nº 640/2008 se puede describir opcionalmente los aceites en el etiquetado comercial atendiendo a la escala de la valoración asignada. En nuestro caso y para todos los años y tratamientos estudiados, el frutado de 'Arbequina' presentó una intensidad media. En el caso de un olivar en seto adulto 1, el frutado difirió en algunos de los tratamientos como en 2014 en el RDC-2 o en 2015 en el RDC-1 que presentaron valores ligeramente menores con respecto al resto de tratamientos. Además, los aceites obtenidos en esta etapa recibieron valoraciones más bajas que para un seto joven independientemente de la dosis de agua aplicada. Estos resultados parecen indicar que este atributo no se ve influenciado con la aplicación de diferentes dosis de agua.

Con respecto a los resultados obtenidos para los atributos amargo y picante en un seto joven (figura 5.7c y 5.7c), el comportamiento de los tratamientos fue muy similar en todos los años incrementándose a medida que la dosis de riego era menor. Sin embargo, hubo diferencias entre los años siendo el año 2011 el que peor puntuación recibió con respecto a los otros años analizados por lo que sugiere que existe un efecto campaña agrícola. Si consideramos el etiquetado comercial, los tratamientos RDC-2 y 3 hicieron cambiar la intensidad en el atributo amargo en los dos primeros años pasando el aceite de ligero a medio y por tanto mejoraron las características. En el caso del atributo picante, solo paso de ligero a medio en 2009 a partir de que se aplicaban estrategias de déficit ligero y en 2012 fue necesario severas o moderadas. Cuando el olivar en seto se hace adulto y al igual que sucedía por el atributo frutado, la puntuación de estos parámetros es más baja, encontrándonos que los aceites son menos frutados, amargos y picantes que cuando es joven independientemente de riego aplicado. Además, cuando se le reduce la dosis de riego mejorarían su puntuación, aunque en mucha menor medida. En el caso del amargo, solo en el año 2012 y aplicando un riego RDC-3 se consiguió cambiar de intensidad. Para el atributo picante y en ese mismo año se alcanzaron niveles medios a partir de que se aplicaron riegos deficitarios ligeros. En cuanto si el aceite es equilibrado o dulce, los resultados de este trabajo muestran que la

variedad 'Arbequina' obtiene un aceite equilibrado y que no se considera dulce. Además, las estrategias de riego aplicadas no hicieron cambiar estas características comerciales.

5.1.7. RELACIÓN ENTRE EL ESTADO HÍDRICO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES

Si comparamos el estado hídrico de los olivos considerando la integral de estrés generada en todo el ciclo con el contenido en fenoles totales en cada etapa del cultivo (Figura 5.8a) encontramos una alta relación en un seto joven y bastante menor cuando es adulta 1 ya que el rango de fenoles es bastante más bajo en esta última al igual que las diferencias entre los tratamientos. Además, no solo el riego influye sobre la acumulación de este compuesto, sino que el tamaño de la copa también juega un papel importante (figura 5.8b) y hace que en etapas tempranas los aceites contengan más fenoles debido a una mejor iluminación del seto. Las correlaciones en este caso son bastante menores e incluso en fase adulta bastante baja y no significativa (ya que independientemente del riego los árboles todos los tratamientos tienen ya un tamaño de seto alto) si lo comparamos con la influencia del riego.

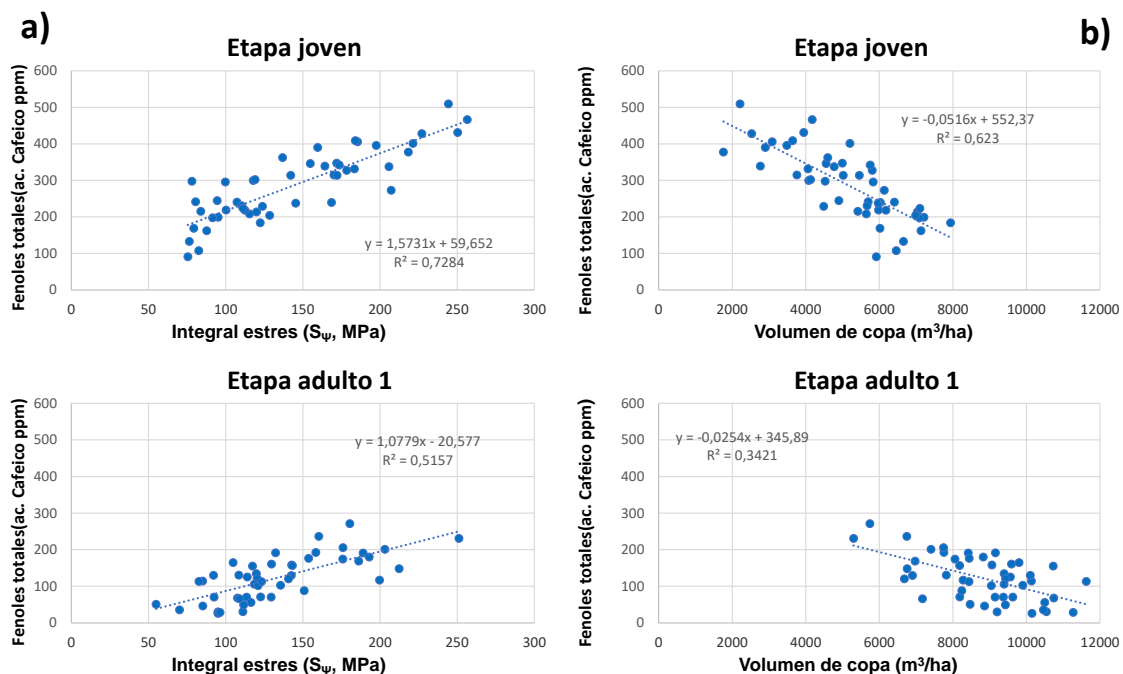


Figura 5.8. Relación entre integral de estrés hídrico total (a) y volumen de la cubierta (b) con los fenoles totales en aceites de olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CYCITEX (2009-2015). Cada punto es el valor por parcela elemental (n=16 por año) y la línea es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos completo.

Cuando correlacionamos los dos parámetros de cata (amargo y picante) donde hemos obtenidos diferencias con los tratamientos de riego (figura 5.9), encontramos que el coeficiente de determinación ajustado para variable integral de estrés hídrico logra explicar la variabilidad del índice de amargor y del atributo picante tanto en un olivar en seto joven como adulto 1. Sin embargo, las correlaciones solo existen si se hacen anualmente por lo que el efecto año es importante y determina el nivel alcanzado de valoración de estos atributos.

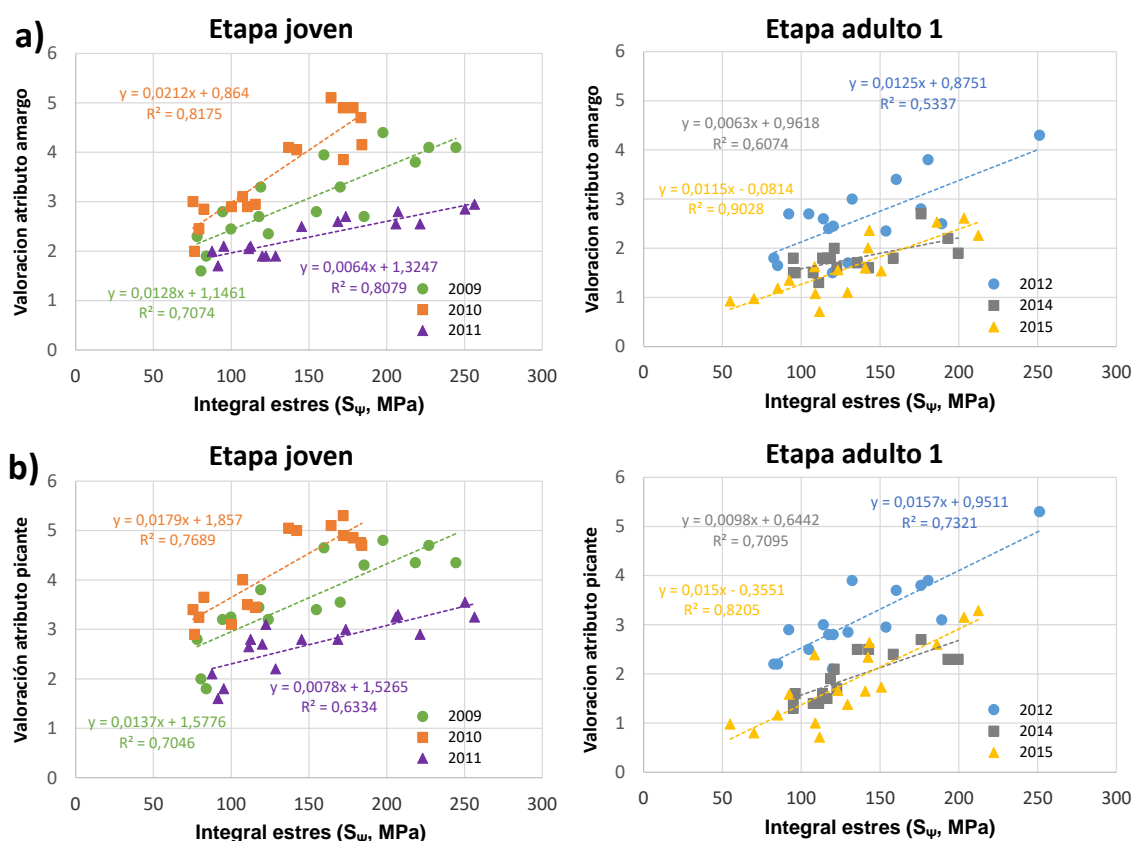


Figura 5.9. Relación entre la Integral de estrés hídrico (S_{ψ}) y la puntuación del atributo amargo (a) y picante (b) en aceites de olivar en seto variedad 'Arbequina', para distintos tratamientos de riego y etapas de desarrollo. Finca La Orden-CYCITEX, años 2009-2015. Cada punto es el valor por parcela elemental ($n=16$ por año) y la línea es el ajuste de regresión lineal para cada conjunto de datos completo.

5.2. DISCUSIÓN

Desde la aparición de los olivares superintensivos se ha puesto en tela de juicio la calidad del aceite obtenido en estos sistemas de alta intensificación con mayor uso de inputs que en sistemas menos intensivos o tradicionales. Este trabajo de tesis doctoral no tiene entre sus objetivos comparar las características de los aceites producidos con los diversos sistemas productivos del olivar, pero sí el de evaluar la evolución de estas a lo largo de su vida productiva, en la entrada en producción y ya en plena producción y analizar el impacto de la estrategia de riego. En un primer paso se ha utilizado como referencia los criterios de clasificación establecidos para el aceite de oliva. De acuerdo con estos criterios, todos los aceites producidos se sitúan dentro de los estándares más elevados de virgen extra. Sin embargo, hemos querido profundizar en otros aspectos que sin estar incluidos en estas normas pueden marcar diferencias en la calidad del aceite, por afectar a la capacidad de conservación, calidad nutricional o propiedades organolépticas.

5.2.1. EFECTOS DEL RIEGO EN PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos son los que según normativa permiten clasificar los aceites y por tanto los primeros que se deben tener en consideración. El grado de acidez nos indica si el fruto presenta alguna alteración o ha sufrido alguna fermentación antes de molturar la aceituna. No se encontraron diferencias entre tratamientos, ya que la recolección se hizo con un índice de madurez considerado adecuado y la sistemática seguida en la recolección y procesado de la aceituna han sido cuidadosas. En el conjunto de los años de estudio la acidez medida como porcentaje de ácido oleico se mantuvo por debajo del 0,15 % salvo en 2013 que debido a la helada se elevó hasta 0,24% (Control) y ni siquiera en este caso se sobrepasó el límite de 0,8 manteniéndose dentro de la clasificación de virgen extra. El tratamiento de riego no ha influido en ninguno de los años. Estos mismos resultados fueron obtenidos por Tovar *et al.* (2001a), Patumi *et al.* (2002), Magliulo *et al.* (2003), Gómez-Rico *et al.* (2007) y García *et al.* (2016). Solo Salas *et al.*, (1997) encontraron un valor de acidez superior en aceite de olivos con dosis más altas de riego.

El índice de peróxidos valora la oxidación inicial del aceite, por lo que el aceite recién extraído no suele presentar valores altos, salvo que la aceituna se hiele, procedan del suelo, se recojan de forma tardía (con un índice de madurez alto) o no se haga correctamente la elaboración en almazara y su posterior conservación hasta análisis. Estas circunstancias tan solo se han dado en el año 2013 en que se helaron las aceitunas, pero incluso en este caso no se llegó a valores cercanos al límite de 20 establecido para este parámetro. En este trabajo la estrategia de riego influyó sobre este índice tanto en estado de seto joven como adulto del cultivo presentando valores medios mayores en el más regado y el más deficitario el que menos en ambas etapas de desarrollo. Estos resultados no concuerdan a los obtenidos por Inglesse et al. (1996); Patumi et al. (1999); Tovar et al. (2001a); Gómez-Rico et al. (2007) donde no encontraban diferencias. Independientemente del riego, se observa que cuando los setos son adultos el índice sube al doble de sus valores con respecto a un seto joven indicando que se producen aceites con distintos tipos de oxidación. Aunque en este trabajo se han obtenido diferencias entre los tratamientos, ninguno de los valores alcanzados hizo bajar la categoría de aceite de oliva virgen extra. Para los coeficientes K la mayoría de los años no hubo diferencias entre los riegos y tampoco en la media final por etapas de desarrollo coincidiendo con Gómez-Rico *et al.* (2007), Fernandes-Silva *et al.* (2010) y Caruso *et al.* (2013). Estos resultados se contradicen lo encontrado por Faci *et al.* (2002) donde observaban en sus ensayos un incremento lineal tanto del K_{232} como del K_{270} al aumentar la cantidad de agua de riego aplicada.

Por tanto, ni las estrategias de riego deficitario ni la edad del seto afectaron a los parámetros fisicoquímicos de calidad que determinan la categoría comercial del aceite de oliva virgen hasta el punto de modificar la clasificación que en todos los casos fue de oliva virgen extra.

5.2.2. OTRO PARAMETROS DE INTERÉS INFLUIDOS POR EL RIEGO

Con respecto a la composición de ácidos grasos el contenido de ácido oleico disminuyó al aumentar el volumen de agua de riego en el seto joven mientras que las diferencias no fueron claras en el adulto. Resultados similares obtuvieron Berenguer *et al.* (2006) que encontraron un mayor contenido de ácido oleico en los tratamientos menos regados, aunque esta tendencia solo se presentó en algunos de los años de

estudio y Gómez-Rico *et al.* (2007) y Stefanoudaki *et al.* (2009) observaron que la disminución en oleico al regar iba acompañada de un aumento en palmítico y esteárico. Por el contrario, Faci *et al.* (2002) obtuvieron menor contenido de ácido oleico en árboles de secano con respecto a olivos regados (resultados que sucede en dos años de nuestra serie de datos) y otros autores como Inglese *et al.* (1996), Motilva *et al.* (2000), Patumi *et al.* (2002), D'Adria *et al.* (2009) y Puertas, (2009) no observaron ninguna influencia del estrés hídrico sobre la composición acídica de los aceites, lo que concuerda con la media de ácidos obtenidos en la etapa adulta. Parece notable el efecto de las condiciones climáticas de la campaña sobre esta variable y probablemente mayor que el estado hídrico como afirma Tovar de Dios (2001). El valor medio general de ácido oleico, palmítico y linoleico en la etapa joven es ligeramente inferior al publicado por Tous y Romero (2005) al caracterizar el aceite proveniente del cultivar 'Arbequina' en las condiciones del Banco de Germoplasma de Cataluña (España), mientras que la composición de ácidos fue más parecida a la de estos autores en la edad adulta ya que se produjo un incremento medio. Esto nos indica que los aceites obtenidos en la etapa adulta presentan más cantidad de grasas buenas y menos de las malas. Un valor de referencia para la variedad Arbequina en la relación entre ácidos grasos en aceite de oliva publicado es de 5,24 (Tous y Romero, 2005), que el presente trabajo fue ligeramente inferior en fase joven, aunque aumentando con el estrés hídrico como citan García *et al.* (2016). En el caso de un seto adulto, se alcanzan valores parecidos a los de referencia de esta variedad. Un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, más susceptibles a la oxidación, afectarían a la vida útil del producto y, atendiendo a este aspecto, podrían recomendarse estrategias de riego deficitario en etapa joven para mejorar este aspecto.

En el caso de los fenoles se observa un claro efecto de la edad del olivar, entre la etapa joven y adulta, que afecta principalmente en los tratamientos deficitarios, Estos tratamientos tienen niveles muy elevados en los tres primeros años y un descenso muy acusado en los tres últimos. Como se puede ver en la figura 5.8 en la etapa joven influyen dos factores que guardan relación entre sí como son el nivel de estrés y la iluminación que reciben los frutos que dependen del volumen de copa. En la etapa adulta, aunque estas relaciones siguen siendo significativas las pendientes de las rectas de regresión son

menores, así como el coeficiente de determinación. Entre tratamientos, el contenido en fenoles aumenta al reducir el agua aplicada y esta respuesta podría ser debida al mayor porcentaje de humedad de las aceitunas a subir la dosis de riego (Alegre, 2001). Al ser los fenoles un compuesto hidrosoluble una parte de estos compuestos pueden ser arrastrados en la fase de extracción del aceite. Otro motivo puede estar en el proceso de extracción (Vierhuis *et al.*, 2001) debido a que los compuestos fenólicos interaccionan con los polisacáridos de las paredes celulares de la aceituna dificultando el paso al aceite durante la molienda y el batido. Por otro lado, el estrés hídrico pudo en sí mismo provocar el aumento en estos compuestos ya que forman parte del metabolismo secundario de la planta como parte de la respuesta del olivo frente a estrés biótico o abiótico (Parr y Bolwell, 2000), siendo un efecto coincidente con otros trabajos publicados (Motilva *et al.*, 2000; Tovar *et al.*, 2001a; Patumi *et al.*, 2002; Gómez-Rico *et al.*, 2007; Stefanoudaki *et al.*, 2009; Gómez del Campo *et al.*, 2013; García, *et al.*, 2016). Cuando comparamos el estado hídrico de los olivos considerando la integral de estrés generada en todo el ciclo con el contenido en fenoles totales encontramos una alta relación, en cada campaña agrícola. Al igual que en otros trabajos (Moriana *et al.* 2007), parece que el contenido en fenoles no depende solo del estado hídrico durante la acumulación de aceite sino de todo el ciclo de cultivo.

El contenido en pigmentos también aumentó con el estrés hídrico al igual que los resultados obtenidos por García *et al.* (2016) en un ensayo también el olivar en seto de la variedad 'Arbequina'. Por el contrario, Tovar *et al.* (2001) no encontraron un efecto del tratamiento de riego sobre el contenido en pigmentos, pero efectuaron la recolección con un mayor grado de maduración. En nuestro trabajo todos los tratamientos y años se recolectaron con un índice de madurez similar en torno a 2.5, donde la aceituna tiene bastante concentración de estos pigmentos ya que a medida que el estado de maduración avanza se degradan. (Vergara-Domíngue *et al.*, 2016) Al igual que sucedía para los fenoles, la concentración de pigmentos fue mayor en la etapa joven que en la adulta, principalmente en los tratamientos con déficit hídrico, la radiación existente puede tener un papel importante en la síntesis de estos compuestos (Van Der Berg *et al.*, 2000).

Un aspecto de gran interés Arbequina es el aumento de la estabilidad oxidativa al someterla a estrés hídrico ya que se trata de una variedad con baja estabilidad frente a la oxidación. Los obtenidos son ligeramente superiores a los referidos para esta variedad por Tous y Romero (2005) en el Banco de Germoplasma de Cataluña con valores medios de 7,8 horas Rancimat y destaca además en la etapa joven del cultivo. Los tratamientos muy deficitarios lograron aumentar este parámetro muy por encima de esta media observada, lo que proporciona más estabilidad a los aceites, especialmente interesante en fase adulta donde los aceites pierden estabilidad. Se encontró una buena correlación entre la estabilidad oxidativa y el contenido en pigmentos fotosintéticos y fenoles totales al igual que Berenguer *et al.* (2006), aunque fue diferente en cada año, lo que nuevo incide en la importancia de las condiciones meteorológicas de cada año, además de otros posibles efectos como es la carga de los árboles.

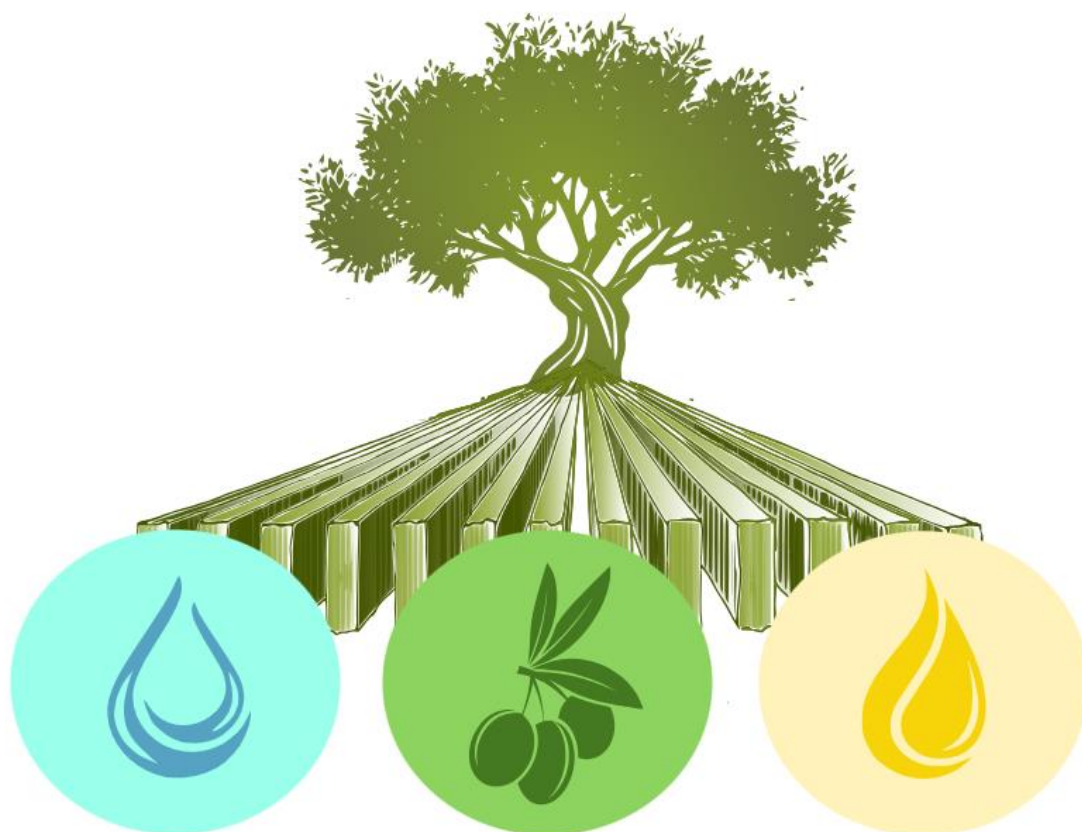
5.2.3. EL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS.

Dentro de las características organolépticas los atributos amargo y picante son los únicos que se han diferenciado entre tratamientos. El estrés hídrico incrementó estos atributos coincidiendo con otros trabajos sobre esta misma variedad (Tovar *et al.* 2001 y Gómez del Campo *et al.* 2013). En la variedad 'Picual' Salas *et al.* (1997) encontraron incrementos en todos los parámetros con el estrés hídrico, mientras que en 'Koroneiki', Stefanoudaki *et al.* (2009) solo encontraron debidas al riego en el atributo picante. Aunque vemos que los parámetros sensoriales pueden variar en función del tratamiento de riego o del nivel de estrés soportado por los árboles el efecto sobre la apreciación sensorial va a depender de las características intrínsecas de la variedad. Por otra parte, Ramos y Santos (2009) en la variedad 'Cordovil' y García *et al.* (2013) de 'Arbequina', no encontraron diferencias significativas en la evaluación sensorial del AOVE como resultado de las diferentes estrategias de riego aplicadas. Por tanto, aspectos como la intensidad y el momento en que los árboles experimentan el estrés hídrico pueden jugar también un papel importante en el efecto sensorial, probablemente hay que superar un cierto valor umbral para que los cambios en el conjunto de los componentes del aceite sean perceptibles por catadores incluso expertos. Un aspecto curioso es que los aceites de la etapa joven se valoraron en general como más afrutados y picantes y con mayor amargor, lo que contradice la idea de que los olivares adultos producen aceites más

intensos. Como una valoración conjunta de los resultados del panel de cata el empleo de estrategias de riego deficitario aumento los atributos que se valoraron en las mismas. La intensidad de estos atributos puede variar entre años, pero tiene un importante componente varietal de forma que la adopción de una determinada estrategia de riego puede ayudar a potenciar o disminuir alguno de ellos para adaptarlo al gusto de los consumidores a los que se quiera dirigir el producto final. Dado que en los paneles de cata las valoraciones las realizan personas, incluso estando entrenados, puede haber un cierto grado de subjetividad, que podría afectar a las diferencias interanuales. Sin embargo, el efecto del tratamiento de riego es claro ya que año a año se mantienen las mismas tendencias, apoyadas además con las analíticas que muestran diferencias en componentes que afectan a estas valoraciones.

CAPÍTULO 6:

DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES



CAPÍTULO 6: DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES

6.1. DISCUSION GENERAL

La presente tesis no solo trata de optimizar el uso de los recursos hídricos para controlar el vigor de un olivar en seto aumentando a vida útil de esta, sino de proporcionar directrices de gestión según la edad de la plantación y lograr una producción sostenible de aceituna y aceite. Los resultados corresponden a una serie de 11 años lo que le convierte en un trabajo singular y con unas conclusiones que se refieren tanto a etapas concretas del desarrollo, como al efecto a medio y largo plazo de haber adoptado y mantenido un criterio de riego. Las estrategias de riego de cada uno de los tratamientos se seleccionaron en el año 2008, de acuerdo con los resultados obtenidos en un proyecto previo en esta misma localización, pero con un olivar intensivo de la var. 'Morisca' donde se usó el potencial hídrico de tronco para programar los riegos (Moriana *et al.*, 2012). Otros autores, como Fernández *et al.* (2013) han propuesto otras estrategias diferentes usando otros indicadores hídricos de planta. Por los resultados obtenidos, pudieron sugerir introducir modificaciones, pero se decidió mantener los mismos criterios, ya que era la única forma de conocer las repercusiones sobre el olivar de estas decisiones a medio y largo plazo, sobre todo para responder a la pregunta de si un control del vigor temprano mediante déficit hídrico puede ser beneficioso en la vida productiva. En las discusiones de los capítulos 3, 4 y 5 se han propuesto estrategias combinadas para maximizar los beneficios del estrés controlado considerando diferentes aspectos como producción, calidad del aceite, costes de mantenimiento del seto y vida útil. Probar la efectividad de estas queda ya para los que vengan por detrás.

Este trabajo tiene un enfoque práctico que siempre se ha hecho pensando en la transferencia de resultados de interés para los olivareros, para apoyar las tomas de decisiones difíciles cuando no se conocen las consecuencias que pueden tener en años posteriores. En este sentido, conociendo la dificultad de seguir las programaciones de riego propuestas, basadas en referencias de potencial hídrico de tronco, se aporta una tabla de coeficientes (Tabla 3.4) de aplicación en condiciones similares a las de este

ensayo. Para poder extrapolar a otras condiciones de cultivo es recomendable una primera puesta a punto verificando con medidas de apoyo de potencial hídrico de tallo.

Hay mucha bibliografía sobre el olivo y sobre la respuesta al riego en ensayos realizados en varias partes del mundo, pero el número se reduce considerablemente al tratarse de olivar superintensivo y más aún si se buscan más de 2 o 3 años de resultados. Aunque las nociones básicas de fisiología del olivo deben ser válidas para cualquier sistema productivo, el someter a cada planta a unas condiciones de competencia tan estrecha y someterlas a una distribución de la vegetación fuera de sus hábitos naturales de crecimiento supone un nuevo reto para el árbol y para el conocimiento agronómico. El sistema superintensivo del olivar ha hecho cambiar algunos principios del cultivo del olivo y es necesario generar los conocimientos necesarios para que el sistema sea rentable y eficiente, así como un nuevo refrán que sustituya “Olivares de tu abuelo, higueras de tu padre y viñas de ti mismo”. Los olivares en seto tienen una vida útil mucho más reducida que los olivares intensivos y tradicionales y exige una fuerte inversión inicial. Estos dos factores pueden comprometer la rentabilidad del sistema. La clave será mantener la vida productiva (con altas producciones) minimizando los costes de mantenimiento y son las prácticas culturales las que van a marcar estos aspectos. Este trabajo se centra en analizar las repercusiones de adoptar una determinada estrategia de riego. El éxito de un olivar no reside en una campaña récord, sino en una trayectoria productiva equilibrada. Hemos respondido a interrogantes que hasta la fecha estaban en el aire como las consecuencias del estrés hídrico a largo plazo o como afecta la edad del árbol y el riego a las características del aceite. En este último punto, los resultados obtenidos han resultado interesantes al evidenciar que los aceites de los olivares jóvenes presentan características interesantes y hemos visto cómo potenciar o atenuar características varietales de los aceites según el tipo de producto que se quiera obtener.

Este trabajo solo ha sido posible gracias a los proyectos que lo han financiado y a la constancia del equipo investigador y al CICYTEX que ha puesto a disposición la infraestructura básica, el olivar y el apoyo necesario, pese a los cambios que se han producido en este largo camino.

6.2. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado que el uso de estrategias de riego deficitario controlado usando medidas de potencial hídrico de tallo para la programación y aplicándolo desde formación del seto es una técnica efectiva para controlar el vigor, la productividad y la calidad de los aceites producidos en estos sistemas a largo plazo. Del análisis de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Capítulo 3:

✓ La programación de riego utilizando como referencia el potencial hídrico y diferenciando umbrales para cada estado fenológico resultó efectiva para ajustar el riego a diferentes estrategias de control de la vegetación.

✓ Estrategias de RDC ligeras mantenidas desde plantación permitieron mantener el crecimiento del seto en las primeras etapas de desarrollo del seto y controlarlo en etapas más avanzadas. Permitieron además ahorrar agua y controlar las intervenciones de poda necesarias desde su aplicación.

✓ Estrategias deficitarias severas y moderadas retrasan la formación del seto y mantienen un seto de menor tamaño durante toda su vida útil. Se ahorra mucha cantidad de agua, el mantenimiento de la poda es mínimo ya que controlan el vigor desde su inicio y las podas en altura y de madera vieja se reducen.

✓ Los brotes anuales de un olivar en seto presentan comportamientos diferentes según la edad del seto, existiendo un crecimiento continuo en verano y otoño cuando este es joven y prácticamente solo crecimiento primaveral cuando es adulto. En todos los casos aplicar niveles de más de -1.6 Mpa en fase I permitió controlar su desarrollo.

✓ Cuando el tamaño del brote es corto por el control recibido por el déficit aplicado, reduce el número de nudos contenidos en él y por tanto amortigua parte de la pérdida de futuras yemas fructíferas.

Capítulo 4:

✓ El número de inflorescencias por brote disminuyó con el estrés hídrico para niveles moderados y severos, así como el número de inflorescencias por yema en el brote generado en año anterior. Cuando se aplican en fase I estos mismos niveles los brotes productivos de ese año tuvieron un menor cuajado.

✓ La carga de aceitunas es la responsable de la productividad del seto y en etapas adultas e influye más en evolución y tamaño del fruto que las dosis de riego. Además, la maduración de la aceituna se retrasa en los tratamientos deficitarios cuando la carga de los setos es muy alta o cuando el estrés hídrico es muy severo.

✓ La aplicación de estrategias de déficit ligero mantuvo la producción de aceitunas en todas las etapas de desarrollo. Mientras que el uso de déficit severos y moderados hicieron perder productividad, aunque lograron mantener más equilibrada la producción interanual.

✓ El diseño de un RDC modulado en todas las fases del cultivo permitió controlar el llenado de aceite en la aceituna al final de periodo con más rendimiento graso por parte de los tratamientos severos y moderados. En producción de aceite, las estrategias de riego moderadas en un estado avanzado del seto lograron alcanzar niveles similares a los más regados.

✓ Aplicar déficits ligeros en etapa joven y moderados en fase adulta permitirían un buen desarrollo inicial del seto controlando el vigor del seto, con más vida útil y equilibrado y con niveles productivos económicamente rentables al consumir menos recursos. No es más económico producir lo máximo al máximo coste.

Capítulo 5:

✓ El tratamiento de riego no tuvo un efecto destacable sobre los parámetros fisicoquímicos que determinan la clasificación de los aceites, de forma que con cualquiera de los tratamientos y en todos los años se obtuvieron aceites de oliva virgen extra.

✓ La composición de ácidos grasos varió de un seto joven a adulto presentando los primeros menos contenido en oleico y más en palmítico y linoleico. Con el uso de tratamientos de riego deficitario se consiguió mejorar el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y bajar de saturados y poliinsaturados cuando el seto es joven pero el aceite de oliva presentó las mismas características al ser adulto.

✓ Los aceites obtenidos en un olivar en seto joven tuvieron además un mayor contenido en compuestos antioxidantes (fenoles y pigmentos) que un seto adulto y como consecuencia se obtuvieron aceites más amargos, estables y de mayor valor biológico y nutritivo.

✓ Al aplicar estrategias de riego con volúmenes altos de agua de riego disminuye el contenido de fenoles y pigmentos. En variedades como 'Arbequina' con una baja estabilidad oxidativa, el uso de estrategias de riego moderado y severo prolongaron la calidad en almacenaje.

✓ Los aceites procedentes de los tratamientos de riegos deficitarios, principalmente moderado y severo fueron más amargos y picantes que los de los tratamientos con dosis más altas de agua y por tanto con mejores características organolépticas.

✓ Si queremos mejorar las características de los aceites en estos nuevos modelos de olivar tenemos que optar por uso de estrategias de bajo consumo hídrico a costa de una menor productividad, pero más equilibrada en los años.

CAPÍTULO 7:

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, V., Hall, A., Searles, P.S., Rouseaux, M.C. (2017). Responses of vegetative growth and fruit yield to winter and summer mechanical pruning in olive trees *Scientia Horticulturae* Volume 225: 185-194
- Alegre, S. (2001). Efecto de diferentes estrategias de riego deficitario controlado durante la época estival sobre la producción del olivo (*Olea europaea* L.) cv Arbequina. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.
- Alegre, S., Marsal, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J., Tovar, M.J. (2002). Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) for oil production. *Acta Horticulturae* 586: 259-262.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper. Nº 56. Crop Evapotranspiration. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L., (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 131 (1), 2-13.
- Aparicio, R., Luna, G. (2002). Characterisation of monovarietal virgin olive oils. *European Journal of Lipid Science and Technology.* 104 (9-10): 614-627.
- Ahumada-Orellana, L., Ortega-Farías, S., Searles, P., Retamales, J. (2017). Yield and water productivity responses to irrigation cut-off strategies after fruit set using stem water potential thresholds in a super-high density olive orchard. *Front Plant Sci* 8:1280.
- Ahumada-Orellana, L., Ortega-Farías, S., Searles, P.S. (2018) Olive oil quality response to irrigation cut-off in a super-high density orchard. *Agric Water Manag* 202:81–88.
- Ahumada-Orellana, L., Ortega-Farías, S., Poblete-Echeverría, C., Searles, P.S. (2019) Estimation of stomatal conductance and stem water potential threshold values for water stress in olive trees (cv. Arbequina). *Irrig Sci* 37:461–467.
- Beede, R.H., Goldhamer, D. (2005). Olive irrigation management. In: Sibbet, G.S, Fergusson, L. (eds). *Olive Production manual.* 61-69. University of California. *Agricultura and Natural Resources* 3353.
- Beltrán, G., Uceda, M., Hermoso, M., Frías, L. (2008). Maduración. En: D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds.), *El cultivo del olivo* 6ª edición. Mundi-Prensa y Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Madrid, España. 163-188.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Boukhris, M. (2007). Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia. *Scientia Horticulturae* 113 (3): 267-277.

- Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Hanoch, E., Dag, A. (2011). The influence of bearing cycles on olive oil production response to irrigation. *Irrigation Science* 29 (3) : 253–263.
- Ben-Gal, A., Ron, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Naoum, S., Dag, A. (2021). Evaluation of regulated deficit irrigation strategies for oil olives: a case study for two modern Israeli cultivars. *Agric. Water Manag.* 245.
- Berenguer, M.J., Vossen, P.M., Grattan, S.R., Connel, J.H., Polito, V.S. (2006). Tree irrigation levels for optimum chemical and sensory properties of olive oil. *HorScience* 41: 427-432.
- Branquinho, S., Rolim, J., Teixeira, J.L. (2021) Climate Change Adaptation Measures in the Irrigation of a Super-Intensive Olive Orchard in the South of Portugal. *Agronomy* 11 : 1658.
- Caruso, G., Rapoport, H.F., Gucci, R. (2013). Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrig Sci* 31:37–47.
- Centeno, A., Hueso, A., Gómez-del-Campo, M. (2019). Long-term evaluation of growth and production of olive cultivars in super high-density orchard under cold-weather conditions *Scientia Horticulturae* 257: 108657.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., Vanheek, L. (1981). Control of peach-tree growth and productivity by regulated water-supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106: 307-312.
- Connor, D.J. (2005). Adaptation of olive (*Olea europaea* L.) to water-limited environments. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1181-1189.
- Connor, D.J. (2006). Towards optimal designs for hedgerow olive orchards. *Australian Journal of Agricultural Research* 57:1067-1072.
- Connor, D.J., Centeno, A., Gómez-del-Campo, M. (2009). Yield determination in olive hedgerow orchards. II. Análisis of radiation and fruiting profiles. *Crop & Pasture Science* 60: 443–452.
- Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M.C., Searles, P.S. (2014). Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: a review. *Scientia Horticulturae* 169: 71-93.
- Corell, M., Martín-Palomo, M.J., Girón, I., Andreu, L., Galindo, A., Centeno, A., Pérez-López, D., Moriana, A. (2020). Stem water potential-based regulated deficit irrigation scheduling for olive table trees. *Agric. Water Manag.* 242.

- Corell, M., Pérez- López, D., Andreu, L., Recena, R., Centeno, Galindo, A., Moriana, A., 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.
- Correa-Tedesco, G., Rousseaux, M.C., Searles, P.S. (2010). Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea* L.) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. Agricultural Water Management 97: 1829-1837.
- D'Andria, R., Vini, A., Morelli, G., Sebastiani, L., Tognetti, R. (2009). Physiological and productive responses of *Olea europaea* L. Cultivars Frantoio and Leccino to a regulated deficit irrigation regime. Plant Biosystems 143: 222–231.
- De la Rosa, R., León, L., Guerrero, N., Barranco, D., Rallo, L. (2006). Resultados preliminares de un ensayo de densidades de plantación en olivar en seto. Fruticultura 160: 43-46 .
- De la Rosa, R., León, L., Guerrero, N., Rallo, L., Barranco D. (2007). Preliminary results of an olive cultivar trial at high density. Australian Journal of Agricultural Research, 58, 392-395.
- Díaz-Espejo, A., Nicolás, E., Fernández, J.E. (2007). Seasonal evolution of diffusional limitations and photosynthetic capacity in olive under drought. Plant, Cell and Environment 30: 922–933
- Dichio, B., Nuzzo, V., Xiloyannis, C., Celano, G. and Angelopoulos, K. (1997). Drought stress-induced variation of pressure-volume relationships in *Olea europaea* L. Cv. 'Coranita'. Acta Horticulturae 449: 83-89.
- Domingo, R., Ruíz-Sánchez, M.C., Sánchez-Blanco, M.J., Torrecillas, A. (1996). Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. Irrigation Science 16(3): 115-123.
- Egea, G., Nortes, P.A., González-Real, M.M., Baille, A., Domingo R. (2010). Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. Agricultural Water Manage 97: 171-181.
- English, M., Raja, S.N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. Agric Water Management 32, 1-14.
- Estruch, R., Ros, E., Salas-Salvadó, J., Covas, M.I., Corella, D., Arós, F., Gómez-Gracia, E., Ruiz-Gutiérrez, V., Fiol, M., Lapetra, J. (2013). Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. New England Journal of Medicine 368(14): 1279–1290.
- ESYRCE. (2022). "Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de los Cultivos del MAPA". <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/encuestacultivos/resultados.htm>.

- Faci, J., Berenguer, M., Espada, J., Gracias, S. (2002). Effect of variable water irrigation supply in olive (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina in Aragon (Spain). I. Fruit and oil production. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 586: 341-344.
- Famiani, F., Farinelli, D., Urbani, S., Al Hariri, R., Paoletti, A., Rosati, A., Esposto, S., Selvaggini, R., Taticchi, A., Servili, M. (2020) Harvesting system and fruit storage affect basic quality parameters and phenolic and volatile compounds of oils from intensive and super-intensive olive orchards. *Scientia Horticulturae* 263: 109045.
- FAO, (2023). <http://faostat.fao.org>.
- Fereres, E., Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultura water use. *Journal of Experimental Botany* 58 (2): 147-159.
- Fernández, J.E., Moreno, F., Girón, I., Blázquez, O. (1997). Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and Soil* 190: 179–192.
- Fernández, J.E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V., Rodriguez-Dominguez, C.M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J.M., Hernandez-Santana, V., Diaz-Espejo, A. (2016). A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil*. Publicación online mayo 2013.
- Fernández, J.E., Diaz-Espejo, A., Romero, R., Hernandez-Santana, V., García, J.M., Padilla-Díaz, C.M., Cuevas, M.V. (2018). Precision irrigation in olive (*Olea europaea* L.) tree orchards. In: García-Tejero, I.F., Durán-Zuazo, V.H. (Eds.), *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies and Challenges for Woody Crops*. Elsevier, pp. 179-218.
- Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M.V., (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: a case study of a super high density olive tree orchard. *Agric. Water Manag.* 237, 106074.
- Fernandes-Silva, A.A., Ferreira, T.C., Correia, C.M., Malheiro, A.C., Villalobos, F.J. (2010). Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant Soil* 333:35-47.
- Franco, M.N., Galeano-Díaz, T., López, Ó., Fernández-Bolaños, J.G., Sánchez, J., De Miguel, C., Gil, M.V., Martín-Vertedor, D. (2014). Phenolic compounds and antioxidant capacity of virgin olive oil. *Food Chemistry* 163: 289–298.
- Frías, L, García-Ortiz, A, Hermoso, M, Jiménez, A, Llaverro, M.P, Morales, J, Ruano, T, Uceda, M., (1991). *Analista de laboratorio de almazaras*. Series Apuntes 6/91. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- García, J.M., Morales-Sillero, A., Pérez-Rubio, A.G., Diaz-Espejo, A., Montero, A., Fernández, J.E. (2016). Virgin olive oil quality of hedgerow ‘Arbequina’ olive trees under deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (wileyonlinelibrary.com)

- García, J.M., Hueso, A., Gómez-del-Campo, M., 2020. Deficit irrigation during the oil synthesis period affects olive oil quality in high-density orchards (cv. Arbequina). *Agricultural Water Management* 230: 105858
- García-Martos, J.M, Mancha, M.M. (1992). Evaluación de la biosíntesis de lípidos durante la maduración de las variedades de aceituna 'Picual' y 'Gordal'. *Grasas y Aceites*, 43(5): 277-280.
- García-Tejera, O., López-Bernal, A., Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F. J. (2020). The pitfalls of water potential for irrigation scheduling. *Agric. Water Manag.* 243: 106522.
- Gelly, M., Recasens, I., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J., Girona, J., Marsal J. (2003). Effects of water deficit during stage II of peach fruit development and postharvest on fruit quality and ethylene production. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 78 (3): 324-330.
- Gil-Ribes, J.A., López-Giménez, J.F., Blanco-Roldal, G.L., Castro, S. (2008). Mecanización. En: Barranco, D., Fernandez-Escobar, R., Rallo, L. (eds). *El cultivo del Olivo* 6ª edición. Coedición Mundi-Prensa y Consejería de Agricultura y Pesca. Madrid. España. 435-507.
- Giménez, C., Fereres, E., Ruz, C., Orgaz, F. (1997). Water relations and gas exchange of olive trees: diurnal and seasonal patterns of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance. *Acta Horticulturae* 449: 411-415.
- Girona, J., Marsal, J., Mata., Arbones, A., DeJong, T.M. (2004). A comparison of the combined effect of water stress and crop load on fruit growth during different phenological stages in young peach trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79: 308-315.
- Goldhamer, D.A. (1999). Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474 (1):369-372.
- Gómez del Campo, M., Centeno, A., Connor, D.J. (2009). Yield determination in olive hedgerow orchards. I. Yield and profiles of yield components in north-south and east-west oriented hedgerows. *Crop & Pasture Science* 60: 434-442.
- Gómez del Campo, M. (2011). Summer deficit-irrigation strategies in a hedgerow olive orchard cv. 'Arbequina': effect on fruit characteristics and yield. *Irrigation Science* 31 (3): 259-269
- Gómez del Campo, M., 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: 8899-8905.

- Gómez-Rico, A., Salvador, M.D., Moriana, A., Pérez, D., Olmedilla, N., Ribas, F., Fregapane, G. (2007). Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chemistry* 100: 568-578
- Gómez-Rico, A., Salvador, M.D., Fregapane, G. (2009). Virgin olive oil and olive fruit minor constituents as affected by irrigation management based on SWP and TDF as compared to ETc in medium-density young olive orchards (*Olea europaea* L. cv. Cornicabra and Morisca *Food Research International* 42: 1067–1076
- Grattan, S., Berenguer, M., Connell, J., Polito, V., Vossen, P. (2006). Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management* 85: 133-140.
- Greven, M., Neal, S., Green, S., Dichio, B., Clothier, B. (2009). The effects of drought on the water use, fruit development and oil yield from young olive trees. *Agricultural Water Management* 96: 1525-1531.
- Gucci, R., Caruso, G., Gennai, C., Esposto, S., Urbani, S., Servili, M. (2019). Fruit growth, yield and oil quality changes induced by deficit irrigation at different stages of olive fruit development. *Agric. Water Manag.* 212: 88–98.
- Guerrero, A. (2005). Nueva olivicultura, 6ª Edición. Mundi Prensa Libros S.A. Madrid.
- Guerrero-Casado, J., Carpio, A.J., Tortosa, F.S., Villanueva, A.J. (2001). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Science of the Total Environment* 798: 149212.
- Gutfinger, T. (1981). Polyphenols in olive oil. *Journal of American Oil Chemistry Society* 58: 966-968.
- Gutiérrez, F. (1989). Determinación de la estabilidad oxidativa de aceites de oliva vírgenes: comparación entre el método del oxígeno activo (A.O.M) y el método Rancimat. *Grasas y Aceites* 40(1): 1-5.
- Haberman, A., Bakhshian, O., Cerezo-Medina, S., Paltiel, J., Adler, C., Ben-Ari, G., Mercado, J.A., Pliego-Alfaro, F., Lavee, S., Samach, A., (2017). A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. *Plant Cell and Environment* 40 (8): 1263–1280.
- Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24, 519-570.
- Hsiao, T., Steduto, P., Fereres, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agricultura. *Irrigation Science* 25: 209-231.

- Hueso, A., Camacho, G., Gómez-del-Campo, M. (2021). Spring deficit irrigation promotes significant reduction on vegetative growth, flowering, fruit growth and production in hedgerow olive orchards (cv. Arbequina). *Agric. Water Manage.* 248: 106695.
- Hueso, A., González-García, C., Atencia, L.K., Nowack, J.C., Gómez-del-Campo, M. (2023). Methodology of stem water potential measurement on hedgerow olive orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research* 21: 2171-9292.
- Inglese, P., Barone, E., Gullo, G. (1996). The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv. Carolea. *J. Hortic. Sci.* 71: 257-263.
- Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F.J. (2009). The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy* 30: 258-265.
- Intrigliolo, D., Castel, J. (2005). Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80 (2): 177–182.
- IOOC. (1984). Document nº 6. International Olive Oil Council, Madrid.
- Larbi, A., Ayadi, M., Ben Diva, A., Msallem, M., Caballero, J.M. (2012). Planting density affects vigour and production of 'Arbequina' olive. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(4): 1081-1089.
- Lavee, S., Wodner, M. (1991). Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 66: 583–591.
- Lavee, S., Hanoch, E., Wodner, M., Abramowitch, H. (2007). The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. Muhasan olives (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae* 112: 156-163.
- León, L., De la Rosa, R., Rallo, L., Guerrero, N., Barranco, D. (2007). Influence of spacing on the initial production of hedgerow 'Arbequina' olive orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5(4): 554-558. Time and type of pruning affect tree growth and yield in high-density olive orchards.
- Lo Bianco, R., Proietti, P., Regni, L., Caruso, T., (2021). Planting Systems for Modern Olive Growing: Strengths and Weaknesses. *Agriculture* 11: 494.
- Lodolini, E.M., Polverigiani, S., Giorgi, V., Farmiani, F., Neri, D. (2023). Time and type of pruning affect tree growth and yield in high-density olive orchards. *Scientia Horticulturae* Volume 311: 111831.
- López, M., Obregon, A., Brox, G., Tiana, J., Villalba, P. (2015). La evolución del olivar en seto o superintensivo en Andalucía. *Revista Olint* 27: 8-16.

- Lozano, J., Segura, A., Fernández, A. (2009). El Aceite de Oliva Virgen: Tesoro de Andalucía. 13 perspectivas concatenadas (Capítulo 7: Composición del aceite de oliva). Volumen 1, 93-220. Editorial Unicaza. Granada.
- Machado, M., Felizardo, C., Fernandes-Silva, A.A., Nunes, F.M., Barros, A. (2013). Polyphenolic compounds, antioxidant activity and L-phenylalanine ammonia-lyase activity during ripening of olive cv.'Cobrançosa' under different irrigation regimes. *Food Research International* 51(1): 412-421.
- Magliulo, V., D'Andria, R., Lavini, A., Morelli, G., Patumi, M. (2003). Yield and quality of two rainfed olive cultivars following shifting to irrigation. *J. Hortic. Sci. Biotech* 78: 15-23.
- Marra, F., Marino, G., Marchese, A., Caruso, T. (2016) Effects of different irrigation regimes on a super-high-density olive grove cv. "Arbequina" vegetative growth, productivity and polyphenol content of the oil. *Irrig Sci* 34:313-325.
- Marsal, J., Gelly, M., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J., Girona, J. (2002). Phenology and drought affect the relationship between daily trunk shrinkage and midday stem water potential of peach trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77: 411-417.
- Martín-Vertedor, A.I. Pérez-Rodríguez, J.M., Prieto Losada, M.H., Fereres, E. (2011a). Interactive responses to water deficit and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) I.- Growth and water relations. *Agricultural Water Manage* 98: 941-949.
- Martín-Vertedor, A.I. Pérez-Rodríguez, J.M., Prieto Losada, M.H., Fereres, E. (2011b). Interactive responses to water deficit and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) II.- Water use, fruit and oil yield. *Agricultural Water Manage* 98: 950-958.
- Martínez-Gimeno, M.A., Zahaf, A., Badal, E., Paz, S., Bonet, L., Pérez-Pérez, J.G., (2022). Effect of progressive irrigation water reductions on super-high-density olive orchards according to different scarcity scenarios. *Agricultural Water Management* 262: 107399
- McCutchan, H., Shackel, K.A. (1992). Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. Frech). *Journal of the American Society for Horticultural* 117: 607-611.
- Mpelasoka, B., Behboudian, M., Mills, T. (2001). Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braeburn' apple. *Scientia Horticulturae* 90: 279-290.
- Mínguez-Mosquera, M.I., Rejano-Navarro, L, Gándul-Rojas, B., Sánchez- Gómez, A.H., Garrido-Fernández, J. (1991). Color pigment correlation in virgin olive oils. *Journal of the American Oil Chemists Society* 68: 332-336.

- Millán, S., Campillo, C., Casadesús, J., Moñino, M.J., Vivas, A., Prieto, M.H. (2019). Automated irrigation scheduling for drip-irrigated plum trees. John V. Stafford (ed.) Precision agriculture '19.
- Mitchell, P. D., Chalmers, D. J. (1982). The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107: 853-856.
- Montedoro, G., Servili, M., Baldioli, M. y Miniati, E. (1992). Simple and hydrolysable phenolic compounds in virgin olive oil. 1. their extraction, separation, and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40: 1.571-1.576.
- Morales, M.T., Tsimidou, M. (2003). El papel de los compuestos volátiles y los polifenoles en la calidad sensorial del aceite de oliva. En: Manual del aceite de oliva. Editores: Aparicio, R., Harwood, J. Ediciones AMW y Mundi-Prensa. 381-441.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., Fereres, E. (2003). Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128(3): 425-431.
- Moriana, A., Pérez-López, D., Gómez-Rico, A., Salvador, M., Olmedilla, N., Ribas, F., Fregapane, G. (2007). Irrigation scheduling for traditional, low-density olive orchards: Water relations and influence on oil characteristics. *Agricultural Water Management* 87: 171-179.
- Moriana, A., Moreno, F., Giron, I., Conejero, W., Ortuño, M.F., Morales, D., Corell-Gonzalez, M., Torrecilla, A. Seasonal changes of maximum daily shrinkage reference equations for irrigation scheduling in olive trees: influence of fruit load. *Agricultural Water Management*. 99: 121-127.
- Moriana, A., Pérez-López, D., Prieto, M.H., Ramírez-Santa-Paola, M., Pérez-Rodríguez, J.M. (2012). Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agricultural Water Management* 112 (2012) 43– 54.
- Motilva, M. J., Tovar, M. J., Romero, M. P., Alegre, S., Girona, J. (2000). Influence of regulated deficit irrigation strategies applied to olive trees (Arbequina cultivar) on oil yield and oil composition during the fruit ripening period. *Journal of Science of Food and Agriculture* 80: 2037-2043.
- Myers, B. J. (1998). Water stress integral a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology* 4: 315-323.
- Naor, A., Klein, I., Hupert, H., Grinblat, Y., Perez, M., Kaufman, A. (1999). Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution and water potential. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 189-193.

- Nieto, E., Campillo, C., Prieto, M.H. (2019) Estrategia de riego deficitario controlado para mejorar la productividad de las cerezas en el Valle del Jerte (Cáceres) Revista de fruticultura 70: 100-107.
- Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F. J., Fereres, E. (2006). Water requirements of olive orchards II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. Irrigation Science 24: 77-84.
- Orgaz, F., Fereres, E. (2008). Riego. En: D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds.), El cultivo del olivo 6ª edición. Mundi-Prensa y Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Madrid, España. 337-362.
- Paço, T.A., Paredes, P., Pereira, L.S., Silvestre, J., Santos, F.L., (2019). Crop coefficients and transpiration of a super intensive Arbequina olive orchard using the dual Kc approach and the Kcb computation with the fraction of ground cover and height. Water 11: 383.
- Parr, A.J., Bolwell, G.P. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for posible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. Journal of the Science of Food and Agriculture 80: 985-1012.
- Pastor, M., Humanes, J., Castro, A., Jiménez, P. (1993). Densidades de plantación en olivar de secano en Andalucía. Agricultura, 730 (4): 419-425.
- Pastor, M., Castro, J., García-Ortiz, A., Martínez, C.J., Mateos, L., Navarro, C., Orgaz, F., Saavedra, M., Vega, V. (1996). Manejo del olivar con riego por goteo. Informaciones Técnicas 41/96. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Pastor, M., Macias, V., Moya, J., Girona, J. (2005). Influencia del riego sobre la calidad del aceite y sobre el comportamiento de la aceituna en el proceso industrial de extracción. En: Cultivo del olivo con riego localizado. Pastor, M. (ed.). Coedición Junta de Andalucía y Mundi-Prensa, Madrid. 165-184.
- Pastor, M., García-Vila, M., Soriano, M.A., Vega, V., Fereres, E. (2007). Productivity of olive orchards in response to tree density. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 82: 555-562
- Patumi, M., D' Andria, R., Fontanazza, G., Morelli, G., Giorio, P., Sorrentino, G. (1999). Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 74 (6): 729-737.
- Patumi, M., d'Andria, R., Marsilio, V., Fontanazza, G., Morelli, G., Lanza, B. (2002). Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. Food Chemistry 77: 27-34.

- Pérez-Arcoiza, A., Diaz-Espejo, A., Fernandez-Torres, R., Perez-Romero, L.F., Hernandez-Santana, V. (2023). Dual effect of the presence of fruits on leaf gas exchange and water relations of olive trees. *Tree Physiol* 43(2):277-287.
- Pérez-López, D., Ribas F., Moriana, A., Rapoport, H., De Juan, A. (2007). The influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74:706-713
- Pérez-López, D., Gijón, M.C., Moriana, A. (2008). Influence of irrigation rate on the rehydration of olive tree plantlets. *Agricultural Water Manage* 95: 1161-1166.
- Pérez-Rodríguez, J.M., Prieto Losada, M.H., Moñino Espino, M.J. (2004). Determinación del potencial productivo del olivar extremeño. *Vida Rural* 182: 40-49.
- Porras, A., Humanes, J., Pastor, M., Soriano, M.L., Cabrera, J., Marcilla, I., Pérez, C., Rodríguez, E., Abenza, J.M., Guijarro, L. (1997). Plantaciones de alta densidad en olivar: Conceptos necesarios. *Olivae*, 69 (12): 44-47.
- Puertas, C.M. (2009). Efecto del riego deficitario controlado sobre el rendimiento y calidad de aceite de olivo (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina. Tesis de grado para Magíster Scientie en riego y drenaje. Universidad Nacional de Cuyo.
- Rallo, L. (2005). Variedades de Olivo en España: Una aproximación cronológica. En: Rallo, L., Barranco, D., Caballero, J.M., Del Río, C., Tous, J., Trujillo, I. (eds.), *Variedades de Olivo en España*. Mundi-Prensa. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 17-44.
- Rallo, L., Cuevas, J. (2008). Fructificación y producción. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds). *El cultivo del olivo 6ª Edición*. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, 127-162.
- Rallo, L., Barranco, D., Castro-Garcia, S., Connor, D. J., Gomez-del-Campo, M., Rallo, P., (2013). High-density olive plantations. *Hortic Rev*, 41, 303-384.
- Rallo, G., Paço, T.A., Paredes, P., Puig-Sirera, A., Massai, R., Provenzano, G., Pereira, L.S., 2021. Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agric. Water Manag.* 250, 106645.
- Ramos, A., Rapoport, H.F., Cabello, D., Rallo, L., (2018). Chilling accumulation, dormancy release temperature, and the role of leaves in olive reproductive budburst: Evaluation using shoot explants. *Scientia Horticulturae* 231, 241–252.
- Ramos, A.F., Santos, F.L. (2009). Water use, transpiration, and crop coefficients for olives (cv. Cordovil), grown in orchards in Southern Portugal. *Biosystems engineering* 102: 321-333.

- Rapoport, H., Costagli, G., Gucci, R. (2004). The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129: 121-124.
- Rapoport, H.F, Sofiene B.M. Hammami, S.B.M., Martins, P., Pérez-Priego, O., Orgaz, F. (2012). Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany* 77: 227–233.
- Rius, X, Lacarte, J.M. (2015). *La revolución del Olivar: El cultivo en seto 2ª edición*. Barcelona.
- Rodas, A. (2016). Mesa redonda del olivar en seto en Sevilla: Estado actual y nuevos desafíos del sistema. *Revista olint* 29: 19-24.
- Rufat, J., Arbonés, A., Mata, M., Marsal, J., Alegre, S., Girona, J. (2009). Efectos del riego deficitario controlado en olivos jóvenes. *Vida rural* 284:36-40.
- Salas, J, Pastor, M, Castro, Vega, V. (1997). Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de oliva. *Grasas y aceites*, 48 (2): 74- 82.
- Selles, SCH, G., Ferreyra, R., Selles M., I. (2006). Efecto de Diferentes Regímenes de Riego Sobre la Carga Frutal, Tamaño de Fruta y Rendimiento del Olivo cv. Sevillana. *Agricultura Técnica*.66 (1):.48-56.
- Shackel, K. A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Snyder, R., Southwick, S. Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J. (1997). Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7: 23-29.
- Shackel, K., Lampinen, B., Sibbett, S., Olson, W. (2000). The relation of midday ítem water potencial to the growth and physiology of fruti trees Ander water limited conditions. *Acta Horticulturae* 537: 425-430
- Stefanoudaki, E., Williams, M., Chartzoulakis, K.,Harwood, J. (2009). Effect of Irrigation on Quality Attributes of Olive Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 7048–7055.
- Trentacoste, E.R., Calderon, F.J., Puertas, C.M., Banco, A.P., Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Connor, D.J. (2018). Vegetative structure and distribution of oil yield components and fruit characteristics within olive hedgerows (cv. Arbosana) mechanically pruned annually on alternating sides in San Juan, Argentina. *Sci Hortic.* 240, 425–429.

- Trentacoste, E.R., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., (2021). Response of oil production and quality to hedgerow design in super-high-density olive cv. Arbequina orchards. *Agron.* 11 (8), 1632.
- Tognetti, R., D'Andria, R., Morrelli, G., Alvino, A. (2005). The effect of deficit irrigation on seasonal variation of plants water use in *Olea europaea* L. *Plant Soil* 273: 139-155.
- Tognetti, R., d'Andria, R., Lavini, A., Morelli, G. (2006). The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). *European Journal of Agronomy* 25: 356-364.
- Tognetti, R., Morales-Sillero, A-, D'Andria, R., Fernández, J.E, Lavini, A., Sebastiani, L., Troncoso, A. (2008). Deficit irrigation and fertigation practices in olive growing convergences and divergences in two case studies. *Plant Biosyst* 142(1):138-148.
- Tous, J., Romero, A., Plana, J., Guerrero, L., Díaz, I., Hermoso, J.F. (1997). Características químico-sensoriales de los aceites de oliva Arbequina obtenidos en distintas zonas de España. *Grasas y Aceites* 48, 415-424.
- Tous, J., Romero, A., Plana, J. (1999). Planning density trial with 'Arbequina' olive cultivar in Cataluña (Spain). *Acta Horticulturae (ISHS)* 474: 177-180.
- Tous, J., Romero, A. (2005). Rendimiento graso de la aceituna (Banco de Germoplasma de Cataluña). En: *Varietades de olivo en España (Libro II: Variabilidad y selección)*. Rallo, L., Barranco, D., Caballero, J.M., Del Rio, C., Martin, A., Tous, J., Trujillo I. (eds.). Junta de Andalucía, MAPA y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 347-356.
- Tous, J., Romero, A., Hermoso, J.F., Mallen, N. (2007). Sistemas de producción del olivo en seto. *Experiencias en Cataluña. Agricultura* 851: 346-350.
- Tovar, M. J., Motilva, M. J., Luna, M., Girona, J., Romero, M. P. (2001a). Analytical characteristics of virgen olive oil from young trees (arbequina cultivar) growing under linear irrigation strategies. *J. Agric. Food Chem.* 78: 843-849.
- Tovar, M. J., Motilva, M. J., Romero, M. P. (2001b). Changes in the phenolic composition of virgin olive oil from young trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) grown under linear irrigation strategies. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5502-5508.
- Uceda, M., Beltran, G., Jimenez, A. (2005). Rendimiento graso de la aceituna (Banco de Germoplasma de Cataluña). En: *Varietades de olivo en España (Libro II: Variabilidad y selección)*. Rallo, L., Barranco, D., Caballero, J.M., Del Rio, C., Martin, A., Tous, J., Trujillo I. (eds.). Junta de Andalucía, MAPA y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 357-372.
- Uceda, M., Hermoso, M., Aguilera, M. P. (2008). La calidad del aceite de oliva. En: D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds.), *El cultivo del olivo 6ª edición*. Mundi-Prensa y Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Madrid, España. 657-684.

- Valverde, P., Zucchini, M., Polverigiani, S., Lodolini, E.M., López-Escudero, F.J., Neri, D., (2020). Olive knot damages in ten olive cultivars after late-winter frost in central Italy. *Scientia Horticulturae* 266: 109274.
- Van Der Berg, H., Faulks, R., Fernando, H., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 880-912.
- Vergara-Domínguez H., Ríos J. J., Gandul-Rojas B., Roca M. (2016). Chlorophyll catabolism in olive fruits (var. Arbequina and Hojiblanca) during maturation. *Food Chem.* 212: 604-611.
- Vierhuis, E., Servili, M., Baldioli, M., Schols, H.A., Vorage, A.G.J., Montedoro, G.F. (2001). Effect of enzyme treatment during mechanical extraction of olive oil on phenolic compounds and polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 1218-1223.
- Vilar, J., Pereira, J. (2019). *A olivicultura internacional. Difusão histórica, análise estratégica e visão descritiva.* Fundación Caja Rural de Jaén. España.
- Vossen, P.M., Connell, J.H., Klinsky, K.M., Livingston, P. (2004). *Sample costs to establish a super-high density Olive Orchard and productive olive oil – Sacramento Valley.* University of California, Cooperative Extension. Department of Agricultural and Resource Economics, Davis.
- Zucchini, M., Lodolini, E.M., Tarragoni, A., Neri, D. (2023). Shoot growth pattern and return bloom of six olive varieties in response to cultivation practices stimulating or limiting the vegetative growth in young trees. *Scientia Horticulturae* 321: 112373.

CAPÍTULO 8:

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA



CAPÍTULO 8: PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Artículos de científicos:

- Martín-Vertedor, A.I. **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto Losada, M.H., Fereres, E. (2011a). Interactive responses to water deficit and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) I.- Growth and water relations. *Agricultural Water Manage* 98: 941-949. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.01.002
- Martín-Vertedor, A.I. **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto Losada, M.H., Fereres, E. (2011b). Interactive responses to water deficit and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) II.- Water use, fruit and oil yield. *Agricultural Water Manage* 98: 950-958. DOI.org/10.1016/j.agwat.2011.01.003.
- Moriana, A., Pérez-López, D., Prieto, M.H., Ramírez-Santa-Paud, M., **Pérez-Rodríguez, J.M.** (2012). Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agricultural Water Management* 112 (2012) 43– 54. DOI.org/10.1016/j.agwat.2012.06.003
- Pérez-López, D., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Moreno, M.M., Prieto, M.H., Ramírez-Santa-Pau, M., Gijón, M.C., Guerrero, J., Moriana, A. (2013). Influence of different cultivars-locations on maximum daily shrinkage indicators: Limits to the reference baseline approach. *Agricultural Water Management* 127: 31– 39 DOI.org/10.1016/j.agwat.2013.05.016.
- Rebollo, F.J., Moral, F.J., Campillo, C., Marques da Silva, J.R., Serrano, J.M., **Pérez-Rodríguez, J.M.** (2017). Delineation of management zones based on the Rasch model in an olive orchard. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 8*: 610–614. DOI:10.1017/S204047001700036X.
- Sena-Moreno, E., Cabrera-Bañegil, M., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, De Miguel, C., Prieto, M.H., Martín-Vertedor, D. (2018). Influence of Water Deficit in Bioactive Compounds of Olive Paste and Oil Content. *J Am Oil Chem Soc.* 95: 349–359. DOI 10.1002/aocs.12017.
- Sena-Moreno, E., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, De Miguel, C., Prieto, M.H., Franco, N., Cabrera-Bañegil, M., Martín-Vertedor, D. (2018). Pigment Profile, Color and Antioxidant Capacity of Arbequina Virgin Olive Oils from Different Irrigation Treatments. *J Am Oil Chem Soc* 94:935–945. DOI 10.1007/s11746-017-3008-9.

Millán, S., Moral, F.J., Prieto, M.H. **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Campillo, C., (2019). Mapping soil properties and delineating management zones based on electrical conductivity in a hedgerow olive grove. American Society of Agricultural and Biological Engineers 62(3). DOI.org/10.13031/trans.13149 1

Millán, S., Campillo, C., Casadesús, J., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.H. (2020). Automatic Irrigation Scheduling on a Hedgerow Olive Orchard Using an Algorithm of Water Balance Readjusted with Soil Moisture Sensors. Sensors 2020, 20, 2526; DOI:10.3390/s20092526.

Artículos de divulgación:

Pérez-Rodríguez, J.M., Prieto, M.E., Moñino, M.J. (2004). Determinación del potencial productivo del olivar extremeño. Vida Rural 182: 40-49.

Campillo, C., Moñino, M.J., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Picón, J. (2009). Necesidades hídricas y estrategias de riego en los principales cultivos de regadío. En La agricultura y ganadería extremeñas 2016. Fundación Caja Badajoz 223-237.

Moñino, M.J., Vivas, A., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Lavado, M., Prieto, M.H. (2010). Efectos de la aplicación del riego deficitario en poscosecha en una nectarina temprana. Revista de Fruticultura. 9: 2 - 7.

Moriana, A., Pérez-López, Corell, M., D., Prieto, M.H., Ramírez-Santa-Paud, M., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Girón, I., Moreno, F. (2012). Programación del riego en olivar basada en medidas en el árbol. Presente y future. Revista fruticultura especial olivicultura 24: 42-49.

Pérez Rodríguez, J.M., Ruíz. I.M., Parras, J., Prieto, M.H., Lara, E. (2012). La reducción del aporte de agua puede ser clave en la calidad de los aceites. Oleogestion. 149:39 - 43.

Pérez-Rodríguez, J.M., Parras, J., Lara, E., Prieto, M.E. (2014). Manual práctico de riego en olivar de almazara. Gobierno de Extremadura. BA-239/2014.

Parras, J., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2014). Manejo del riego y la poda en plantaciones de olivar en seto. Interempresas Agricultura y Ganadería 1089: 88 - 93.

Parras, J., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2016). Avances en el manejo de la poda en plantaciones de olivar en seto. Revista Agropecuaria Agricultura. 995: 422 - 428

- Prieto, M.E., **Pérez-Rodríguez, J.M.**, (2016). Lara, E. (2016). Olivicultura de regadío en Extremadura: del olivar tradicional al superintensivo. En La agricultura y ganadería extremeñas 2016. Fundación Caja Badajoz 91-106.
- Parras, J., Prieto, M.E., Lara, E. **Pérez-Rodríguez, J.M.**, (2016). Manejo de la poda de producción en plantaciones de olivar en seto. Revista olint 30: 39-45
- Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2021). Estudio del comportamiento de seis variedades de olivo cultivadas en seto en Extremadura. Vida rural 504: 44-50.
- Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2020). Olivicultura de regadío en Extremadura: del olivar tradicional al superintensivo. Revista Oleocampo 180-181: 56-59
- Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2020). Comportamiento de diferentes variedades de olivar para cultivo en seto en Extremadura. Revista Oleocampo 182-181: 52-55
- Pérez-Rodríguez, J.M.**, Prieto, M.E., Lara, E. (2022). Respuesta de la estrategia de riego en seis variedades en olivar superintensivo. Vida rural 51: 52-56

