



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados



**APLICACIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE ESTRÉS
HÍDRICO DURANTE EL PERIODO PREFLORACIÓN-
FLORACIÓN DEL OLIVO (*OLEA EUROPAEA* L.):
INFLUENCIA SOBRE PARÁMETROS AGRONÓMICOS,
BIOQUÍMICO-FISIOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS**

Pierluigi Pierantozzi

Tesis
Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2012

**APLICACIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE ESTRÉS HÍDRICO
DURANTE EL PERIODO PREFLORACIÓN-FLORACIÓN DEL
OLIVO (*OLEA EUROPAEA* L.): INFLUENCIA SOBRE
PARÁMETROS AGRONÓMICOS, BIOQUÍMICO-FISIOLÓGICOS Y
PRODUCTIVOS**

Pierluigi Pierantozzi

Comisión Asesora de Tesis

Director: Dr. Damián Maestri
Asesores: Dr. Daniel Prieto (Codirector)
Dr. Hector Altube

Tribunal Examinador de Tesis

Dr. Hector Altube

Dr. Peter Searles

Dra. Claudia Vega

Presentación formal académica:

27 de Marzo de 2012.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de Córdoba

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresarles mi mayor gratitud al **Dr. Damián Maestri**, Director de Tesis, por brindarme la posibilidad de realizar este trabajo, por las oportunas sugerencias otorgadas en todo momento y los valiosos aportes durante la redacción de este manuscrito.

Al **Dr. Daniel Prieto**, Co-Director de Tesis, por sus consejos y aportes.

A la **Dra. Mariela Torres** por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de la Tesis y sin la cual este trabajo no hubiese sido posible.

Al **Ing. Agr. Eduardo Orecchia**, por la facilitarme las actividades de campo y de transferencias al sector productivo.

Al **MSc. Ing. Agr. Eduardo Martellotto** al brindarme generosamente su apoyo técnico y gestionar los instrumentos necesarios para la ejecución del ensayo a campo.

Al **Sr. Rubén Tame** por su ayuda en el diseño del sistema de riego a campo como así también por los implementos de riego durante todo el transcurso del ensayo.

Al **Sr. Carlos Martínez** por posibilitar investigar en su olivar y brindarme una cordial hospitalidad en todo momento.

A **Gustavo** y **Titi** por colaborar en las tareas de campo.

Al **Dr. Héctor Altube** por su asesoramiento científico y buena predisposición durante el desarrollo de la Tesis.

A la **Biól. Adriana Pérez** (IMBIV – CONICET - UNC) por su valiosa colaboración y apoyo técnico en los análisis de microscopía óptica.

Al **Ing. Agr. Facundo Vita** (INTA San Juan) y **Dr. Diego Gurvich** (IMBIV – CONICET – UNC) por facilitarme el medidor de fotosíntesis y cámara de Scholander, respectivamente.

A la **Biól. Natalia Moyetta** y **Dra. Laura Las Peñas** (IMBIV – CONICET - UNC) por la asistencia técnica brindada en lo referente a microcopía óptica.

A la **Biól. Romina Bodoira** por asistir en las tareas de laboratorio y soportarme en este último periodo de Tesis.

Al Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET) y al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA-Fac. Cs. Ex. Fis. Y Nat.) al permitirme utilizar las instalaciones y recursos para llevar a cabo este trabajo.

A CONICET, Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba, SECYT – UNC e INTA por la financiación concedida a este trabajo.

A todos mis **compañeros de trabajo** por compartir lindos momentos y brindarme su apoyo a lo largo de la tesis.

A mi **familia** por soportar todos estos años de lejanía y darme su amor incondicional.

A mis **amigos** por acompañarme en las buenas y en las malas.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar la influencia del aporte hídrico durante el período pre-floración - floración (mediados de Junio - final de Octubre) sobre parámetros agronómicos, bioquímico-fisiológicos y productivos en las dos variedades (*Arbequina* y *Manzanilla*) de olivo (*Olea europaea* L.) de mayor difusión en la provincia de Córdoba. Se analizó el efecto de tres niveles de riego en déficit, equivalentes al 75, 50 y 25 % de la evapotranspiración del cultivo (T75, T50 y T25, respectivamente), comparándolos con un tratamiento sin aporte de agua de riego (T0) y otro sin restricción hídrica (100 % de la evapotranspiración del cultivo, T100), durante dos ciclos de cultivo consecutivos. La restricción hídrica estuvo asociada a una serie de respuestas bioquímico-fisiológicas a nivel foliar, las cuales pueden interpretarse como mecanismos de adaptación al déficit hídrico. El déficit hídrico también se relacionó con un incremento en la concentración de aldehído malónico, y con una disminución de la concentración de pigmentos fotosintéticos, de la conductancia estomática y de la tasa de fotosíntesis neta. La restricción hídrica limitó severamente el crecimiento de brotes y el desarrollo floral durante el primer ciclo de cultivo analizado. Se observó una interacción significativa entre tratamiento de riego x ciclo de cultivo en casi todos los parámetros analizados. El déficit hídrico estuvo asociado a un acortamiento y un retraso de la plena floración. La relación número de frutos / número de flores fue significativamente más baja en los tratamientos T0 y T25 indicando que la disponibilidad de agua, además de limitar el desarrollo floral, también provoca una disminución en el cuajado de frutos. El aporte hídrico tuvo una marcada influencia sobre la productividad de los árboles; el efecto compensatorio no fue suficiente para equilibrar las producciones logradas en los diferentes tratamientos de riego. En relación al contenido y la composición del aceite y teniendo en cuenta el periodo de aplicación de la restricción hídrica, las diferencias observadas entre los tratamientos de riego deben atribuirse principalmente a su influencia sobre la carga frutal y maduración de los frutos, las cuales afectan la tasa de acumulación de aceite y su composición en ácidos grasos, como así también el contenido fenólico de los mismos.

Palabras clave: olivo, riego deficitario, pre-floración – floración, parámetros bioquímico-fisiológicos.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the influence of water stress during the pre-flowering - flowering period (middle June – ending October) on agronomic, biochemical-physiological and productive parameters in the two olive (*Olea europaea* L.) varieties (*Arbequina* and *Manzanilla*) most widespread in Cordoba province. In two consecutive growing seasons, the effect of three deficit irrigation levels, equivalent to 75, 50 and 25% of crop evapotranspiration (T75, T50 and T25, respectively) was analyzed comparing them with a treatment without irrigation (T0) and one without water stress (100% crop evapotranspiration, T100). Deficit irrigation was associated with some leaf-level biochemical-physiological responses, which can be interpreted as adaptation mechanisms of olive to water deficit. Water stress was also associated with increased malondialdehyde concentration, and decreased levels of photosynthetic pigments, stomatal conductance and net photosynthesis rate. Water-deficit conditions severely limited shoot growth and floral development. During the first growing season, a delayed onset of full bloom and a shorter flowering period were observed in the least irrigated treatments. The number of fruits / number of flowers ratio was significantly lower in treatments with higher water restriction (T0 and T25) indicating that water stress also causes a decrease in fruit set. Water supply had a marked influence on tree productivity: considering both *Arbequina* and *Manzanilla* varieties, the average fruit yield in T100 was 8.5 times higher than that obtained in T0. In relation to oil content and composition, and taking into account the period in which water restriction was applied, the differences among irrigation treatments should be mainly attributed to their influence on crop load and fruit maturation, which affected the rate of oil accumulation, as well as the fatty acid composition and the phenolic content of fruits. Data obtained in this work prove a marked water deficit during the winter-spring period in the olive growing area in central Argentina. The lowest yields obtained under total or severe water deprivation brings out the importance of irrigation during the pre-flowering - flowering period with a view to maximize the olive productivity.

Keywords: olive, water stress, pre-flowering – flowering period, biochemical-physiological parameters, productivity.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN GENERAL	1
LA OLIVICULTURA EN EL MUNDO Y EN ARGENTINA.....	1
LA OLIVICULTURA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.....	2
LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL OLIVO.....	4
RESPUESTAS MORFO-ANATÓMICAS, FISIOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DEL OLIVO A CONDICIONES HÍDRICAS LIMITANTES.....	7
EL RIEGO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DEL OLIVAR.....	9
OBJETIVOS.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
HIPÓTESIS DE TRABAJO	16
Hipótesis 1.....	16
Hipótesis 2.....	16
CAPÍTULO II – MATERIALES Y MÉTODOS	17
MATERIAL VEGETAL, SITIO DE ESTUDIO, ANÁLISIS DEL SUELO Y DEL AGUA DE RIEGO.....	17
IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO.....	19
PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN HOJAS.....	22
Prolina.....	22
Malonaldehído.....	23
Pigmentos fotosintéticos.....	23
Contenido y composición de ceras foliares.....	24
Espesor de cutícula foliar.....	25
CRECIMIENTO DE BROTES, FLORACIÓN, PRODUCTIVIDAD, ÍNDICE DE MADUREZ, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL ACEITE.....	26
Longitud de brotes apicales.....	26
Porcentaje de floración.....	26
Porcentaje de fecundación.....	26
Composición de ácidos grasos.....	27
Contenido de compuestos fenólicos totales.....	28
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	28
CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
PARÁMETROS EDÁFICOS Y CLIMÁTICOS DEL SITIO DE ESTUDIO.....	29
HUMEDAD DEL SUELO Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA.....	39
CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	45
INTERCAMBIO GASEOSO.....	49
PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN HOJAS.....	54
ESPESOR DE CUTÍCULA, CONTENIDO Y COMPOSICIÓN DE CERAS FOLIARES.....	62
FLORACIÓN, FRUCTIFICACIÓN Y PRODUCTIVIDAD.....	73

CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES GENERALES	96
PERSPECTIVAS DE LAS FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN OLIVO EN RELACIÓN AL RIEGO	100
BIBLIOGRAFÍA	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Características físicas y químicas del suelo correspondiente al área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina).....	30
Tabla 3.2. Temperaturas medias mensuales (°C), precipitaciones totales (mm), velocidad del viento (m/s), evapotranspiración de referencia (Eto, mm/día) y evapotranspiración del cultivo de olivo (Etc, mm/día) en Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo..	33
Tabla 3.3 Temperaturas medias mensuales (°C), precipitaciones totales (mm), velocidad del viento (m/s), evapotranspiración de referencia (Eto, mm/día) y evapotranspiración del cultivo de olivo (Etc, mm/día) en Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.....	34
Tabla 3.4. Temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed), precipitación y evapotranspiración de referencia (ETo) tomados por la estación meteorológica ubicada en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) en comparación con datos registrados en España (Gomez del Campo <i>et al.</i> , 2010) e Italia (Tognetti <i>et al.</i> , 2007)..	37
Tabla 3.5. Riego, precipitaciones efectivas, cantidad de agua total y porcentaje de agua en relación al tratamiento control ₁ , proporcionados a los olivos de los diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo.....	38
Tabla 3.6. Riego, precipitaciones efectivas, cantidad de agua total y porcentaje de agua en relación al tratamiento control ₁ , proporcionados a los olivos de los diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.....	38
Tabla 3.7. Contenido relativo de agua en hoja (CRAH, %) de olivo de los distintos tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo del cultivo	44
Tabla .3.8. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).....	49
Tabla 3.9. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hojas de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).....	51
Tabla 3.10. Contenidos de prolina (PRO) y malonaldehído (MDA) en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	55

Tabla 3.11. Contenidos de prolina (PRO) y malonaldehído (MDA) en hojas de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	56
Tabla 3.12. Contenido de pigmentos (mg/g) en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	60
Tabla 3.13. Contenido de pigmentos (mg/g) en hojas de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	61
Tabla 3.14. Espesor de la cutícula (μm) en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	63
Tabla 3.15. Espesor de la cutícula (μm) en hojas de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	64
Tabla 3.16. Contenido de ceras (CC, mg/g) y composición de alcanos (%) en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración, en dos ciclo de cultivo (2009 y 2010). VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	67
Tabla 3.17. Contenido de ceras (CC, mg/g) y composición de alcanos (%) en hojas de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración, en dos ciclo de cultivo (2009 y 2010). VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).....	68
Tabla 3.18. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros bioquímicos en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , durante el primer ciclo de cultivo.....	70
Tabla 3.19. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros bioquímicos en en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , durante el segundo ciclo de cultivo.....	71

Tabla 3.20. Características de la floración y fructificación de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo distintos tratamiento de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	75
Tabla 3.21. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros productivos en olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , durante los dos ciclos de cultivos.....	76
Tabla 3.22. Coeficientes de correlación de Pearson entre número de frutos/árbol y diferentes parámetros bioquímicos y productivos en olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , durante los dos ciclos de cultivos.....	79
Tabla 3.23. Eficiencia del uso del agua (EUA), rendimiento de frutos y aceite de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.....	80
Tabla 3.24. Características de la floración y fructificación de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	82
Tabla 3.25. Eficiencia del uso del agua (EUA), rendimiento de frutos y aceite de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo.....	83
Tabla 3.26. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.....	89
Tabla 3.27. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo.....	91
Tabla 3.28. Variabilidad expresada como porcentaje de la suma total de cuadrados de algunos parámetros bioquímico-fisiológicos y productivos de olivo, registrados en dos variedades (<i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i>) sometidas a diferentes tratamientos de riego en dos ciclos consecutivos de cultivo.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Valores de temperaturas medias (T. media) y máximas (T. max) y mínimas (T. min.) diarias registradas durante la aplicación de los tratamientos de riego en en el área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina), en el primer ciclo de cultivo.....	31
Figura 3.2. Valores de temperaturas medias (T. media) y máximas (T. max) y mínimas (T. min.) diarias registradas durante la aplicación de los tratamientos de riego en en el área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina), en el segundo ciclo de cultivo.....	32
Figura 3.3. Valores de precipitaciones efectivas, riego aplicado al tratamiento control ₁ , Evapotranspiración de referencia (Eto) y Evapotranspiración de cultivo aplicado al olivo (Etc), registrados en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo.....	35
Figura 3.4. Valores de precipitaciones efectivas, riego aplicado al tratamiento control ₁ , Evapotranspiración de referencia (Eto) y Evapotranspiración de cultivo aplicado al olivo (Etc), registrados en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.....	36
Figura 3.5. Variación de la humedad gravimétrica (%) en el perfil del suelo (0 – 90 cm) durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	40
Figura 3.6. Variación de la humedad gravimétrica (%) en el perfil del suelo (0 – 90 cm) durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	40
Figura 3.7. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. <i>Arbequina</i> , durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	41
Figura 3.8. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. <i>Arbequina</i> , durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	42
Figura 3.9. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. <i>Manzanilla</i> , durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	42
Figura 3.10. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. <i>Manzanilla</i> , durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	43
Figura 3.11. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. <i>Arbequina</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	46

Figura 3.12. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	46
Figura 3.13. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. <i>Arbequina</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	48
Figura 3.14. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. <i>Manzanilla</i> , durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.....	48
Figura 3.15. Espesor de la cutícula en hojas de olivo, var. <i>Arbequina</i> , provenientes de los distintos tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).....	65
Figura 3.16. Evolución de la floración en olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.....	74
Figura 3.17 Rendimiento de frutos de olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.....	81
Figura 3.18. Evolución de la floración del olivo, var. <i>Arbequina</i> y <i>Manzanilla</i> , bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS

Aj. Ajustado
ANOVA: Análisis de la varianza
BF: Base fresca
BS: Base seca
C29: Hidrocarburo de 29 átomos de carbono
C30: Hidrocarburo de 30 átomos de carbono
C31: Hidrocarburo de 31 átomos de carbono
C32: Hidrocarburo de 32 átomos de carbono
C33: Hidrocarburo de 33 átomos de carbono
C34: Hidrocarburo de 34 átomos de carbono
C35: Hidrocarburo de 35 átomos de carbono
Carot.: Carotenoides
CC: Capacidad de campo
Ce: Conductancia estomática
CG: Cromatografía gaseosa
CG-EM: Cromatografía gaseosa-espectrometría de masa
Cl-a: Clorofila a
Cl-b: Clorofila b
cm: Centímetro
cm³: Centímetro cúbico
COI: Consejo Oleícola Internacional
COT: Contenido orgánico total
CRAH: Contenido relativo de agua en hoja
DGC: Test de comparación de medias
DPAS: Déficit permisible de agua en el suelo
ds: DeciSiemens
Etc: Evapotranspiración del cultivo
Eto: Evapotranspiración de referencia
EUA: Eficiencia en el uso del agua
FAA: Formaldehído, alcohol etílico y ácido acético
FAO: Food and Agriculture Organization
Feof-a: Feofitina a
Feof-b: Feofitina b
FID: Flame ionization detector
Fn: Fotosíntesis neta
g: Gramo
h: Hora
ha: Hectárea
HG: Humedad gravimétrica
IM: Índice de madurez
Kc: Coeficiente del cultivo
Kg: Kilogramo
Kr: Coeficiente de referencia
L: Litro
m: Metro

m³: Metro cúbico
MDA: malonaldehído
mg: Miligramo
mL: Mililitro
mm: Milímetro
Mpa: Megapascal
N: Norte
n: Número de réplicas
n-alcanos: Alcanos de cadena lineal
nm: Nanometro
nMol: Nanomol
NO: Noroeste
NT: Nitrógeno total
O: Oeste
P/V: Peso/Volumen
p: Nivel de significación
Pe: Fósforo extractable
PFH: Peso fresco de hoja
PH: Peso húmedo
PHT: Peso de hoja túrgida
PMP: Punto de marchitez permanente
ppm: partes por millón
PS: Peso seco
PSH: Peso seco de hoja
r: Coeficiente de correlación
RAS: Relación de adsorción de sodio
RD: Riego deficitario
RDR: Riego deficitario regulado
RDS: Riego deficitario sostenido
S: Sur
V/V: Volumen/Volumen
var. Variedad
VF: Valores finales
VI: Valores iniciales
xg: Fuerza centrífuga relativa expresada como unidades de gravedad
μ: micras
μL: Microlitro
μm: Micrómetro
μMol: Micromol
Ψ_{hoja}: Potencial hídrico de hoja
Ψ_{tallo}: Potencial hídrico de tallo
%: Porcentaje

INTRODUCCIÓN

LA OLIVICULTURA EN EL MUNDO Y EN ARGENTINA

El olivo pertenece a la familia Oleaceae, que abarca especies, en su mayoría árboles y arbustos, distribuidas por las regiones tropicales y templadas del mundo. El género *Olea* posee unas 35 especies. *Olea europaea* L., que comprende los olivos cultivados y también los acebuches u olivos silvestres, es la única especie de la familia con fruto comestible (Rapoport, 2008).

El hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° y 45°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en regiones climáticas de tipo mediterráneo. El patrimonio de olivos cultivados en todo el mundo se estima en unos 1000 millones de árboles, que ocupan una superficie aproximada de 10 millones de hectáreas. El 98 % del total de la superficie cultivada corresponde a países de la cuenca del mar Mediterráneo; el 2 % restante se reparte entre unos pocos países del continente americano (principalmente Argentina), Asia oriental y Oceanía. A nivel mundial, la producción del olivar alcanza un promedio anual de 16 millones de toneladas de aceitunas, de las cuales aproximadamente el 90 % se destinan a la obtención de aceite, mientras que el 10 % restante se consumen elaboradas como aceitunas de mesa (Civantos, 2008).

Argentina se encuentra situada geográficamente en una franja latitudinal propicia para el desarrollo del olivo lo que permite contar con las condiciones climáticas (y también edáficas) adecuadas para el mismo. Merced a diferentes políticas de promoción y a la implementación de las leyes de diferimientos impositivos para emprendimientos industriales, agrícolas, ganaderos y turísticos (Leyes Nacionales de Promoción Agrícola 22.021, 22702 y 22975), el cultivo del olivo experimentó en los últimos años un crecimiento sostenido. A principios de la década del '90 nuestro país contaba con alrededor de 30.000 hectáreas implantadas, pero hacia fines de la década pasada había sobrepasado

las 100.000 hectáreas. Estas nuevas plantaciones se desarrollaron bajo los conceptos de la nueva olivicultura: elevada densidad de plantación, fertilización y gestión eficiente del riego, entre otros aspectos. A pesar de la introducción de nuevos cultivares, en general el panorama varietal continúa dominado por las variedades *Arbequina* y *Manzanilla*. La primera, de producción precoz y buen rendimiento graso, se utiliza exclusivamente para la elaboración de aceite, mientras que la segunda se considera una variedad doble propósito.

En relación a la superficie comprometida con el cultivo, las principales provincias productoras son Catamarca (24500 ha), La Rioja (20500 ha), San Juan (19500 ha), Mendoza (17500 ha), Córdoba (5000 ha) y Buenos Aires (2500 ha). En cuanto a los volúmenes de producción, según cifras del Consejo Oleícola Internacional (COI), Argentina aporta el 5% de la producción mundial de aceitunas de mesa y el 1 % de la producción de aceite de oliva. Aunque una buena parte de las mismas se destinan al mercado brasilero, en los últimos años se comenzó a incursionar en nuevos mercados, principalmente Estados Unidos, la Unión Europea y Japón.

LA OLIVICULTURA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

El olivo es el cultivo frutal con mayor superficie en la provincia de Córdoba. La producción se localiza principalmente en la región noroeste, en el departamento Cruz del Eje y en menor medida Ischilín, y en el Valle de Traslasierra, en las proximidades de la ciudad de Villa Dolores (departamentos San Javier y San Alberto) (Torres *et al.*, 2007).

La zona de producción de Cruz del Eje se encuentra ubicada en el ángulo noroeste de la provincia, entre 30° - 31° de latitud sur y 64° - 65° de longitud oeste, a 450 m sobre el nivel del mar. Pertenece a la región fitogeográfica del bosque Chaqueño (Cabrera, 1994).

El clima imperante en la región es templado seco, con vientos cálidos si corren del norte y frescos si son del sur. El mes de enero es el más cálido, mientras que julio es el más frío. El invierno normalmente no es riguroso presentando pocos días de heladas. En el verano se registran las mayores precipitaciones. La acumulación de las lluvias en el ciclo

primavero - estival es, en promedio, del orden de 420 mm, mientras que la acumulación en el ciclo otoño - invernal es de aproximadamente 130 mm. La humedad relativa promedio es de 53 %, siendo los meses de septiembre y octubre los de menor humedad. Los suelos de la región son heterogéneos, compuestos por arena arcillosa, pobres en nitrógeno, pero bien provistos en potasio y en calcio. En consecuencia, poseen textura liviana y su clasificación se encuadra en los denominados franco-arenosos. Debido a su escasez en materia orgánica son propicios a la erosión, lo que motiva extremo cuidado en su conservación, por cuanto el laboreo y los frecuentes vientos resultan conspiratorios. Por ser zona árida y de regadío, el pH en la mayoría de los casos supera el valor de 7; con un buen manejo el peligro de salinización no es alto.

La red hídrica superficial del departamento Cruz del Eje está controlada por la estructura geológica de la cuenca de captación, formada a partir de numerosos ríos y arroyos que nacen en las Sierras Grandes y se encauzan en fallas de dirección sur - norte; al llegar a la llanura los cursos se desvían hacia el noroeste y se infiltran en los sedimentos, sin alcanzar las Salinas. Los cursos principales son los correspondientes a los ríos Pichanas, Soto y Cruz del Eje. La suma de sus caudales medios es de 8.5 m³/segundo.

La provisión de agua para riego está determinada en gran medida por la acumulación en los embalses Cruz del Eje y Pichanas. En la mayor parte de las explotaciones agropecuarias productivas de la región la tecnología que predomina para la aplicación del agua de riego se basa en la energía gravitacional, realizándose mediante sistemas de riego por surco y por inundación. El aprovechamiento de aguas subterráneas mediante perforaciones también posibilita el riego de explotaciones agropecuarias destinadas a cultivos hortícolas, frutícolas y aromáticas. En particular, el olivar bajo riego representa el 4% del área total regada en la provincia y el 5 % del área regada de olivos a nivel nacional.

En Cruz del Eje - Ischilín se encuentran implantadas unas 5.000 ha de olivos. Se trata en su mayor parte de olivares tradicionales, con baja densidad de plantación (aproximadamente 100 plantas por hectárea). En promedio, el 70 % de la producción de

aceitunas se destina a la fabricación de aceite, siendo las variedades *Arbequina*, *Manzanilla* y *Frantoio* las más cultivadas para este propósito (Torres *et al.*, 2007).

Una serie de trabajos realizados en los últimos años (Torres, 2006; Torres y Maestri, 2006; Torres *et al.*, 2007, 2009) han indagado las cualidades de las principales variedades de olivo cultivadas en Córdoba, en relación a sus características botánicas, agronómicas y composición de sus aceites.

Los resultados de estos estudios contribuyeron a definir la tipicidad de los aceites de oliva producidos en la provincia, encontrándose que los mismos son afectados no sólo por una componente genotípica sino también ambiental. Estos estudios confirman la potencialidad de la región NO de la provincia como productora de olivo, al mismo tiempo que permitieron detectar falencias en los procesos productivos como la baja tecnificación de los sistemas de riego utilizados.

LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL OLIVO

El olivo se ha cultivado tradicionalmente en condiciones de secano. Es un cultivo capaz de sobrevivir a periodos prolongados de sequía intensa, reduciendo su potencial hídrico a valores extremadamente bajos (alrededor de -8 Mpa), lo cual le permite captar agua del suelo aún por debajo del punto de marchitez permanente (Orgaz y Fereres, 2008). No obstante esta notable capacidad de resistencia a la sequía, la productividad del olivo se ve afectada en forma negativa por la escasez de agua.

La práctica del riego puede incrementar considerablemente el rendimiento del olivar, aún con aportes de agua muy reducidos. Investigaciones en las que se compara la producción de secano y de riego en el olivo, indican que el crecimiento del fruto es influenciado notoriamente por la disponibilidad de agua en el suelo (Pastor *et al.*, 1999; Patumi *et al.*, 1999; Lavee y Wodner, 2004; Grattan *et al.*, 2006; Lavee *et al.*, 2007).

El crecimiento del fruto del olivo sigue una curva doble sigmoidea (Beltrán *et al.*, 2008), en donde se distinguen tres fases de crecimiento que pueden ser afectadas de diferente forma por la disponibilidad de agua. Durante la fase I, de crecimiento rápido, ocurre un notable aumento de tamaño debido principalmente a división celular. En esta fase se produce fundamentalmente el desarrollo de endocarpo (carozo), el que llega a ocupar hasta un 80 % del volumen de la aceituna. Por ello, un déficit hídrico durante la misma produce carozos más pequeños que los normales. Tras un periodo durante el cual el crecimiento se ralentiza o detiene y que coincide con el endurecimiento del carozo (fase II), el fruto experimenta un nuevo incremento de tamaño principalmente a causa de la elongación de las células del mesocarpo (fase III de crecimiento). Este proceso puede ser continuo o discontinuo, dependiendo en gran medida del estado hídrico de la planta. En esta fase el fruto alcanza su tamaño real y, al final de la misma, ocurre el enverado o cambio de color de la epidermis que marca el comienzo del periodo de maduración. La duración de este último es variable, siendo afectada por las condiciones agro-climáticas y las características varietales (Beltrán *et al.*, 2008).

Se presume que el olivo también es sensible al déficit hídrico durante la fase de desarrollo de las yemas florales. El estrés hídrico entre la brotación y seis semanas antes de la floración puede incrementar el aborto pistilar y reducir el número de flores por inflorescencia (Rallo y Cuevas, 2008; Rapoport *et al.*, 2012). Algunos antecedentes citados por estos investigadores indican que aquellas técnicas de cultivo que favorecen el desarrollo floral (entre ellas el riego precoz) podrían promover la capacidad fructífera del olivo al incrementar la producción de flores y el cuajado de frutos.

Se deduce entonces que las distintas fases de desarrollo del cultivo responden positivamente a aportaciones de agua complementarias a la lluvia. La pérdida de agua debida a la transpiración debe ser repuesta a los tejidos mediante la extracción de agua del suelo a través del sistema radical. Para alcanzar el máximo potencial de rendimiento, es necesario que el contenido de agua del suelo sea lo suficientemente elevado para reponer el que demanda la atmósfera. Esta cantidad de agua, junto a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como evapotranspiración máxima del cultivo (Etc). Para que la producción no se reduzca a consecuencia del déficit hídrico,

la misma debe ser satisfecha estacionalmente mediante el aporte de agua de lluvia y/o riego.

El conocimiento de la evapotranspiración es por lo tanto de fundamental importancia para calcular las necesidades hídricas del cultivo. El método más utilizado para determinar la Etc es el recomendado por la FAO (Allen *et al.*, 1998). Se calcula como el producto de tres términos: la evapotranspiración de referencia (Eto) en el área del cultivo, un coeficiente de cultivo (Kc) y un coeficiente relacionado al porcentaje de cobertura del cultivo (Kr). La Eto cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera. Si bien puede calcularse a partir de registros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar) obtenidos en el área del cultivo, éstos no siempre están disponibles para las distintas zonas de producción olivarera. La expresión de Penman-FAO es la que estima la Eto con mayor precisión. La expresión de Hargreaves es una simplificación de la anterior que sólo requiere datos de temperatura (Orgaz y Fereres, 2008).

El Kc expresa la relación entre la evapotranspiración de un cultivo que cubre plenamente el suelo y la Eto, y debe ser determinado experimentalmente. Para el olivo, los valores de Kc conocidos han sido calculados, en su mayor parte, para las zonas olivareras de la cuenca del mar Mediterráneo. Los datos obtenidos indican, por un lado, que el olivo consume una cantidad de agua sensiblemente inferior a la de la mayoría de los cultivos herbáceos de regadío. Por otra parte, el Kc del olivar no es constante a lo largo del año, presentando valores máximos en primavera y otoño y valores mínimos en verano (Orgaz y Fereres, 2008).

Estudios recientes realizados por Rousseaux *et al.* (2008, 2009) concluyeron que para la región noroeste de Argentina, durante los meses de invierno, un olivar maduro tiene un consumo de agua equivalente a 30 – 40 % de la Eto, es decir, valores de Kc comprendidos entre 0.30 y 0.40.

RESPUESTAS MORFO-ANATÓMICAS, FISIOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DEL OLIVO A CONDICIONES HÍDRICAS LIMITANTES

La estructura anatómica de la hoja del olivo se encuentra adaptada, en varios aspectos, a ambientes de elevada demanda evapotranspirativa. Debido a su tamaño relativamente pequeño, su disposición predominantemente vertical y la presencia de una gruesa cutícula cerosa, las hojas del olivo minimizan la radiación solar (Mariscal *et al.*, 2000; Rapoport, 2008). Los estomas, presentes sólo en el envés de las hojas, se encuentran protegidos por tricomas especiales, conocidos como escamas peltadas, que intervienen en la regulación de la temperatura foliar y reducen la pérdida de agua por transpiración (Connor, 2005). En consonancia con estas observaciones, Bosabalidis y Kofidis (2002) y Bacelar *et al.* (2004, 2006) han demostrado que en condiciones de déficit hídrico prolongado, el olivo desarrolla hojas más pequeñas e incrementa el número de estomas por unidad de superficie foliar. A nivel histológico, Bacelar *et al.* (2004, 2006) también observaron que las variedades de olivo mejor adaptadas al déficit hídrico presentan mayor esclerofilia, engrosamiento de la cutícula y del espesor de la capa de tricomas foliares.

En años recientes se han realizado numerosas investigaciones sobre la fisiología del olivo en donde se sintetizan los avances en el conocimiento del comportamiento de esta especie en relación a sus requerimientos hídricos (Moriana *et al.*, 2002; Sofó *et al.*, 2004 a, b; Connor, 2005; Connor y Fereres, 2005; Tognetti *et al.*, 2007; Sofó *et al.*, 2008).

El control estomático es señalado como uno de los principales mecanismos fisiológicos para optimizar el uso del agua en condiciones de estrés por sequía (Orgaz y Fereres, 2008). En este sentido, Fereres (1984) estudió el comportamiento estomático del olivo en condiciones de amplio suministro de agua. Las plantas sometidas a este experimento mostraron la mayor apertura estomática (máxima conductancia estomática) en las primeras horas de la mañana, y una disminución significativa en horas del mediodía. Puesto que la transpiración es directamente proporcional al déficit de presión de vapor, la mayor apertura estomática en horas de menor temperatura ambiente permite la entrada de CO₂ a un costo de transpiración menor que en horas de mayor temperatura. Este patrón de

apertura estomática permite al olivo maximizar la fotosíntesis por unidad de agua consumida.

El efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático fue estudiado por Tognetti *et al.* (2007). Estos investigadores observaron que las plantas de olivo sometidas a diferentes condiciones hídricas modulan la apertura estomática de acuerdo a los distintos niveles de humedad del suelo y a la demanda evaporativa.

Por su parte, Moriana y Fereres (2002) y Moriana *et al.* (2002) demostraron la existencia de una relación directa entre la conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis neta. El cierre estomático parcial supone que la tasa fotosintética del olivo, al mediodía, sea inferior a la de muchos cultivos herbáceos que crecen en climas similares. Sin embargo, esta limitación queda superada al considerar la naturaleza perenne del olivo, el cual, al vegetar todo el año, compensa la reducción de la fotosíntesis que ocurre en horas de alta demanda evaporativa.

En relación a los mecanismos bioquímico-fisiológicos involucrados en el mantenimiento del balance hídrico, se ha observado que la acumulación de sustancias osmóticamente activas constituye una respuesta rápida del olivo a cambios en el contenido de agua de los tejidos foliares (Sofo *et al.*, 2004a, 2008; Ben Ahmed *et al.*, 2009). Sofo *et al.* (2004a) también han determinado que bajo condiciones de estrés hídrico los árboles de olivo activan mecanismos de regulación osmótica a nivel del sistema radicular, lo que les permite incrementar la capacidad de extracción de agua del suelo. Entre las sustancias con actividad osmótica presentes en las hojas y raíces del olivo, se han detectado hidratos de carbono, ácidos orgánicos, cationes inorgánicos y aminoácidos. Entre éstos últimos, la prolina puede acumularse en elevadas concentraciones, sin generar deterioro en las estructuras celulares, contribuyendo en forma activa al mantenimiento del potencial osmótico de los tejidos.

El incremento tanto del espesor de la cutícula como de la proporción de ceras cuticulares es una respuesta común, observada en varias especies, que resulta de la adaptación a condiciones hídricas deficitarias (Cameron *et al.*, 2006; Franchini y

Hernández, 2006; Kim *et al.*, 2007; González y Ayerbe, 2010). Por su carácter hidrofóbico, las ceras cuticulares pueden desempeñar un papel importante en el mantenimiento del balance hídrico de los tejidos foliares a través del control de la velocidad de difusión del agua y solutos asociados. También se ha sugerido que la proporción y composición de ceras pueden afectar la topología de la hoja y la velocidad de conductancia epidérmica (Jencks y Ashworth, 1999). Patumi *et al.* (2002) han observado que, en condiciones de disponibilidad hídrica limitada, los frutos del olivo presentan un engrosamiento de la cutícula y del espesor de la capa cérica asociada. Bianchi *et al.* (1992, 1993) estudiaron la composición de las ceras, tanto en frutos como en hojas del olivo, encontrando una proporción elevada de compuestos alifáticos que, por su elevada hidrofobicidad, podrían constituir un barrera efectiva contra las pérdidas de agua por evaporación.

EL RIEGO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DEL OLIVAR

En un sentido amplio, el objetivo del riego consiste en evitar que el contenido de agua del suelo alcance un nivel umbral por debajo del cual el cultivo sufre déficit hídrico y la producción se reduce. Aunque el olivo tiene la capacidad de soportar largos periodos de sequía, generalmente esto conduce a una disminución de la fotosíntesis y, en última instancia, a limitaciones en el crecimiento y la producción (Rallo y Cuevas, 2008).

Se deduce entonces la necesidad de compensar las necesidades hídricas del cultivo en años de baja pluviometría o en aquellos periodos fenológicos que coinciden con disponibilidad de agua limitada.

En la olivicultura tradicional, se utilizan métodos de riego por inundación, como el riego por bordes, surcos y tazas, basados en última instancia en la energía gravitacional. Aunque constituye un sistema relativamente simple y de bajo costo, el riego por inundación resulta en una baja eficiencia debido a las pérdidas de agua que se generan por evaporación, percolación profunda y escurrimiento superficial.

En principio, la condición perennifolia del olivo permite la fotosíntesis en cualquier momento del año, siempre y cuando no concurren factores ambientales limitantes. Esta presunción ha conducido a proponer estrategias de riego deficitario sostenido que consisten en aplicar una cantidad de agua equivalente a un porcentaje reducido de la Etc a lo largo de toda la estación seca. En el riego de baja frecuencia, en cambio, la aplicación de agua se realiza, al alcanzar el déficit permisible de agua en el suelo (DPAS), con una dosis neta suficiente para llegar a la capacidad de campo. Luego de dicha aplicación, el suelo se deja secar hasta alcanzar nuevamente el DPAS y se reinicia el ciclo de riego. Mayores detalles acerca de estas estrategias de riego en el olivo se pueden obtener a partir de los trabajos realizados por Pastor (2005) y Orgaz y Fereres (2008).

Se ha mencionado anteriormente que los diferentes estadios fenológicos del olivo son afectados de distinta manera por la disponibilidad de agua. Interesa determinar cuáles son las necesidades estacionales de riego, no sólo para acrecentar la producción sino también para maximizar la eficiencia en el uso del agua. Una estrategia de riego apropiada para tal fin es el riego deficitario regulado (RDR). Este tipo de estrategia trata de adecuar los aportes hídricos al estado fisiológico del árbol y se basa en la reducción de dichos aportes en aquellos periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, cubriendo plenamente la demanda durante el resto del ciclo del cultivo.

La oportunidad de aplicación del RDR puede tener una incidencia notoria sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo. La mayor parte de las investigaciones sobre RDR se han llevado a cabo en países de la cuenca del mar Mediterráneo. En los mismos, el riego normalmente es suspendido durante los meses invernales debido a que las condiciones climáticas reinantes (precipitaciones concentradas en este periodo, bajas temperaturas y nubosidad permanente) conducen a bajos niveles de evapotranspiración. En consecuencia, los programas de riego se aplican fundamentalmente durante el periodo estival o primavera-estival.

Por el contrario el riego deficitario sostenido (RDS) é una estrategia en el que el cultivo es regado con menos del 100% de ETC durante la mayoría del año (Searles *et al.*, 2011).

Grattan *et al.* (2006) evaluaron la influencia de siete tratamientos de RDS, aplicados en el periodo primavera-estival, durante dos años consecutivos, en una plantación joven (30 meses) de muy alta densidad (1700 árboles por hectárea) de la variedad *Arbequina*. Durante el primer ciclo de producción analizado, el crecimiento vegetativo y el rendimiento de frutos incrementaron en manera curvilineares en relación al volumen de agua aplicado. Esta tendencia no se manifestó en el segundo periodo considerado siendo atribuido en parte al efecto de la alternancia de la producción (vecería) característica de esta especie.

Por su parte, Moriana *et al.* (2007) estudiaron el comportamiento de un olivar de baja densidad (69 árboles por hectárea) a aportaciones de agua equivalentes al 100 y 125 % de la Etc, frente a un tratamiento de riego deficitario. Estos investigadores no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el rendimiento de frutos y aceite, concluyendo que la productividad de un olivar de muy baja densidad, medida en función de la cantidad de agua aplicada, resulta inferior a la del cultivo en alta densidad.

Tognetti *et al.* (2006, 2007) analizaron el efecto de tres tratamientos de RDR (33, 66 y 100 % de la Etc) aplicados en el periodo comprendido entre el inicio del endurecimiento del endocarpo y el inicio de la maduración de los frutos. Considerando la producción en peso por unidad de superficie, observaron un incremento significativo en el rendimiento de frutos y aceite en función del volumen de agua recibido por cada tratamiento. Sin embargo, el número de frutos por árbol no presentó variaciones significativas entre los tratamientos, por lo que el crecimiento de la productividad fue asociado a un aumento en el peso de los frutos.

En un estudio realizado en Israel con olivos de 5 años de edad, Lavee *et al* (2007) evaluaron el efecto de siete tratamientos de riego deficitario aplicados en diferentes etapas fenológicas, a lo largo de un periodo prolongado (mediados de primavera – mediados de

otoño). Aunque el tamaño final de los frutos no fue afectado por la programación del riego, encontraron diferencias significativas en el desarrollo relativo de sus partes (endocarpo, mesocarpo) observando que la concentración del riego luego del endurecimiento del endocarpo y hasta 2 semanas antes de la cosecha, resulta en un incremento de la producción de frutos y aceite, estimada en base a kg/árbol.

Dabbou *et al.* (2010) examinaron el comportamiento de una plantación de alta densidad de la var. *Arbequina* cultivada en Túnez, bajo condiciones de estrés hídrico severo y moderado, frente a un tratamiento no estresado. Si bien la condición hídrica del cultivo no afectó el peso de los frutos, el porcentaje de aceite se redujo significativamente por efecto del estrés hídrico. En cuanto a la composición de los aceites, la dotación de agua aplicada tuvo escasa influencia sobre la mayor parte de los parámetros de calidad reglamentada, aunque el contenido de sustancias fenólicas mostró un incremento significativo en el tratamiento sin restricción hídrica.

En otro estudio realizado sobre una plantación de alta densidad de la var. *Coratina* cultivada en Italia, la aplicación de estrés hídrico moderado afectó el crecimiento vegetativo y el tamaño y número de frutos por árbol, disminuyendo significativamente la producción con respecto a un tratamiento sin déficit hídrico. No se observaron mayores diferencias en el rendimiento y la composición de los aceites (Palese *et al.*, 2010). Estos investigadores observaron, además, que la variedad estudiada presenta una gran plasticidad en los componentes de rendimiento analizados, los cuales se ajustaron estrechamente a la disponibilidad de agua en el suelo.

Finalmente, Martín-Vertedor *et al.* (2011) evaluaron la influencia del tamaño del árbol y de la carga frutal sobre el consumo de agua en una plantación de olivos de la var. *Morisca* cultivada en España. Los resultados del trabajo señalaron que aunque la reducción de la carga de frutos conlleva un menor consumo de agua, el efecto del volumen de la copa es de mayor significación. También pusieron en evidencia la baja tolerancia de esta variedad al déficit hídrico, especialmente a elevados niveles de carga frutal.

Los antecedentes reseñados hasta el momento, aunque constituyen sólo un resumen de los trabajos realizados en los últimos años, indican que las respuestas del olivar al RDR guardan relación con una serie de factores entre los cuales se destacan la dosis y la oportunidad de aplicación del riego, la variedad de olivo, la densidad de plantación y la edad de las plantas, entre otros.

Como ya se ha mencionado, las condiciones climáticas predominantes en la cuenca Mediterránea determinan, en gran medida, la aplicación de programas de riego durante el periodo estival o primavera-estival. Esta situación cambia radicalmente en las regiones dedicadas al cultivo del olivo en Argentina. La expansión de la olivicultura a regiones con distinto régimen climático, particularmente aquellas con estación invernal seca, no ha sido acompañada en forma suficiente por estudios tendientes a conocer la respuesta del cultivo a las nuevas condiciones agro-ecológicas. En particular, existen escasos conocimientos acerca del efecto del déficit hídrico durante el ciclo de pre-floración – floración, su posible influencia sobre mecanismos de adaptación de la especie, su biología reproductiva y en última instancia sobre la productividad del cultivo.

Un estudio llevado a cabo por Rousseaux *et al.* (2008) examinó la respuesta de un olivar (var. *Manzanilla*) de nueve años de edad a la suspensión del riego durante el invierno (mediados de julio – fines de agosto) en la provincia de La Rioja. Estos investigadores determinaron un estrés hídrico leve en los árboles no irrigados, aunque la conductancia foliar y la tasa fotosintética neta permanecieron con valores similares a los de un tratamiento irrigado ($K_c > 1$). Tampoco observaron diferencias entre los tratamientos en el rendimiento de frutos por árbol.

Por su parte, Correa-Tedesco *et al.* (2010) estudiaron el efecto de cinco niveles de riego, aplicados en dos años consecutivos durante todo el ciclo del cultivo, sobre parámetros de crecimiento, fisiológicos y productivos, en un olivar joven (var. *Manzanilla*), también en la provincia de La Rioja. Hacia el final del primer ciclo de cultivo, se registró un aumento significativo del crecimiento de brotes y del volumen de la copa en los tratamientos más irrigados ($K_c = 1$ y 1.15). El rendimiento de frutos mostró un

incremento hasta un Kc de 0.7-0.8, donde llegó a un umbral, en relación al aporte de agua de riego, sólo en el segundo ciclo de cultivo.

Searles *et al.* (2011) analizaron el consumo de agua por el cultivo de olivo en el NO de Argentina contrastándolo con el de la cuenca Mediterránea. Para la localidad de Aimogasta (La Rioja) estimaron un consumo de 70 – 75 % de la Eto bajo condiciones de riego óptimo, equivalente a 1100 – 1200 mm/año, en contraste con los 900 – 1000 mm/año requeridos para los países del Mediterráneo. Estos investigadores también postularon que el exceso de riego y las elevadas temperaturas de la primavera en La Rioja promueven un excesivo crecimiento vegetativo, por lo que el RDR en esta estación, además de permitir un ahorro de agua, podría contribuir a mejorar la relación entre crecimiento vegetativo y reproductivo.

Recientemente, Rapoport *et al.* (2012) llevaron a cabo un ensayo en macetas con plantas jóvenes de olivo aplicando RD desde el periodo invernal hasta el inicio del cuaje de los frutos. Los autores concluyen que el déficit hídrico durante el invierno no afecta la formación de las inflorescencias y las flores. La mayor reducción en los parámetros reproductivos evaluados ocurrió cuando la restricción hídrica se aplicó durante la formación de las inflorescencias y flores individuales, observándose además una disminución en la calidad del óvulo, lo cual según los autores podría ser atribuido a un estrés hídrico residual o a una reducción en el suministro de asimilados en las plantas estresadas. El déficit hídrico impuesto al final del desarrollo floral, si bien no afectó mayormente las estructuras florales, produjo limitaciones en los procesos de polinización y fertilización, ya que el cuaje de frutos y la producción fueron menor que en el tratamiento control. El estrés hídrico durante la floración e inicio del cuaje resultó bastante drástico, produciendo numerosas flores con pétalos secos y cerrados, que no fueron capaces de formar frutos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la influencia del aporte hídrico durante el periodo prefloración - floración sobre parámetros agronómicos, fisiológicos, bioquímicos y productivos del cultivo del olivo en la provincia de Córdoba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1- Analizar el efecto de tres tratamientos de riego deficitario, aplicados durante el periodo comprendido entre el final del crecimiento de los brotes apicales en el otoño y el final de la floración la siguiente primavera, sobre parámetros fisiológicos y bioquímicos en hojas de dos variedades de olivo (Arbequina y Manzanilla) cultivadas en Córdoba.

2- Evaluar la influencia de los tratamientos de riego sobre el crecimiento de brotes, la floración – fecundación – cuajado de frutos, y la productividad de los árboles.

3- Examinar las posibles relaciones entre el aporte hídrico, la maduración de los frutos y el contenido y la composición del aceite en las dos variedades de olivo estudiadas.

4- Aportar datos que contribuyan a establecer los requerimientos hídricos del olivo, durante el periodo prefloración – floración, para las condiciones agro-ecológicas del cultivo en la región NO de la provincia de Córdoba.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

HIPÓTESIS 1

El estrés hídrico severo durante el periodo pre-floración – floración desencadenará una serie de respuestas bioquímico-fisiológicas a nivel de las hojas. Se presume que las mismas pueden ocurrir de acuerdo a un patrón reversible y constituir mecanismos de rápida adaptación al déficit hídrico.

HIPÓTESIS 2

La baja disponibilidad de agua en el suelo durante la floración afectará negativamente a la producción del olivar. El aporte de agua entre el final del crecimiento de los brotes apicales en otoño y el final de la floración en la siguiente primavera podrá prolongar la duración del periodo de floración y provocar un incremento de la carga frutal al aumentar el porcentaje de floración y el cuajado de los frutos. Además, dicho aporte durante el periodo mencionado, podrá modificar la composición del aceite en función de posibles modificaciones en el patrón de maduración de los frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL VEGETAL, SITIO DE ESTUDIO, ANÁLISIS DEL SUELO Y DEL AGUA DE RIEGO

Las experiencias de riego se llevaron a cabo en una plantación comercial de olivos ubicada en el paraje Las Playas, en las proximidades de la ciudad de Cruz del Eje (30°39' S, 64°57' O).

Se trabajó con olivos (*Olea europaea* L.) pertenecientes a las variedades *Arbequina* y *Manzanilla*. La primera es la más abundante en la provincia de Córdoba. Es una variedad aceitera de origen español, considerada rústica tanto por su resistencia al frío como por su tolerancia a la salinidad. Es de floración abundante y prolongada. La maduración del fruto es escalonada, alcanzando un color negro al final de la misma. Es muy apreciada por su precoz entrada en producción, elevada productividad y buen rendimiento graso. La var. *Manzanilla* se considera poco vigorosa, de gran capacidad de adaptación a suelos pobres y zonas secas y frías. La época de floración y la entrada en producción son precoces, siendo una variedad apreciada por su elevada y constante productividad. Por la calidad de su pulpa es muy valorada para la elaboración de aceituna de mesa. Si bien su rendimiento graso es bajo, su aceite es considerado de buena calidad (Torres *et al.*, 2007).

Las plantas que se utilizaron para este trabajo poseen una edad aproximada de 70 años y se encuentran dispuestas en un marco de plantación de 10 x 10 m.

El sitio de estudio cuenta con agua para riego provista por el consorcio de riego del Dique Cruz del Eje y las napas freáticas se encuentran por debajo de los 100 m. A los fines de asegurar el suministro, la finca posee un embalse de acumulación con una capacidad aproximada de 5 millones de litros y una bomba de 35.000 l/h. Los análisis físico-químicos del agua suministrada al olivar se realizaron según la metodología propuesta por Ayers y Westcot (1985) y permitieron demostrar que la misma es apta para riego, con bajo riesgo

de salinización (conductividad eléctrica 0.20 ds/m) y de sodificación (relación de adsorción de sodio, RAS Aj. 1.4) del suelo.

En forma previa a la implementación de los tratamientos de riego, se realizaron dos calicatas en las proximidades de plantas de olivo con un desarrollo similar a las seleccionadas para el estudio. Se determinaron el pH en agua y la conductividad eléctrica (empleando relaciones suelo : agua de 1 : 2,5), el carbono orgánico total (COT, Walkey y Black), el nitrógeno total (NT, semi-micro-Kjeldhal) y el fósforo extractable (Pe, Bray y Kurtz), de acuerdo a metodologías propuestas por Black (1965), Bremmer (1996) y Bray y Kurtz (1945). El contenido de materia orgánica se cuantificó según Vargas *et al.* (2009).

El contenido de humedad equivalente a la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) se evaluaron utilizando el método de la membrana de presión (Puertas, 2009).

Desde mediados del mes de junio y hasta principios de noviembre, a intervalos de 20 días aproximadamente, se realizaron determinaciones de humedad del suelo extraído mediante barreno a 1 m de distancia del tronco de los árboles seleccionados, a la profundidad de 0 a 0.9 m. Las muestras de suelo (100 g) se pesaron y colocaron en estufa a 80 °C durante 72 h. La humedad gravimétrica (HG) se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$HG = \left(\frac{PH - PS}{PS} \right) \times 100$$

Donde, PH y PS representan el peso húmedo y el peso seco de las muestras de suelo, respectivamente.

IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO

El suministro de agua a los árboles se llevó a cabo empleando riego por goteo mediante un sistema anular que permite la variación del caudal en función del tratamiento involucrado.

La programación del riego se realizó siguiendo la metodología propuesta por Allen *et al.* (1998) utilizando una simplificación del método del balance hídrico. Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{tc} = E_{To} \times K_c \times K_r$$

donde E_{To} es la evapotranspiración de referencia, K_c es el coeficiente de cultivo, y K_r el coeficiente de reducción por superficie sombreada.

La E_{To} se midió utilizando un tanque de evaporación tipo A colocado a corta distancia del área experimental y el coeficiente de tanque (K_{pan}) propuesto por Allen *et al.* (1998). Para el período comprendido entre abril y agosto, se utilizaron los K_c ($K_c = 0.4$) sugeridos para el cultivo de olivo en la provincia de La Rioja (Rousseaux *et al.*, 2008). Para el resto del año, se emplearon los valores propuestos por Girona *et al.* (2002) ($K_c = 0.68$). Los valores de K_r se calcularon utilizando la relación propuesta por Fereres *et al.* (1981). Siendo los diámetros medios de copa en ambas variedades todos mayores a 8m, se utilizó un K_r de 1. En el sitio de estudio se dispuso de una estación meteorológica que permitió obtener datos de temperatura ambiente, pluviometría, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, los cuales también se emplearon para calcular E_{To} utilizando la expresión de Penman-FAO (Orgaz y Fereres, 2008). Estas actividades se realizaron desde comienzos del año 2007. A partir del año 2008, se comenzó con la aplicación de distintos tratamientos de riego deficitario (RD) los cuales se definieron de la siguiente manera:

Tratamiento control₁ (T100): Los árboles se regaron todo el año según las completas necesidades teóricas (100 % de la Etc).

Tratamientos T75, T50 y T25: Durante el periodo comprendido entre el final del crecimiento de los brotes apicales en otoño y el final de la floración en la siguiente primavera, los árboles recibieron aportaciones de agua de riego equivalentes al 75, 50 y 25 % de la Etc. El resto del año fueron regados según las completas necesidades teóricas.

Tratamiento control₂ (T0): Durante el periodo comprendido entre el final del crecimiento de los brotes apicales en otoño y el final de la floración en la siguiente primavera, los árboles recibieron solamente el agua aportada por las precipitaciones. El resto del año fueron regados según las completas necesidades teóricas.

En cada árbol se implementaron cuatro anillos de riego, excepto en los árboles correspondientes al T0 que presento solamente dos. Durante el periodo de restricción hídrica se utilizaron dos anillos, mientras que los otros dos fueron implementados durante el resto del periodo del ciclo del cultivo y, la selección de cada par de anillos, fue controlada por microválvulas. Los anillos correspondientes a los diferentes tratamientos de déficit hídrico tuvieron goteros tipo botón auto-compensados de 4 y 2 L/h en función del tratamiento aplicado. Los anillos utilizados en el resto del año tuvieron goteros integrados de 3 L/h. Las líneas fueron reemplazadas cada año para evitar heterogeneidad en la lámina de aplicación de agua, debido al deterioro de las mismas.

Estos tratamientos se aplicaron durante 2009/2010 (primer ciclo de cultivo) y 2010/2011 (segundo ciclo de cultivo). El ciclo de cultivo 2008/2009, se utilizó como un periodo de adaptación de las plantas a las condiciones hídricas determinadas por cada uno de los tratamientos. Los datos obtenidos no fueron incluidos en la evaluación de los resultados. La aplicación de los tratamientos de riego se inició, en ambos ciclos de cultivo y variedades, el 21 de junio y se finalizó, en las dos variedades, el 24 de octubre para los tratamientos T100, T75, T50, T25, y el 29 de octubre para el tratamiento T0 en el primer ciclo de cultivo. La aplicación de todos los tratamientos en el segundo ciclo de cultivo, en ambas variedades, culminó el 4 de noviembre.

Para cada combinación tratamiento de riego x variedad se seleccionaron 3 parcelas experimentales formadas por 6 árboles cada una, utilizándose los dos centrales como unidades de medición y los extremos como bordura.

Durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego se determinaron semanalmente el potencial hídrico xilemático (Ψ_{tallo}) y algunos parámetros de intercambio gaseoso (conductancia estomática, C_e y fotosíntesis neta, F_n). Las mediciones se efectuaron en días con cielo totalmente despejado, concentrándose las mismas en horas cercanas al mediodía solar.

Para la determinación del Ψ_{tallo} se seleccionaron dos tallos por árbol con 6 hojas totalmente expandidas, sanas y sombreadas. Los mismos se cubrieron previamente (1 hora de antelación) con bolsas impermeables de papel de aluminio. Las mediciones se llevaron a cabo de acuerdo al protocolo propuesto por Shackel *et al.* (2000), empleando una cámara de presión marca Bio Control, Argentina, y nitrógeno como gas inerte.

Las determinaciones de intercambio gaseoso se realizaron sobre 4 hojas por árbol, completamente expandidas, sanas y expuestas al sol, en dos árboles por parcelas, empleando un analizador infrarrojo de gases portátil (Modelo LCpro+, ADC, BioScientific Ltd.), de acuerdo a la metodología propuesta por Rousseaux *et al.* (2008).

El estado hídrico de las plantas también se cuantificó mediante el contenido relativo de agua en hoja (CRAH) de acuerdo a la metodología propuesta por Puertas (2009). Las mediciones se realizaron en días con cielo totalmente despejado, entre las 10:00 h y las 12:30 horas sobre cuatro hojas por árbol, totalmente expandidas, sanas y expuestas al sol. Se separaron las hojas de la planta y se introdujeron inmediatamente en un tubo de vidrio con agua destilada, previamente pesado, teniendo la precaución de que el pecíolo quedara sumergido. Los tubos se pesaron nuevamente y se determinó, mediante diferencia de pesadas, el peso fresco de hoja (PFH). Posteriormente, los tubos se dejaron durante 24

horas bajo luz tenue, se retiraron las hojas, se eliminó el agua adherida exteriormente y se pesaron éstas últimas obteniéndose el peso de hoja túrgida (PHT). Finalmente las hojas se llevaron a estufa a 70° C hasta peso seco constante (PSH) (aproximadamente 48 h). El valor de CRAH se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRAH = \left(\frac{PFH - PSH}{PHT - PSH} \right) \times 100$$

PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN HOJAS

En cada ciclo de cultivo analizado (2009/2010 y 2010/2011), antes del comienzo y al finalizar la aplicación de los tratamientos de riego, se recolectaron 6 lotes de hojas por árbol (50 g cada uno) a partir del extremo apical de las ramas seleccionadas. De cada lote, se separó una porción de 5 g, se liofilizó y trituró en mortero con nitrógeno líquido. El polvo obtenido se congeló a -20 °C y se utilizó para determinar el contenido de prolina, malonaldehído (MDA) y pigmentos fotosintéticos siguiendo los protocolos propuestos por Sofo *et al.* (2004a) y Wannaz y Pignata (2006), con algunas modificaciones.

PROLINA

Una alícuota de 0.5 g del material congelado se mezcló con 5 mL de solución de ácido sulfosalicílico (3 %, P/V). La mezcla se colocó en tubo de vidrio herméticamente cerrado y se calentó en baño termostatzado a 100 °C durante 30 minutos. Se dejó enfriar y se centrifugó a 2000 *xg* durante 5 minutos a temperatura ambiente. Una alícuota de 200 µL del sobrenadante se mezcló con 400 µL de agua destilada y 2 mL de una solución compuesta por ninhidrina (0.5 g), ácido acético glacial (30 mL) y agua destilada (20 mL). La mezcla de reacción se calentó a 100 °C durante 1 hora. Se dejó enfriar y se agregaron 6 mL de tolueno. La mezcla se agitó y separó en ampolla de decantación. Se recuperó la fase orgánica (tolueno) conteniendo el cromóforo y se midió su absorbancia a 520 nm, utilizando tolueno como blanco de reacción. La concentración de prolina se calculó a partir

de una curva de calibración construida con concentraciones conocidas del estándar (L-prolina).

Malonaldehído

Una alícuota de 0.2 g del material congelado se mezcló con 10 mL de solución de ácido tiobarbitúrico (0.5 %, P/V) y ácido tricloroacético (20 %, P/V). La mezcla de reacción se calentó a 100 °C durante 30 min, se enfrió rápidamente con baño de hielo (0 °C) y se centrifugó a 1000 xg durante 10 minutos. El sobrenadante se filtró a través de papel Whatman N° 1 y se midió su absorbancia a 532 y 600 nm, empleándose un coeficiente de extinción igual a 155 nanomoles⁻¹. cm⁻¹. El contenido de MDA se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$MDA = \frac{\left(\frac{A532 - A600}{155} \right) \times 0.005}{\text{peso de la muestra}}$$

PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS

El material vegetal congelado (100 mg) se homogeneizó en 10 mL de etanol al 96% V/V. Posteriormente se separó el sobrenadante y en él se midió la absorbancia a 470, 665 y 649 nm para la cuantificación de carotenoides y clorofilas a y b (Carot., Cl-a, Cl-b) respectivamente, y a 666 y 654 nm para la cuantificación de feofitinas a y b (Feof-a, Feof-b) previo tratamiento con HCl. Los resultados se expresaron como mg.g⁻¹ (peso seco).

$$Cl - a \text{ mg / L} = (13.65 \times A665) - (5.7 \times A649)$$

$$Cl - b \text{ mg / L} = (27.79 \times A649) - (7.6 \times A665)$$

$$Feo - a \text{ mg / L} = (23.4 \times A666) - (7.64 \times A654)$$

$$Feo - b \text{ mg / L} = (35.2 \times A654) - (16.1 \times A666)$$

$$Carot\ mg/L = \frac{[(1000 \times A_{470}) - ((Cl - a \times 2.05) - (Cl - b \times 114.8))]}{245}$$

CONTENIDO Y COMPOSICIÓN DE CERAS FOLIARES

Para la extracción de las ceras cuticulares se utilizaron 10 g de hojas enteras. Las mismas se colocaron en un Erlenmeyer de 250 mL de capacidad y se cubrieron con 100 mL de cloroformo. Se dejaron en contacto con el disolvente durante 1 minuto y posteriormente se filtró el mismo a través de papel Whatman N° 1. El proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente (22 – 25 °C). La fase líquida filtrada se concentró en evaporador rotatorio (40 °C) hasta completa eliminación del disolvente y el contenido de ceras se cuantificó por gravimetría (Bianchi *et al.*, 1993).

Para el análisis de la composición de hidrocarburos, una alícuota (0.1 g) del extracto obtenido se diluyó en 1 mL de cloroformo y se sembró en una placa cromatográfica preparativa (20 x 20 cm) de sílica gel (0.5 mm de espesor) utilizando n-hexano como fase móvil. Una vez finalizado el desarrollo de la placa cromatográfica, se extrajo de la cuba y se colocó bajo campana hasta completa evaporación del disolvente. Posteriormente, la placa se reveló con vapores de yodo. La fracción de hidrocarburos se identificó contra patrón de n-eicosano, se removió de la placa y se resuspendió en n-hexano (1 mL) para su análisis mediante cromatografía gaseosa (CG) y CG – espectrometría de masa (CG – EM), bajo las siguientes condiciones:

CG: Se utilizó una columna capilar (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm de espesor de fase) VF - 5ms (5 % fenil, 95 % polidimetilsiloxano); gas portador, nitrógeno (1 mL/min); temperatura de horno programada desde 70 hasta 300 °C (4 °C/min); temperaturas de inyector y detector (FID), 320 °C.

GC - EM: se utilizó una columna capilar (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm de espesor de fase) HP 5 (5 % fenil metil siloxano); gas portador, helio (1 mL/min). Las temperaturas de horno, inyector y detector fueron las mismas que las utilizadas en el análisis por GC.

Los hidrocarburos se identificaron por comparación de sus tiempos de retención relativos con respecto a patrones corridos bajo idénticas condiciones, por comparación con datos de espectros de masa obtenidos de compuestos puros (estándares) de referencia y datos publicados (Bianchi *et al.*, 1993).

ESPESOR DE CUTÍCULA FOLIAR

Para el estudio se emplearon hojas enteras recolectadas antes del inicio de los diferentes tratamientos de riego y al final de los mismos. Las hojas fueron fijadas en FAA (formaldehído puro, etanol 96°, ácido acético y agua destilada) a temperatura ambiente durante 48 horas. Luego de lavar con agua común a corriente continua durante 1 hora, las muestras se deshidrataron con una serie ascendente de etanoles (50 °, 60 °, 70 °, 80 °, 90 °, 95 ° y 100 °), durante 30 minutos en cada una, y luego se dejaron hasta el día siguiente en butanol puro. Posteriormente, las muestras se clarificaron realizando dos pasajes en xilol puro y finalmente se incluyeron en Paramat BDH. Se realizaron cortes transversales seriados de 8 a 10µm de espesor con micrótopo de rotación tipo Minot, de la parte apical, central y basal de la hoja. Posteriormente, estos cortes se colocaron en portaobjetos con agua destilada y se estiraron, cuidadosamente, sobre una platina termoestabilizada a 35 - 37°C. Finalmente, éstos fueron coloreados con una mezcla de azul astral y fucsina básica (Kraus *et al.*, 1998) y montados con bálsamo de Canadá artificial. Las observaciones y las fotomicrografías fueron obtenidas con un fotomicroscopio Axiophot Zeiss.

CRECIMIENTO DE BROTES, FLORACIÓN, PRODUCTIVIDAD, ÍNDICE DE MADUREZ, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL ACEITE

En cada árbol seleccionado, correspondiente a cada combinación tratamiento de riego x variedad, se marcaron 6 ramas que contenían en promedio 70 - 80 inflorescencias. En las mismas, se determinaron los parámetros que se enuncian a continuación.

LONGITUD DE BROTES APICALES

Desde el inicio de la brotación y en forma semanal se midió el largo de brotes apicales marcándolos en la última yema formada para diferenciarlos del crecimiento del ciclo anterior (Selles *et al.*, 2006).

PORCENTAJE DE FLORACIÓN (NÚMERO DE FLORES/INFLORESCENCIA)

Se realizaron dos determinaciones durante el periodo de floración, a saber: cuando 3 - 5 % de las flores se encontraban abiertas (inicio de la floración) y cuando el 90 % de las flores tenían sus corolas próximas a desarticularse (final de la floración).

PORCENTAJE DE FECUNDACIÓN (NÚMERO DE FRUTOS/INFLORESCENCIA)

Se estimó en base al número de frutos/inflorescencia y al porcentaje de frutos respecto de las flores presentes, después de los 30 días de la fecundación registrada en cada tratamiento.

Al inicio del período de cosecha (principios de marzo), a partir de cada uno de los árboles seleccionados, se recolectó manualmente la totalidad de los frutos, determinándose la **productividad** en base a la cantidad de frutos (kg) por árbol.

Se seleccionaron aleatoriamente 3 lotes de frutos (500 g cada uno) por árbol en los cuales se determinó el índice de madurez de acuerdo a la metodología propuesta por Beltrán *et al.* (2008). De cada lote, se tomaron 100 frutos al azar y se clasificaron en las 8 clases o categorías que se detallan a continuación:

Clase 0: Piel verde intenso.

Clase 1: Piel verde-amarillento.

Clase 2: Piel verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto. Inicio de envero.

Clase 3: Piel rojiza o morada en más de la mitad del fruto. Final de envero.

Clase 4: Piel negra y pulpa blanca.

Clase 5: Piel negra y pulpa morada sin llegar a la mitad de la pulpa.

Clase 6: Piel negra y pulpa morada sin llegar al hueso.

Clase 7: Piel negra y pulpa morada totalmente hasta el hueso.

El **índice de madurez (IM)** se obtuvo en base a la siguiente fórmula:

$$IM = \frac{[(A \times 0) + (B \times 1) + (C \times 2) + (D \times 3) + (E \times 4) + (F \times 5) + (G \times 6) + (H \times 7)]}{100}$$

Siendo A, B, C, D, E, F, G y H, el número de frutos de las clases 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, respectivamente.

A partir de cada lote de frutos, una alícuota de 100 g se trituró en molino de cuchillas, se liofilizó y conservó a -20 °C. El material liofilizado (10 g) se sometió a extracción continua sólido-líquido en equipo Soxhlet, durante 10 horas, utilizando n-hexano como disolvente. El **contenido de aceite** se cuantificó por diferencia de pesos previo y posterior a la extracción (AOCS, 1998).

La **composición de ácidos grasos** de los aceites se determinó por cromatografía gaseosa (CG). Los aceites crudos (0.5 g) se saponificaron con 5 mL de solución de KOH 0.5 N en metanol mediante reflujo durante 5 min. A la mezcla de reacción se le adicionaron 15 mL de solución de cloruro de amonio/ácido sulfúrico en metanol y se llevó a reflujo durante 3 minutos. Se dejó enfriar y se particionó con 10 mL de n-hexano. Se recuperó esta última fase, se secó con Na₂SO₄ anhidro, se filtró (Whatman N° 1) y

concentró en evaporador rotatorio a 40 °C. La mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos se analizó en una columna de fase VF-23ms, de 30 metros de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 μ de espesor de fase. Se empleó nitrógeno como gas portador (1 mL/min); temperatura de horno programada desde 180 hasta 220 °C (2 °C/min); temperaturas de inyector y detector (FID), 250 °C. Los ácidos grasos se identificaron por comparación de sus tiempos de retención relativos con respecto a patrones corridos bajo idénticas condiciones y datos tomados de bibliografía (Torres *et al.*, 2009).

CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

Una alícuota de 1 g de material liofilizado se extrajo, mediante agitación continua durante 30 minutos en oscuridad, con 80 mL de metanol : agua (80 : 20, V/V). La fase líquida se filtró (Whatman N° 1) y se sometió a lavados sucesivos (40 mL x 3) con n-hexano, utilizando una ampolla de decantación. Se recuperó la fase hidro-metanólica, se filtró a través de filtro de nylon de 0.45 μm y se concentró hasta sequedad en evaporador rotatorio bajo atmósfera de nitrógeno a una temperatura inferior a los 40 °C. El residuo se disolvió en metanol. La cuantificación del contenido de fenoles totales se llevó a cabo con el reactivo de Folin-Ciocalteu mediante lectura espectrofotométrica a 725 nm (Vázquez-Roncero *et al.*, 1973). La concentración se calculó a partir de una curva de calibración construida con concentraciones conocidas del estándar (ácido cafeico).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

La base informática utilizada fue el programa INFOSTAT versión 2011. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varianza (ANOVA). En aquellos casos en donde se observaron diferencias estadísticamente significativas, se utilizó un test paramétrico de comparación múltiple (Fisher y DGC). Asimismo se realizó un ANOVA con interacción entre las fuentes de variación tratamiento, variedad y ciclo de producción. Para establecer correlaciones entre las variables analizadas se empleó el test de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PARÁMETROS EDÁFICOS Y CLIMÁTICOS DEL SITIO DE ESTUDIO

Los análisis indicaron que la profundidad del suelo correspondiente al sitio de estudio se encuentra entre 60 y 65 cm. Los mismos corresponden a la clasificación Haplustol típico, con texturas franco-arenosas en los horizontes superficiales y franco-limosas en los más profundos (Tabla 3.1).

La humedad equivalente a la capacidad de campo correspondió al contenido de agua de la muestra en equilibrio con una presión de 0.03 MPa, registrándose para el perfil un valor promedio de 0.24 g/cm^3 que corresponde al 17.7%. El punto de marchitez permanente (PMP) correspondió al contenido de agua de la muestra en equilibrio con una presión de 1.5 MPa; el valor promedio para el perfil fue de 0.131 g/cm^3 que corresponde al 9.73%.

Durante el primer y el segundo ciclo de cultivo analizados, la temperatura media mínima mensual más baja se registró durante el mes de julio ($2.6 \text{ }^\circ\text{C}$); la temperatura media máxima más alta se obtuvo en enero ($32.3 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figuras 3.1 y 3.2). En ambos ciclos de cultivo, las precipitaciones efectivas fueron escasas y se concentraron en los meses estivales, registrándose un total de 573.5 mm (año 2009) y 603.2 mm (año 2010) anuales totales. La humedad relativa fue de 52.3 % (2009) y 53.5 % (2010) (Tablas 3.2 y 3.3). En ambos ciclos de cultivo, hacia el final de la estación invernal, se registraron temperaturas máximas y mínimas extremas coincidiendo con un fenómeno local conocido como “Tormenta de Santa Rosa”. Este evento se produce por un aumento de la radiación solar en superficie y un cambio en la posición de los sistemas de circulación atmosférica global que favorecen la entrada de aire cálido y húmedo desde el norte. Las temperaturas máximas referidas se registraron los días 26 ($36.8 \text{ }^\circ\text{C}$, año 2009) y 28 ($30.2 \text{ }^\circ\text{C}$, año 2010) de agosto, y coincidieron con una mayor demanda evaporativa del cultivo.

Tabla 3.1. Características físicas y químicas del suelo correspondiente al área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina).

Parámetro	Perfiles			
	A1 y A3	Bw	BC	C
Profundidad	0-25	30-40	50-60	70-80
Materia orgánica (%)	2.65 ± 0.11	1.68 ± 0.21	1.02 ± 0.07	0.66 ± 0.05
Nitrógeno total (%)	0.15 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.01
Nitrógeno de nitrato N-NO ₃ (ppm)	12 ± 0.9	7.0 ± 1.0	5.7 ± 0.8	4.8 ± 0.9
Fósforo extractable P Bray 1 (ppm)	22 ± 1.4	17 ± 0.8	6 ± 0.8	3 ± 0.4
Arena muy gruesa (1-2 mm)	7.45 ± 0.31	6.69 ± 0.22	----	4.05 ± 0.35
Arena gruesa (500 -1000μ)	8.21 ± 0.31	7.51 ± 0.31	----	5.02 ± 0.21
Arena media (250-500μ)	15 ± 0.06	11.4 ± 0.28	----	13.5 ± 0.22
Arena fina (100-250μ)	18 ± 0.45	13.0 ± 0.22	----	12.8 ± 0.28
Arena muy fina (50-100μ)	15 ± 0.11	11.2 ± 0.35	----	12.7 ± 0.45
Limo grueso (20-50μ)	18 ± 0.19	25.1 ± 0.55	----	43.7 ± 0.61
Limo fino (2-20μ)	9 ± 0.07	10.2 ± 0.41	----	6.45 ± 0.72
Arcilla (<2μ)	10 ± 0.85	15.5 ± 0.07	----	2.14 ± 0.15
pH	7.86 ± 0.32	7.93 ± 0.24	8.00 ± 0.22	8.55 ± 0.14
Conductividad eléctrica (dS/m)	1.5 ± 0.05	0.9 ± 0.02	0.8 ± 0.01	0.8 ± 0.03

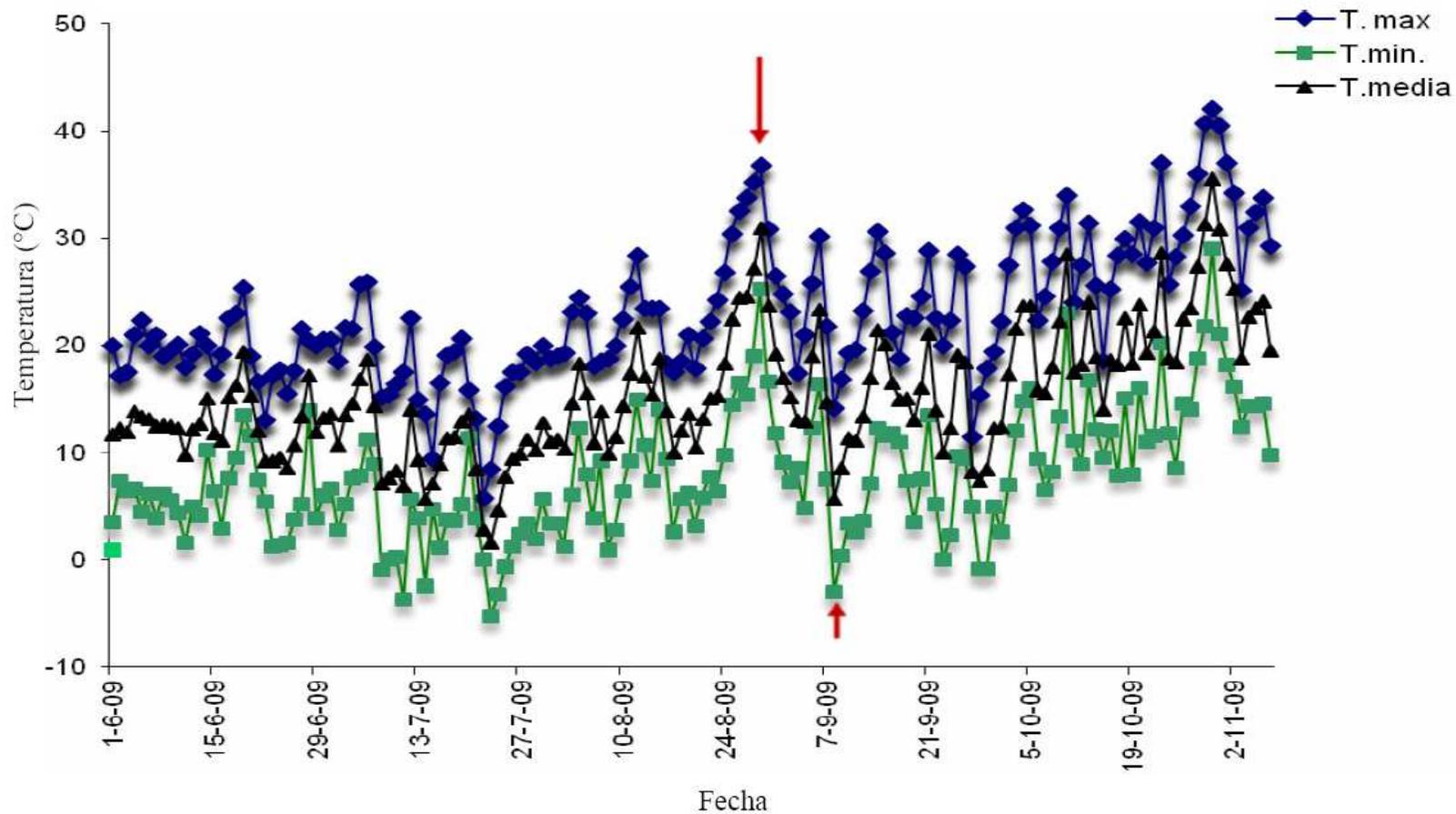


Figura 3.1. Valores de temperaturas medias (T. media) y máximas (T. max) y mínimas (T. min.) diarias registradas durante la aplicación de los tratamientos de riego en en el área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina), en el primer ciclo de cultivo.¹

¹ Las flechas de color rojo indican temperaturas máximas y mínimas extremas registradas durante el final del periodo invernal de aplicación del tratamiento de estrés hídrico

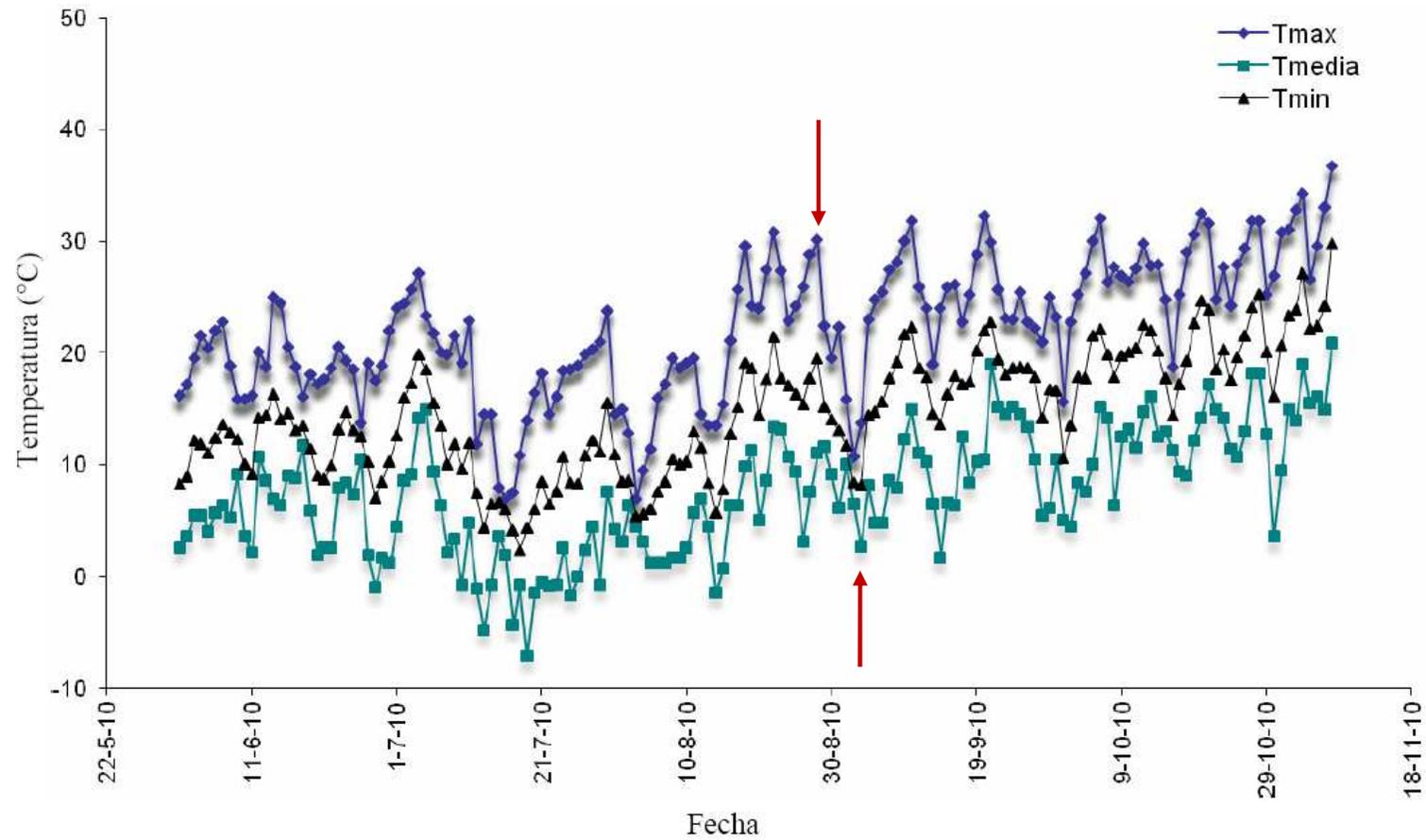


Figura 3.2. Valores de temperaturas medias (T. media) y máximas (T. max) y mínimas (T. min.) diarias registradas durante la aplicación de los tratamientos de riego en el área de estudio (Paraje Las Playas, Cruz del Eje, Córdoba, Argentina), en el segundo ciclo de cultivo.²

² Las flechas de color rojo indican temperaturas máximas y mínimas extremas registradas durante el final del periodo invernal de aplicación del tratamiento de estrés hídrico

Tabla 3.2. Temperaturas medias mensuales (°C), precipitaciones totales (mm), velocidad del viento (m/s), evapotranspiración de referencia (Eto, mm/día) y evapotranspiración del cultivo de olivo (Etc, mm/día) en Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo.

Meses	Temperatura	Precipitaciones	Velocidad del viento	Eto	Etc
Abril	21.8	26.6	2.43	3.93	2.67
Mayo	16.1	19.1	1.96	2.54	1.01
Junio	12.6	0	2.47	2.36	0.95
Julio	10.2	16	2.05	2.16	0.87
Agosto	16.6	0	2.62	3.55	1.42
Septiembre	14.3	26	2.95	4.10	2.79
Octubre	21.6	5.4	3.05	6.09	4.14
Noviembre	25.2	30	2.86	7.03	4.78
Diciembre	25.0	117	2.54	6.28	4.27
Enero	26.9	35.6	2.5	7.10	4.83
Febrero	25.5	124.1	1.93	5.29	3.6
Marzo	23.8	173.7	1.81	4.57	3.11

Tabla 3.3. Temperaturas medias mensuales (°C), precipitaciones totales (mm), velocidad del viento (m/s), evapotranspiración de referencia (Eto, mm/día) y evapotranspiración del cultivo (Etc, mm/día) en Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.

Meses	Temperatura	Precipitaciones	Velocidad del viento	Eto	Etc
Abril	17.71	69	1.31	2.98	2.03
Mayo	12.93	38	1.28	1.94	0.78
Junio	11.73	1.6	1.06	1.61	0.64
Julio	10.06	0	1.86	2.33	0.93
Agosto	12.67	1.6	2.39	3.35	1.34
Septiembre	17.08	9.8	3.07	4.82	3.28
Octubre	19.45	2.6	2.13	5.50	3.74
Noviembre	22.21	42.4	1.95	6.04	4.11
Diciembre	25.40	79	2.02	6.97	4.74
Enero	25.26	125.1	1.48	6.09	4.14
Febrero	23.39	208.1	1.39	4.97	3.38
Marzo	23.15	26	1.85	4.54	3.09

Durante el primer ciclo de cultivo, los valores más bajos de Eto se obtuvieron en el mes de julio mientras que los elevados correspondieron al mes de enero. En el segundo ciclo de cultivo, los registros menores y mayores de Eto se observaron en los meses de junio y diciembre, respectivamente (Tablas 3.2 y 3.3, Figuras 3.3 y 3.4).

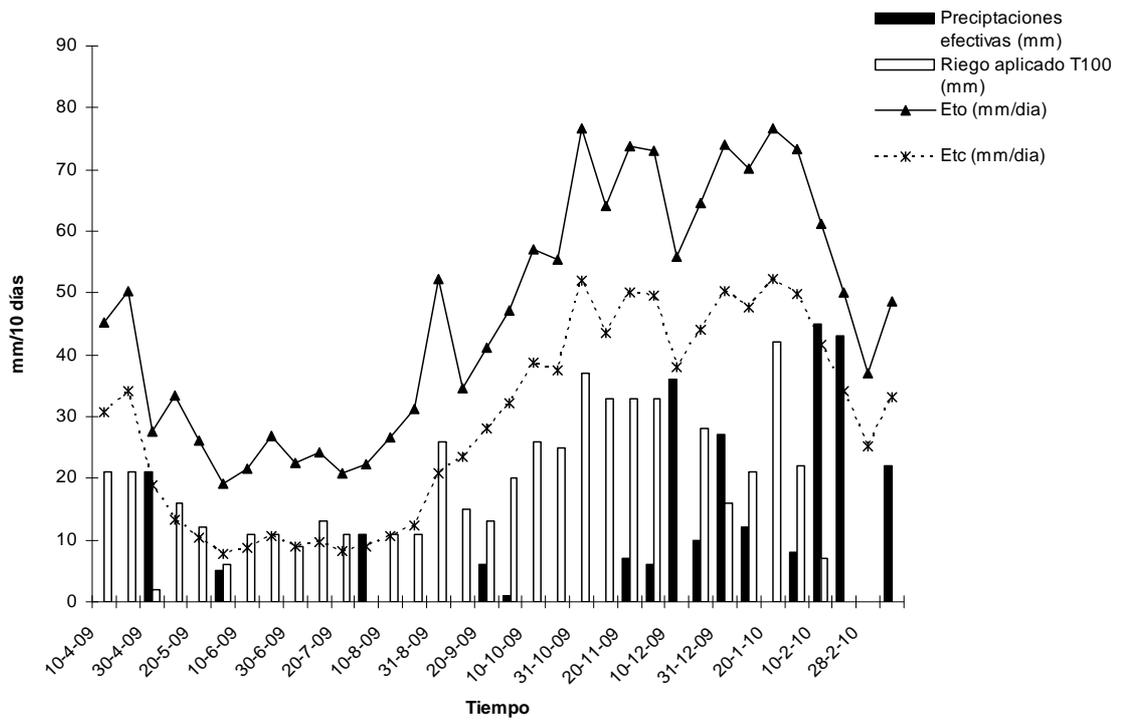


Figura 3.3 Valores de precipitaciones efectivas, riego aplicado al tratamiento control₁ (T100), Evapotranspiración de referencia (Eto) y Evapotranspiración de cultivo aplicado al olivo (Etc), registrados en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo.

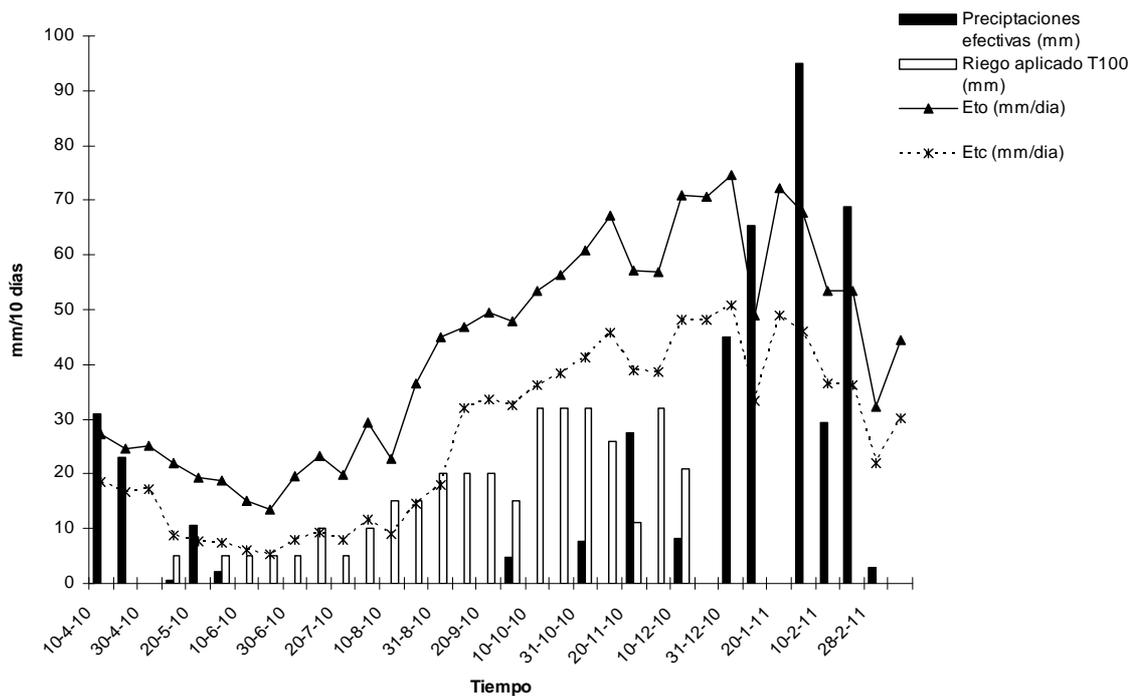


Figura 3.4. Valores de precipitaciones efectivas, riego aplicado al tratamiento control₁ (T100), Evapotranspiración de referencia (Eto) y Evapotranspiración de cultivo aplicado al olivo (Etc), registrados en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.

En la Tabla 3.4 se muestran los datos de las principales variables climáticas registrados en Cruz del Eje, cotejándolos con los de otras regiones productoras de olivo de Europa (España e Italia). Si bien en términos de valores medios de temperatura, precipitaciones y Eto, Cruz del Eje se asemeja a las principales regiones olivareras de la Cuenca del Mediterráneo, es importante resaltar las variaciones en la distribución estacional de las precipitaciones y las diferencias en los registros térmicos. En la región NO de Córdoba más de la mitad de las precipitaciones se registran en el verano y, en muchos casos, de forma torrencial. Los registros pluviométricos durante el invierno son excesivamente bajos (≤ 10 mm). Las temperaturas durante los meses de invierno y primavera resultan más elevadas en la localidad argentina. Esta combinación de factores contribuye a valores más elevados de ETo en Cruz del Eje con respecto a los determinados en la cuenca Mediterránea durante el periodo invierno-primaveral.

Tabla 3.4. Temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed), precipitación y evapotranspiración de referencia (ETo) tomados por la estación meteorológica ubicada en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) en comparación con datos registrados en España (Gomez del Campo *et al.*, 2010) e Italia (Tognetti *et al.*, 2007).

Localidad	Parámetro	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
Cruz del Eje	Tmax (°C)	27.5	33.8	25.3	20.9	26.1
30.43 S	Tmin (°C)	10.6	18.1	10.9	6.35	10.3
66.44 O	Tmed (°C)	19.0	26.0	18.1	13.6	18.2
450 m	Precipitación (mm)	92.4	330	120	10.0	556
	ETo (mm)	405	556	230	178	1369
Sevilla (España)	Tmax (°C)	23.2	34.0	26.0	17.1	25.1
37.22 N	Tmin (°C)	10.6	18.3	13.5	6.6	12.2
6.00 O	Tmed (°C)	17.0	26.3	19.7	11.9	18.7
8 m	Precipitación (mm)	134	20	167	233	554
	ETo (mm)	372	600	288	147	1408
Jaén (España)	Tmax (°C)	20.8	31.1	20.8	12.3	21.3
37.56 N	Tmin (°C)	8.8	18.3	11.9	4.1	10.8
3.18 O	Tmed (°C)	15.1	24.7	16.2	8.2	16.0
358 m	Precipitación (mm)	153	32	123	187	495
	ETo (mm)	341	524	220	110	1195
Toledo(España)	Tmax (°C)	19.7	31.9	21.7	12.1	21.3
39.53 N	Tmin (°C)	7.5	17.3	10.0	2.5	9.3
4.03 O	Tmed (°C)	13.6	24.6	15.8	7.3	15.3
516 m	Precipitación (mm)	110	49	100	100	359
	ETo (mm)	324	556	238	107	1225
Benevento (Italia)	Tmax (°C)	19.7	22.5	14.4	8.0	16.2
41.06 N	Tmin (°C)	10.8	18.2	6.1	5.0	10.0
14.43 O	Tmed (°C)	15.4	21.0	9.9	6.2	13.1
250 m	Precipitación (mm)	153	123	263	189	728
	ETo (mm)	432	546	125	129	1232

La lámina de agua recibida por cada tratamiento se indica en las Tablas 3.5 y 3.6. Si se compara en forma relativa la cantidad de agua de riego recibida por cada tratamiento en todo el ciclo del cultivo (sin tener en cuenta la precipitación efectiva), los tratamientos T75, T50, T25 y T0 permitieron un ahorro de agua del 6.5, 12.8, 19.1 y 25.5 %, en el primer ciclo, y el 7.6, 15.1, 25.3, 30.3 %, en el segundo ciclo, respecto del T100.

Tabla 3.5. Riego, precipitaciones efectivas, cantidad de agua total y porcentaje de agua en relación al tratamiento control₁, proporcionados a los olivos de los diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el primer ciclo de cultivo.

Tratamiento	Riego (mm)	Precipitaciones efectivas (mm)	Cantidad de agua total (mm)	%
T100	545	260	805	100
T75	493	260	753	93.5
T50	442	260	702	87.2
T25	391	260	651	80.9
T0	340	260	600	74.5

Tabla 3.6. Riego, precipitaciones efectivas, cantidad de agua total y porcentaje de agua en relación al tratamiento control₁, proporcionados a los olivos de los diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en la localidad de Cruz del Eje (Córdoba, Argentina) durante el segundo ciclo de cultivo.

Tratamiento	Riego (mm)	Precipitaciones efectivas (mm)	Cantidad de agua total (mm)	%
T100	341	422	763	100
T 75	283	422	705	92.4
T 50	226	422	648	84.9
T 25	168	422	570	74.7
T0	110	422	532	69.7

HUMEDAD DEL SUELO Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

En ambos ciclos de cultivo, durante el periodo de aplicación de los tratamientos de RD, el contenido de agua del suelo en los tratamientos más irrigados (T100 y T75) disminuyó gradualmente, aunque se mantuvo por encima del PMP (9.73 %) (Figuras 3.5 y 3.6). En los tratamientos menos irrigados (T50 y T25), este parámetro disminuyó notablemente al cabo de dos meses de la aplicación del déficit hídrico, permaneciendo cerca del valor del PMP en ambos ciclos del cultivo. El contenido de agua del suelo en T0 presentó valores sustancialmente inferiores al PMP, particularmente en el segundo ciclo de cultivo. Al cabo de dos semanas desde de la finalización de la aplicación de los tratamientos de RD, el contenido de agua del suelo fue similar en todos los tratamientos.

Algunas investigaciones realizadas acerca de las relaciones hídricas en el cultivo del olivo (Tognetti *et al.*, 2004; Gómez del Campo *et al.*, 2008; Rousseaux *et al.*, 2008) han puesto de manifiesto una correlación positiva entre el contenido de agua en el suelo e indicadores del estado hídrico de la planta. Sin embargo, McCutchan y Shackel (1992) han observado que el estado hídrico del suelo como único indicador de necesidad de riego presenta limitaciones, debido principalmente a que no está relacionado directamente con la ocurrencia de un estrés hídrico en la planta.

Uno de los indicadores más utilizados para cuantificar el estado hídrico de las plantas es el potencial agua o potencial hídrico, tanto de hoja como de tallo. Se ha señalado que el potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) medido a mediodía es el que mejor estima el estado hídrico en frutales de carozo (McCutchan y Shackel, 1992; Shackel *et al.*, 1997; Naor *et al.*, 1999), y particularmente en el olivo (Moriana *et al.*, 2002, 2003; Tognetti *et al.*, 2005). Para olivares maduros cultivados en España central, Moriana *et al.* (2003) recomiendan, como indicadores umbrales para aplicación de riego, valores de Ψ_{tallo} comprendidos entre -1.2 MPa y -1.4 MPa.

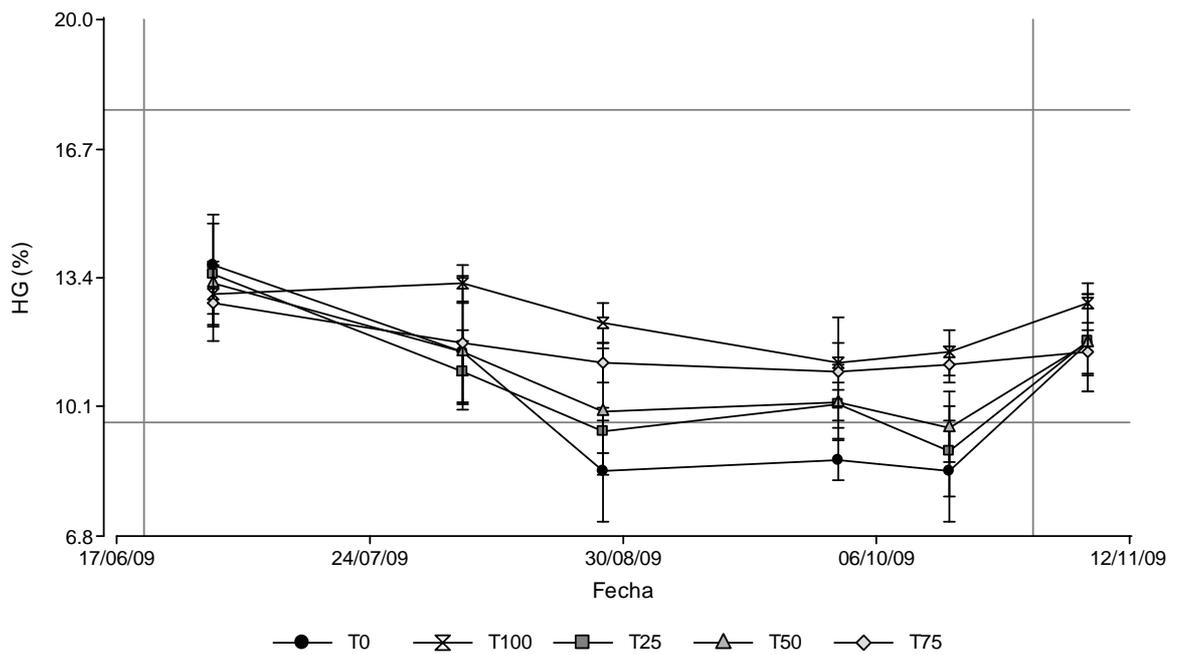


Figura 3.5. Variación de la humedad gravimétrica (%) en el perfil del suelo (0 – 90 cm) durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.

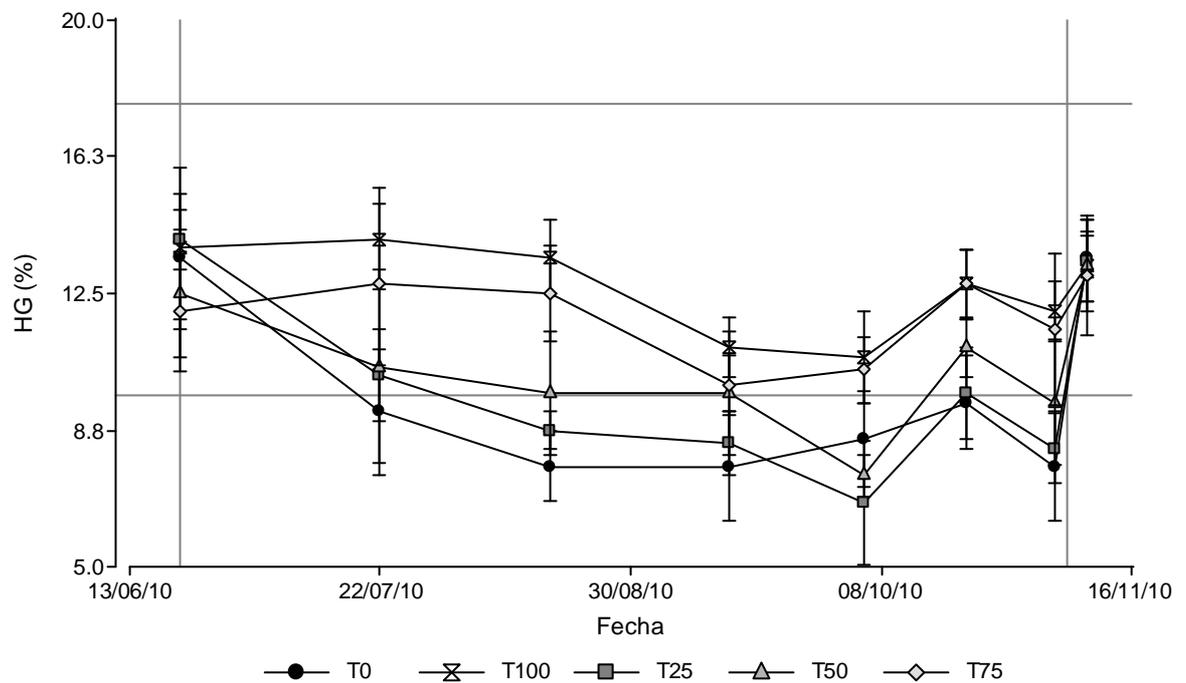


Figura 3.6. Variación de la humedad gravimétrica (%) en el perfil del suelo (0 – 90 cm) durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo

No existen valores de referencia de Ψ_{tallo} para las condiciones agro-ecológicas del cultivo del olivo en Argentina central. Durante el periodo de aplicación de los tratamientos de RD, la evolución del Ψ_{tallo} mostró un patrón similar en las dos variedades estudiadas, en ambos ciclos de cultivo (Figuras 3.7-3.10). En los tratamientos T0, T25 y T50, el Ψ_{tallo} disminuyó progresivamente a lo largo del periodo de aplicación de RD. Al final del mismo, se redujo marcadamente (por debajo de -3.0 MPa) en los tratamientos T0 y T25, indicando la presencia de un estrés hídrico moderado. En el tratamiento T75, se obtuvieron valores más o menos constantes durante toda la etapa de restricción hídrica.

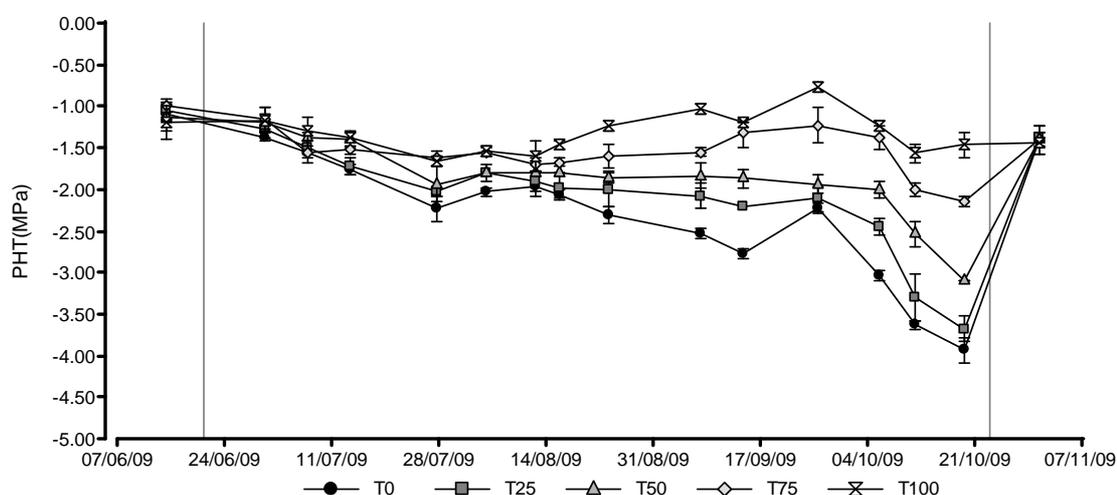


Figura 3.7. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. *Arbequina*, durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.³

³ Las barras verticales indican el periodo de aplicación de los tratamientos de restricción hídrica (mediados de Junio – final de Octubre)

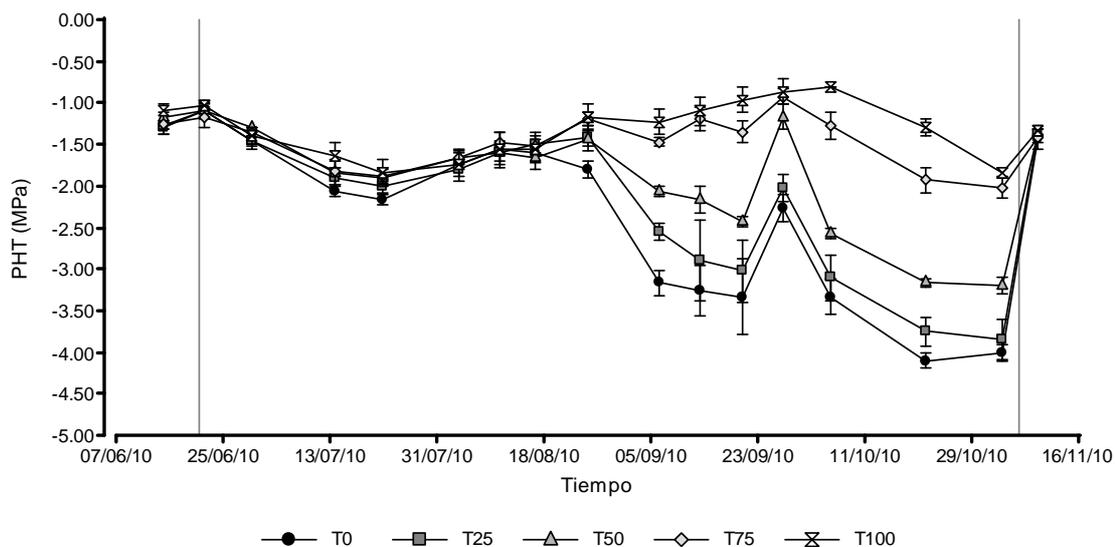


Figura 3.8. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. *Arbequina*, durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo⁴

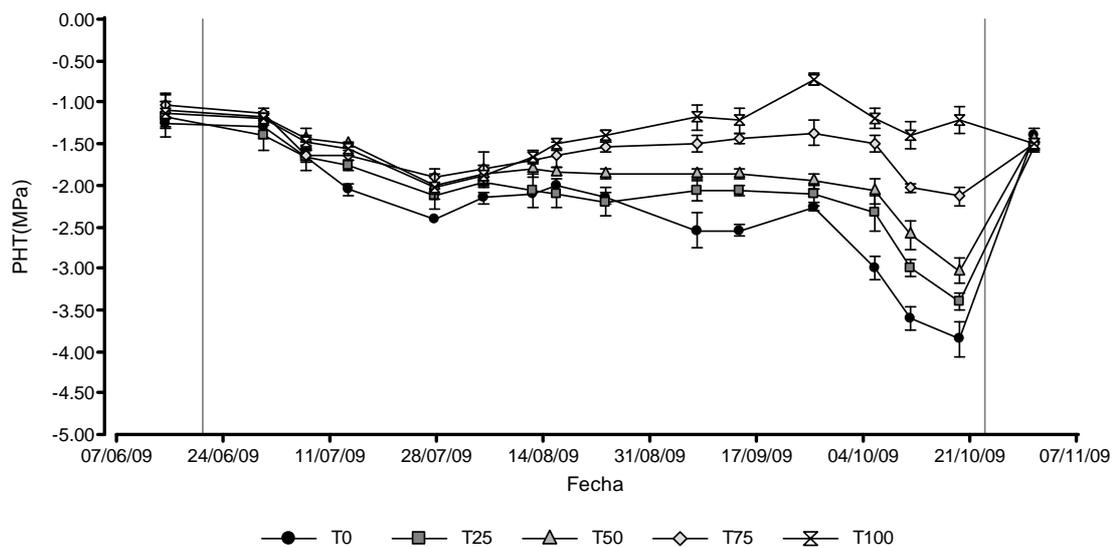


Figura 3.9. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. *Manzanilla*, durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo⁵

⁴ Las barras verticales indican el periodo de aplicación de los tratamientos de restricción hídrica (mediados de Junio – inicio de Noviembre)

⁵ Las barras verticales indican el periodo de aplicación de los tratamientos de restricción hídrica (mediados de Junio – final de Octubre)

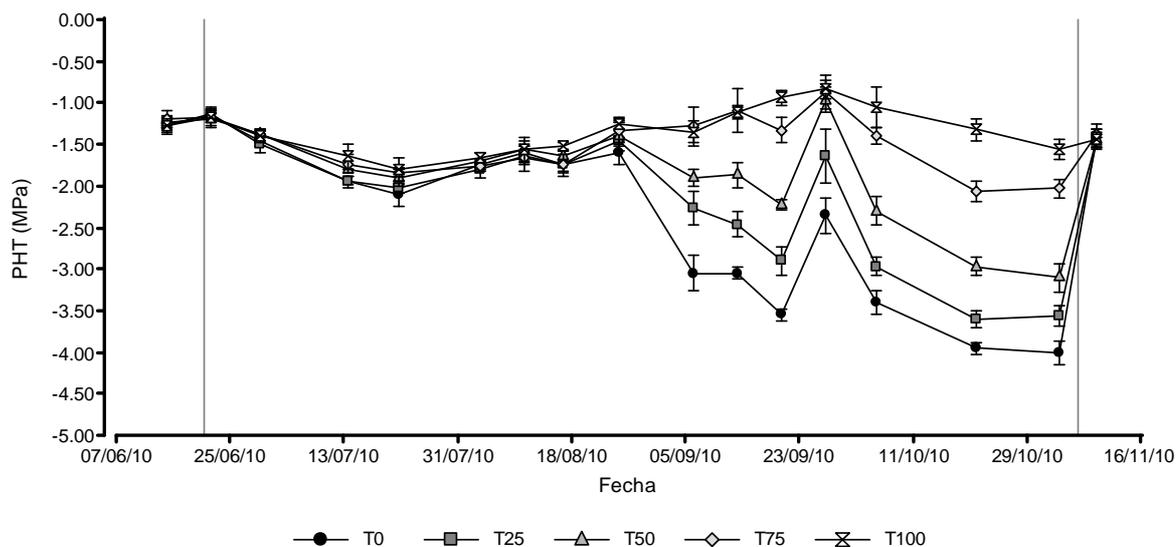


Figura 3.10. Variación estacional del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) en olivo, var. *Manzanilla*, durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo⁶

Una vez finalizado el periodo de RD, y luego de 11 días de aplicación de una dotación de agua equivalente al 100 % de la Etc, los diferentes tratamientos: a) no mostraron diferencias significativas en los valores de Ψ_{tallos} , y b) recuperaron el Ψ_{tallos} medido antes de la aplicación de los tratamientos de RD. Estas observaciones indican una rápida respuesta a la rehidratación y sugieren buenas características de conductancia hidráulica, a pesar del gran tamaño (4 a 6 metros de altura) y de la edad (70 años) de las plantas de olivo utilizadas. Estos resultados coinciden parcialmente con datos publicados por Rousseaux *et al.* (2008). A partir de un estudio realizado en la localidad de Aimogasta (La Rioja, Argentina), estos investigadores observaron que la suspensión del riego durante el invierno provoca una disminución leve del potencial hídrico de hoja y de la conductancia foliar, pero detectaron una rápida recuperación de estos parámetros al reponer el riego. En el mismo sentido, Pérez-López *et al.* (2008) observaron una rápida recuperación del potencial hídrico luego de la rehidratación en olivos cultivados en España.

⁶ Las barras verticales indican el periodo de aplicación de los tratamientos de restricción hídrica (mediados de Junio – inicio de Noviembre)

Los valores de CRAH obtenidos a partir de los diferentes tratamientos de RD se muestran en la Tabla 3.7. Los mismos estuvieron comprendidos entre 77.7 y 84.7 % observándose valores superiores en los tratamientos con mayor irrigación. No obstante, este parámetro resultó poco sensible como indicador de estrés hídrico lo cual coincide con resultados encontrados por otros autores. Patumi *et al.* (1999) y Wahbi *et al.* (2005) no encontraron diferencias significativas en CRAH entre tratamientos regados a diferentes porcentajes de la Etc. Por su parte, Giorio *et al.* (1999) al comparar el CRAH y el Ψ_{hoja} , observaron que el primero responde más lentamente a los cambios en el contenido de agua del suelo, limitando su utilidad como indicador del estado hídrico de la planta.

Tabla 3.7. Contenido relativo de agua en hoja (CRAH, %) de olivo de los distintos tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo del cultivo.⁷

Fecha	Tratamientos de riego				
	T100	T75	T50	T25	T0
15/06/2009	81.7 ^a ± 1.15	81.5 ^a ± 1.29	82.0 ^a ± 1.00	81.5 ^a ± 1.29	81.7 ^a ± 1.15
29/07/2009	82.0 ^a ± 1.73	81.8 ^a ± 1.26	80.7 ^a ± 1.53	80.8 ^a ± 0.96	80.3 ^a ± 1.15
26/08/2009	82.0 ^{ab} ± 1.73	82.5 ^b ± 1.29	81.0 ^{ab} ± 1.00	79.8 ^a ± 1.7	80.3 ^{ab} ± 0.58
17/09/2009	82.3 ^b ± 0.58	81.8 ^b ± 0.50	80.7 ^{ab} ± 1.53	80.8 ^{ab} ± 1.26	79.7 ^a ± 1.53
15/10/2009	83.7 ^c ± 0.58	82.5 ^c ± 1.29	81.7 ^{bc} ± 1.15	79.5 ^{ab} ± 1.29	77.7 ^a ± 2.08
4/11/2009	84.7 ^b ± 2.52	83.5 ^{ab} ± 1.73	82.7 ^{ab} ± 1.53	82.0 ^a ± 0.82	81.7 ^a ± 0.58

⁷ Las letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego para cada fecha de muestreo considerada ($p \leq 0.05$).

CRECIMIENTO VEGETATIVO

El crecimiento de brotes en árboles adultos en producción comienza en primavera, luego disminuye en el periodo estival y puede reactivarse en los meses de otoño (Rallo y Cuevas, 2008). La tasa de crecimiento de los brotes fue significativamente influenciada por los aportes de agua.

Existen diversos antecedentes relacionados al efecto de la aplicación de estrés hídrico sobre el crecimiento de brotes en el periodo estival, durante y después del endurecimiento del endocarpo, como así también aquellos debido a tratamientos de riego deficitario sostenido (Grattan *et al.*, 2006; Selles *et al.*, 2006; Gómez del Campo *et al.*, 2008; Melgar *et al.*, 2008; Puertas, 2009; Correa-Tedesco *et al.*, 2010). Sin embargo, bibliografía vinculada al efecto de dicho estrés durante el periodo comprendido entre pre-floración y floración es nula.

En el primer ciclo, los tratamientos más irrigados (T100 y T75) evidenciaron un crecimiento anticipado y mayor de los brotes con respecto a los restantes tratamientos de riego (Figuras 3.11 y 3.12). Asimismo, se observó un patrón cíclico de crecimiento caracterizado por dos etapas de mayor crecimiento de brotes (pre-floración) separadas ambas por dos etapas de menor crecimiento vegetativo (pre-floración y floración). La primera etapa de menor crecimiento está probablemente asociada al régimen de temperaturas presente, donde se registraron, hacia el final de la estación invernal, temperaturas máximas y mínimas extremas coincidiendo con la mencionada “Tormenta de Santa Rosa” (Figuras 3.1 y 3.2). Posteriormente, se evidenció un aumento gradual de las temperaturas medias lo cual coincide con la segunda fase de crecimiento de los brotes, siendo además la velocidad de esta última mayor que la primera. La segunda etapa de menor crecimiento está en vez asociada a la etapa fenológica de floración. Este menor crecimiento está probablemente relacionado a la competencia por los fotoasimilados entre los brotes vegetativos y las flores. El aumento en el crecimiento de brotes manifestado en el tratamiento de secano (T0) al final del periodo de restricción, podría deberse al

incremento en la fotosíntesis neta disponiéndose así de mayor fotoasimilados destinados para dicho crecimiento vegetativo y al retraso del desarrollo de la etapa de floración.

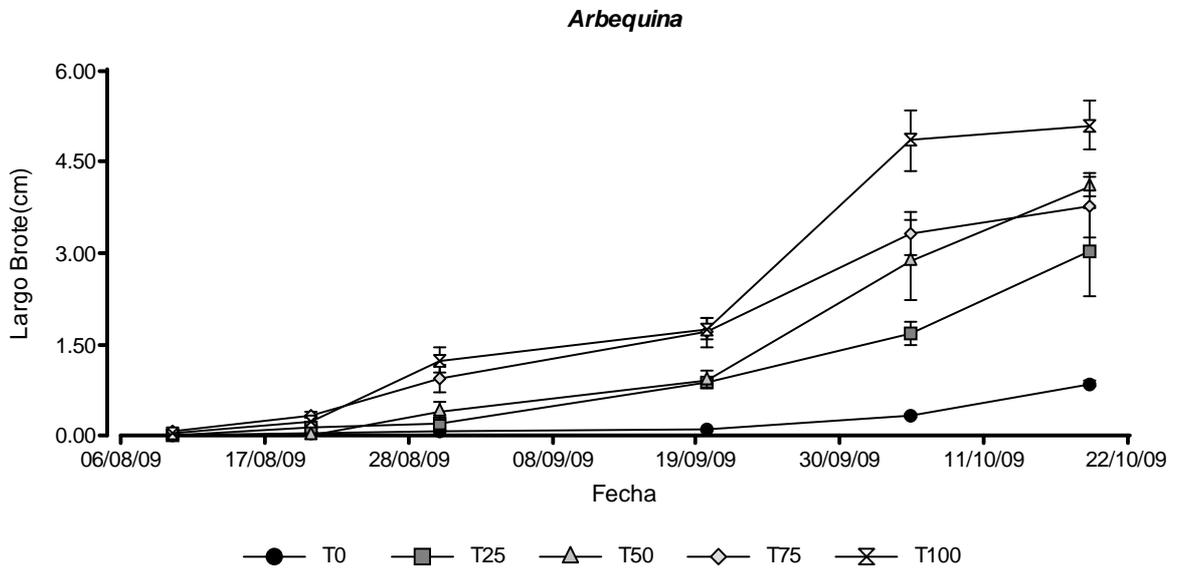


Figura 3.11. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. *Arbequina*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.

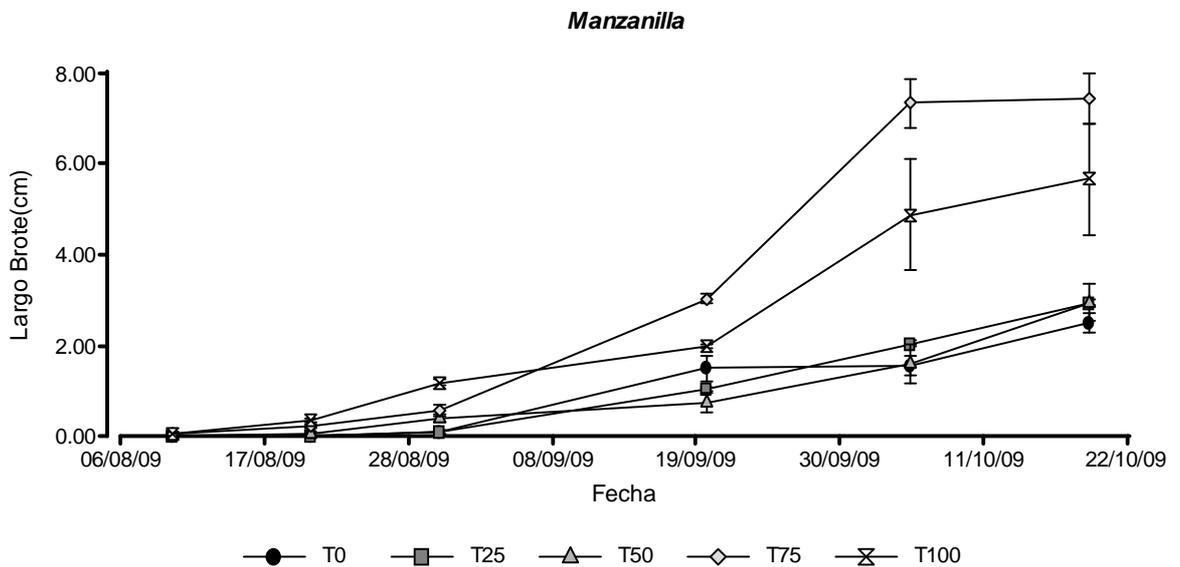


Figura 3.12. Evolución del crecimiento de brote de olivo, var. *Manzanilla*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.

En el segundo ciclo de cultivo, ambas variedades presentaron un patrón de crecimiento de brotes apicales similar al descrito anteriormente (Figuras 3.13 y 3.14), aunque la tasa de crecimiento vegetativo fue menor a la registrada en el primer ciclo. El periodo de máximo crecimiento se registró previo a la floración, manteniéndose la tendencia de mayor crecimiento vegetativo en los tratamientos con menor déficit hídrico.

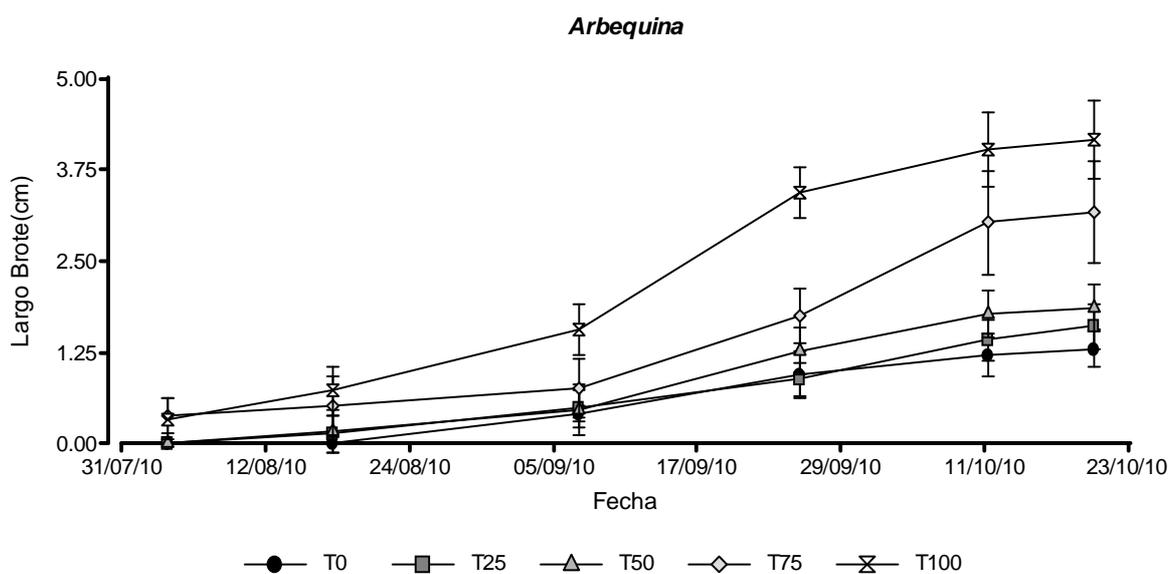


Figura 3.13. Evolución del crecimiento de brotes de olivo, var. *Arbequina*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.

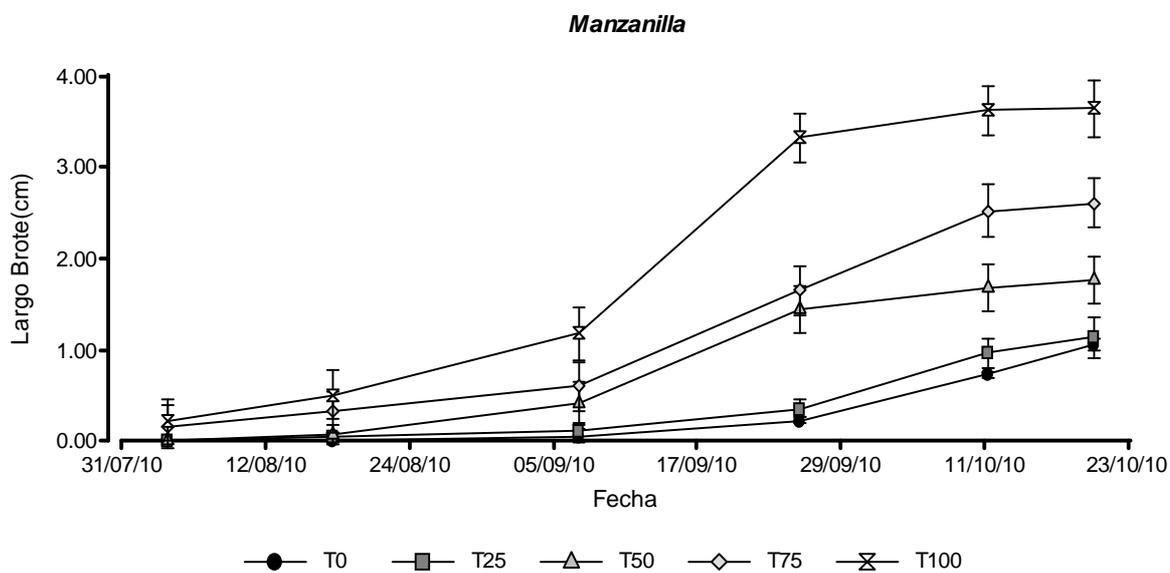


Figura 3.14. Evolución del crecimiento de brote de olivo, var. *Manzanilla*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el segundo ciclo de cultivo.

INTERCAMBIO GASEOSO

Se observaron diferencias significativas en fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) entre los tratamientos durante gran parte del periodo de aplicación del RD (Tablas 3.8 y 3.9).

Tabla 3.8. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).⁸

Fecha	Tratamientos de riego	Fn	Ce
		($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
22/07	T100	3.70 ^{a,A} ± 0.26	91.7 ^{b,A} ± 1.53
	T75	3.63 ^{a,A} ± 0.13	88.0 ^{a,A} ± 1.63
	T50	3.63 ^{a,A} ± 0.32	90.0 ^{ab,D} ± 2.00
	T25	3.60 ^{a,AB} ± 0.08	88.3 ^{a,D} ± 0.50
	T0	3.50 ^{a,BC} ± 0.10	87.7 ^{a,F} ± 0.58
11/08	T100	4.47 ^{b,A} ± 0.16	148.7 ^{c,B} ± 1.15
	T75	4.45 ^{b,A} ± 0.17	145.0 ^{b,C} ± 0.82
	T50	4.33 ^{ab,A} ± 0.15	112.0 ^{a,E} ± 2.00
	T25	4.20 ^{ab,BCD} ± 0.28	110.5 ^{a,E} ± 1.00
	T0	4.13 ^{a,CD} ± 0.16	110.3 ^{a,G} ± 0.58
26/08	T100	8.43 ^{c,B} ± 1.68	199.0 ^{c,D} ± 23.07
	T75	5.79 ^{b,B} ± 0.57	182.5 ^{c,G} ± 7.14
	T50	4.50 ^{b,AB} ± 0.33	79.3 ^{b,C} ± 14.84
	T25	3.06 ^{a,A} ± 0.47	46.0 ^{ab,C} ± 14.35
	T0	2.67 ^{a,A} ± 0.56	39.7 ^{a,E} ± 15.50
07/09	T100	9.31 ^{d,B} ± 1.23	179.3 ^{c,C} ± 1.15
	T75	7.57 ^{c,C} ± 0.62	175.0 ^{c,F} ± 3.56
	T50	5.87 ^{b,CD} ± 0.97	51.3 ^{b,B} ± 2.31
	T25	4.91 ^{b,CDE} ± 0.95	49.0 ^{b,C} ± 1.15
	T0	2.96 ^{a,AB} ± 0.48	35.0 ^{a,E} ± 5.00

⁸ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar.

Las letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada fecha de medición ($p \leq 0.05$).

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre fechas de medición para cada tratamiento de riego ($p \leq 0.05$).

Continuación.Tabla 3.8. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).⁹

Fecha	Tratamientos de riego	Fn	Ce
		($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
14/09	T100	10.6 ^{d,BC} \pm 2.79	179.7 ^{d,C} \pm 2.89
	T75	7.90 ^{c,C} \pm 0.68	176.5 ^{d,FG} \pm 3.87
	T50	5.59 ^{b,BC} \pm 0.57	51.7 ^{c,B} \pm 3.51
	T25	4.55 ^{ab,BCDE} \pm 0.83	26.5 ^{b,A} \pm 4.73
	T0	2.91 ^{a,AB} \pm 0.28	20.0 ^{a,AB} \pm 2.00
21/09	T100	10.9 ^{c,BC} \pm 2.73	180.0 ^{e,C} \pm 2.00
	T75	7.16 ^{b,C} \pm 0.54	165.5 ^{d,E} \pm 1.91
	T50	5.94 ^{ab,CD} \pm 1.23	73.7 ^{c,C} \pm 3.21
	T25	4.02 ^{a,ABC} \pm 0.56	24.0 ^{b,A} \pm 1.15
	T0	3.73 ^{a,CD} \pm 0.47	18.3 ^{a,A} \pm 2.52
06/10	T100	13.6 ^{d,CD} \pm 0.29	184.7 ^{d,C} \pm 5.03
	T75	9.29 ^{c,D} \pm 0.54	133.0 ^{c,B} \pm 4.20
	T50	7.00 ^{bc,DE} \pm 0.14	50.0 ^{b,B} \pm 5.00
	T25	4.54 ^{ab,BCDE} \pm 0.66	26.3 ^{a,A} \pm 16.0
	T0	3.83 ^{a,CD} \pm 0.61	28.3 ^{a,CD} \pm 2.89
22/10	T100	15.4 ^{e,D} \pm 0.14	181.7 ^{e,C} \pm 2.89
	T75	14.7 ^{d,E} \pm 0.18	130.5 ^{b,B} \pm 3.56
	T50	7.61 ^{c,E} \pm 0.22	40.0 ^{a,A} \pm 2.00
	T25	5.22 ^{b,DE} \pm 0.01	35.3 ^{a,B} \pm 7.09
	T0	4.20 ^{a,D} \pm 0.08	33.3 ^{a,DE} \pm 5.00

⁹ Valores medios (n =3) \pm desvío estándar.

Las letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada fecha de medición ($p \leq 0.05$).

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre fechas de medición para cada tratamiento de riego ($p \leq 0.05$).

Tabla 3.9. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hoja de olivo, var. *Manzanilla*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).¹⁰

Fecha	Tratamientos de riego	Fn	Ce
		($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
22/07	T100	3.74 ^{a,A} ± 0.19	88.2 ^{a,A} ± 1.48
	T75	3.70 ^{a,A} ± 0.17	93.3 ^{b,A} ± 5.51
	T50	3.67 ^{a,A} ± 0.12	88.0 ^{a,D} ± 1.00
	T25	3.57 ^{a,A} ± 0.06	86.3 ^{a,E} ± 0.58
	T0	3.65 ^{a,A} ± 0.07	89.5 ^{ab,D} ± 0.71
11/08	T100	4.46 ^{a,A} ± 0.21	145.4 ^{c,B} ± 2.89
	T75	4.40 ^{a,AB} ± 0.27	137.7 ^{c,B} ± 2.31
	T50	4.27 ^{a,A} ± 0.21	120.3 ^{b,F} ± 1.53
	T25	4.23 ^{a,AB} ± 0.16	114.7 ^{a,G} ± 2.89
	T0	4.20 ^{a,B} ± 0.10	110.0 ^{a,E} ± 0.10
26/08	T100	6.82 ^{c,B} ± 0.40	190.8 ^{e,E} ± 6.46
	T75	6.12 ^{d,BC} ± 0.11	176.7 ^{d,E} ± 8.08
	T50	5.07 ^{c,B} ± 0.14	109.0 ^{c,E} ± 21.3
	T25	3.71 ^{b,A} ± 0.33	66.0 ^{b,D} ± 15.7
	T0	2.87 ^{a,A} ± 0.11	44.5 ^{a,C} ± 10.6
07/09	T100	8.91 ^{c,C} ± 0.80	177.0 ^{c,C} ± 3.32
	T75	7.85 ^{c,CDE} ± 0.53	171.7 ^{c,DE} ± 5.77
	T50	6.08 ^{b,C} ± 0.77	105.0 ^{b,E} ± 3.51
	T25	5.94 ^{b,CD} ± 0.05	104.7 ^{b,E} ± 0.58
	T0	3.34 ^{a,A} ± 1.38	40.0 ^{a,F} ± 0.10
14/09	T100	13.0 ^{c,D} ± 2.11	180.0 ^{e,D} ± 3.54
	T75	8.48 ^{b,DE} ± 1.81	154.0 ^{d,C} ± 1.73
	T50	6.28 ^{ab,C} ± 0.39	50.0 ^{c,B} ± 2.00
	T25	4.73 ^{a,ABC} ± 1.63	32.7 ^{b,ABC} ± 2.52
	T0	3.28 ^{a,A} ± 0.04	20.0 ^{a,AB} ± 0.10
21/09	T100	12.78 ^{c,D} ± 0.68	170.6 ^{d,C} ± 4.67
	T75	11.35 ^{c,EF} ± 0.45	169.0 ^{d,D} ± 1.73
	T50	5.48 ^{b,BC} ± 0.46	55.0 ^{c,C} ± 21.8
	T25	4.33 ^{a,AB} ± 0.39	33.0 ^{b,BC} ± 1.73
	T0	3.24 ^{a,A} ± 0.81	22.5 ^{a,AB} ± 3.54

¹⁰ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar.

Las letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada fecha de medición ($p \leq 0.05$).

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre fechas de medición para cada tratamiento de riego ($p \leq 0.05$).

Continuación. Tabla 3.9. Fotosíntesis neta (Fn) y conductancia estomática (Ce) en hojas de olivo, var. *Manzanilla*, durante la aplicación de los tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).¹¹

Fecha	Tratamiento de riego	Fn ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ce ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
28/09	T100	16.1 ^{d,E} \pm 0.49	188.8 ^{e,E} \pm 3.90
	T75	14.2 ^{c,F} \pm 2.30	153.7 ^{d,C} \pm 1.15
	T50	7.72 ^{b,D} \pm 0.79	49.3 ^{c,B} \pm 3.06
	T25	6.22 ^{b,D} \pm 0.92	29.3 ^{b,AB} \pm 1.15
	T0	3.34 ^{a,A} \pm 0.58	18.5 ^{a,A} \pm 2.12
06/10	T100	13.53 ^{d,D} \pm 1.99	180.0 ^{d,D} \pm 3.54
	T75	9.73 ^{c,E} \pm 0.88	136.7 ^{c,B} \pm 1.15
	T50	7.34 ^{bc,D} \pm 0.55	47.0 ^{b,B} \pm 1.73
	T25	4.66 ^{ab,AB} \pm 1.02	28.3 ^{a,A} \pm 18.9
	T0	3.87 ^{a,A} \pm 0.90	28.0 ^{a,B} \pm 0.10
22/10	T100	15.2 ^{d,E} \pm 0.47	183.4 ^{d,D} \pm 4.22
	T75	14.7 ^{c,F} \pm 0.85	138.3 ^{c,B} \pm 2.89
	T50	7.58 ^{b,D} \pm 0.23	42.3 ^{b,A} \pm 2.52
	T25	5.15 ^{a,BCD} \pm 0.29	35.0 ^{a,C} \pm 8.66
	T0	4.25 ^{a,B} \pm 0.05	38.0 ^{ab,C} \pm 17.0

Los valores de Fn a mediodía oscilaron entre 2.67 y 16.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, siendo sensiblemente más bajos en invierno que en primavera. Estos valores fueron sustancialmente inferiores a aquellos reportados por Rousseaux *et al.* (2008) durante la aplicación de déficit hídrico en la var. *Manzanilla* en el mismo periodo considerado (invierno en La Rioja, Argentina), mientras que los valores primaveral fueron superiores a aquellos registrados en el periodo estival en la cuenca del mediterráneo (Moriani *et al.*, 2002).

Si bien los valores de fotosíntesis fueron ascendiendo a lo largo del periodo de estrés hídrico, debido a las condiciones ambientales de temperatura más favorables, este crecimiento fue sustancialmente menor en los tratamientos más estresados, observándose así una fuerte reducción en Fn en las plantas más estresadas (T0 y T25) con respecto a

¹¹ Valores medios (n = 3) \pm desvío estándar.

Las letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada fecha de medición ($p \leq 0.05$).

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre fechas de medición para cada tratamiento de riego ($p \leq 0.05$).

aquellas sometidas a los tratamiento mas regados (T100), después de 60 días del inicio de la aplicación de los tratamientos.

La Ce es uno de los factores fisiológicos más importantes para optimizar el uso del agua en condiciones de sequía (Giorio *et al.*, 1999). Los tratamientos más restrictivos mostraron valores inferiores con respecto a aquellos más regados (T100 y T75), en ambas variedades de olivo.

Los tratamientos de riego aplicados fueron diferenciándose sustancialmente, en términos de Ce, a partir de mediados de agosto (aproximadamente 45 días después del inicio de la aplicación del déficit hídrico) reflejando así como el cierre estomático sea probablemente uno de los primeros mecanismos en responder bajo condiciones hídricas limitantes.

En términos generales, considerando la dinámica de las respuestas de los parámetros fisiológicos analizados, los resultados encontrados en este trabajo demuestran que el Ψ_{tallo} , la Ce y Fn responden en forma similar al estrés hídrico, existiendo una fuerte correlación entre los mismos (Tabla 3.19). Este comportamiento concuerda con las observaciones registradas por otros autores (Moriana *et al.*, 2003, 2007; Grattan *et al.*, 2006; Rousseaux *et al.*, 2008; Greven *et al.*, 2009).

Estos resultados sugieren que los bajos valores de fotosíntesis podrían ser consecuencia de una limitación en el intercambio gaseoso debido al cierre estomático como consecuencia del estrés hídrico. Asimismo, esta disminución de fotosíntesis podría estar asociada a una reducción de los pigmentos fotosintéticos como consecuente degradación y disminución en la síntesis de los mismos. Además podría ser consecuencia, junto a los otros factores, de una disminución en la captura de luz debida a un aumento del espesor cuticular (Sánchez *et al.*, 2001).

PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN HOJAS

La síntesis y acumulación de sustancias osmóticamente activas constituye una respuesta bioquímica-fisiológica del olivo frente a condiciones hídricas limitantes (Sofo *et al.*, 2004a; Dichio *et al.*, 2006; Ben Ahmed *et al.*, 2009). Esta respuesta contribuye al mantenimiento de la turgencia celular, posibilitando la apertura estomática y la actividad fotosintética aún con potenciales hídricos extremadamente bajos (-6 Mpa) (Angelopoulos *et al.*, 1996; Dichio *et al.*, 2006).

En cada ciclo de cultivo analizado, al final del periodo de aplicación de los tratamientos de riego, se observó un incremento significativo en la concentración de prolina en los tratamientos con mayor restricción hídrica (T0, T25 y T50), en las dos variedades estudiadas (Tablas 3.10 y 3.11). Considerando la totalidad de los tratamientos de riego, el nivel basal de este metabolito (valor inicial en las Tablas 3.10 y 3.11) estuvo comprendido entre 0.60 y 0.75 $\mu\text{Mol/mg}$ hoja (primer ciclo de cultivo) y entre 0.68 y 0.85 $\mu\text{Mol/mg}$ hoja (segundo ciclo de cultivo). Estos valores resultaron similares a los obtenidos por Ben Ahmed *et al.* (2009) en hojas de tres variedades de olivo cultivadas bajo riego al 100 % de la Etc.

Las concentraciones de prolina medidas al inicio del segundo ciclo de cultivo no variaron significativamente de las registradas al inicio del primer ciclo, indicando que las hojas del olivo recuperan rápidamente la concentración basal de prolina luego de la supresión del estrés hídrico. Estas observaciones y otras relacionadas (Sofo *et al.*, 2004 a; Ben Ahmed *et al.*, 2009) indican que las hojas de olivo pueden acumular prolina, de acuerdo a un patrón reversible, luego de un periodo relativamente breve (aproximadamente 3 meses y medio) de restricción hídrica. Por otra parte, estos resultados sugieren la inducción de la síntesis de *novo* de esta sustancia en respuesta a condiciones de déficit hídrico, al mismo tiempo que sustentan la hipótesis de su participación en un mecanismo de ajuste osmótico activo. Esto último, también estaría sostenido por los valores registrados del CRAH, los cuales, si bien presentaron valores inferiores en los tratamientos más deficitarios con respecto a aquellos más irrigados, por si mismos no explicarían un mecanismo de ajuste osmótico de tipo exclusivamente pasivo.

Tabla 3.10. Contenidos de prolina (PRO) y malonaldehído (MDA) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).¹²

Ciclo de cultivo 2009		Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
PRO	VI	0.67 ^{a,A} ± 0.06	0.73 ^{a,A} ± 0.06	0.75 ^{a,A} ± 0.11	0.71 ^{a,A} ± 0.06	0.75 ^{a,A} ± 0.06
(μMol/mg)	VF	1.89 ^{c,B} ± 0.29	1.63 ^{d,B} ± 0.20	1.36 ^{c,B} ± 0.22	0.67 ^{b,A} ± 0.12	0.50 ^{a,A} ± 0.09
MDA	VI	44.7 ^{a,A} ± 1.87	44.4 ^{a,A} ± 3.73	47.7 ^{a,A} ± 5.24	48.1 ^{a,A} ± 6.37	46.0 ^{a,A} ± 2.11
(μMol/g)	VF	117.9 ^{d,B} ± 2.35	98.3 ^{c,B} ± 2.14	61.9 ^{b,B} ± 4.63	62.7 ^{b,B} ± 4.77	46.9 ^{a,A} ± 5.29
Ciclo de cultivo 2010						
PRO	VI	0.67 ^{a,A} ± 0.04	0.67 ^{a,A} ± 0.12	0.60 ^{a,A} ± 0.11	0.69 ^{a,A} ± 0.07	0.72 ^{a,A} ± 0.14
(μMol/mg)	VF	2.07 ^{d,B} ± 0.10	2.18 ^{d,B} ± 0.24	1.25 ^{c,B} ± 0.13	0.94 ^{b,B} ± 0.15	0.65 ^{a,A} ± 0.05
MDA	VI	37.2 ^{b,A} ± 3.12	32.8 ^{a,A} ± 2.80	33.7 ^{a,A} ± 2.40	36.8 ^{b,A} ± 3.85	32.6 ^{a,A} ± 2.47
(μMol/g)	VF	151.0 ^{c,B} ± 5.13	102.3 ^{d,B} ± 4.68	79.2 ^{c,B} ± 3.20	70.8 ^{b,B} ± 5.47	52.8 ^{a,B} ± 1.66

¹² Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

Tabla 3.11: Contenidos de prolina (PRO) y malonaldehído (MDA) en hojas de olivo, var. *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).¹³

Ciclo de cultivo 2009		Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
PRO	VI	0.75 ^{a,A} ± 0.05	0.85 ^{b,A} ± 0.07	0.85 ^{b,A} ± 0.03	0.75 ^{a,B} ± 0.08	0.81 ^{b,B} ± 0.06
(µMol/mg)	VF	1.92 ^{e,B} ± 0.10	1.66 ^{d,B} ± 0.16	1.05 ^{c,B} ± 0.19	0.55 ^{b,A} ± 0.07	0.39 ^{a,A} ± 0.06
MDA	VI	41.9 ^{a,A} ± 0.94	49.4 ^{b,A} ± 4.80	45.9 ^{a,A} ± 2.99	49.6 ^{b,A} ± 7.77	43.7 ^{a,A} ± 2.92
(µMol/g)	VF	114.3 ^{d,B} ± 3.83	90.9 ^{c,B} ± 7.96	72.4 ^{b,B} ± 7.81	58.9 ^{a,B} ± 9.60	50.8 ^{a,B} ± 6.47
Ciclo de cultivo 2010						
PRO	VI	0.68 ^{a,A} ± 0.07	0.73 ^{a,A} ± 0.13	0.69 ^{a,A} ± 0.13	0.68 ^{a,A} ± 0.08	0.70 ^{a,B} ± 0.24
(µMol/mg)	VF	2.21 ^{e,B} ± 0.22	1.78 ^{d,B} ± 0.18	1.18 ^{c,B} ± 0.29	0.85 ^{b,B} ± 0.22	0.50 ^{a,A} ± 0.10
MDA	VI	34.6 ^{a,A} ± 4.27	32.0 ^{a,A} ± 1.28	35.3 ^{a,A} ± 5.21	33.4 ^{a,A} ± 3.88	34.2 ^{a,A} ± 2.78
(µMol/g)	VF	132.7 ^{e,B} ± 19.4	92.1 ^{d,B} ± 5.66	80.2 ^{c,B} ± 3.89	58.3 ^{b,B} ± 11.8	47.0 ^{a,B} ± 10.66

¹³ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

En las plantas, una de las consecuencias deletéreas más importantes del estrés hídrico es el incremento de procesos oxidativos, mediados enzimáticamente o como resultado de reacciones fotoquímicas (Sofó *et al.*, 2004 b; Bacelar *et al.*, 2006, 2007). Estos procesos afectan fundamentalmente a lípidos de membrana y favorecen la generación de especies reactivas del oxígeno (Asada, 1999). La acumulación de algunos metabolitos, particularmente el aldehído malónico (MDA), es una de las manifestaciones más comunes asociadas a la peroxidación de lípidos en tejidos fotosintéticos.

En el presente estudio, los niveles basales de MDA (valores iniciales en las Tablas 3.10 y 3.11) estuvieron comprendidos entre 41.94 – 49.58 nMol/g hoja (primer ciclo de cultivo) y entre 32.01 – 35.35 nMol/g hoja (segundo ciclo de cultivo). No se observaron mayores diferencias entre variedades.

En el primer ciclo de cultivo, se obtuvieron incrementos significativos entre los tratamientos T0, T25 y T50, luego del periodo de restricción hídrica (VF), en ambas variedades estudiadas. Para el tratamiento T0 los porcentajes de incremento estuvieron en el orden del 151 % (*Arbequina*) y del 125 % (*Manzanilla*). En el tratamiento T25 se observaron aumentos del 109 % (*Arbequina*) y del 79 % (*Manzanilla*). Para el T50 los incrementos fueron del 32 % y del 43 % para las variedades *Arbequina* y *Manzanilla*, respectivamente. En el segundo ciclo de cultivo se detectaron incrementos similares pero, a diferencia del primer ciclo, también se registraron variaciones significativas en el tratamiento T75.

De manera semejante al patrón observado para la acumulación de prolina, luego de la supresión de la restricción hídrica y tras un periodo de riego al 100 % de la Etc, la concentración de MDA se redujo a niveles similares a los obtenidos al inicio del primer año de aplicación de los tratamientos de riego (VI 2010 vs VI 2009, Tablas 3.10 y 3.11).

En ambos ciclos de cultivo, se obtuvieron correlaciones negativas estadísticamente significativas entre el Ψ_{tallo} y el contenido de MDA (tablas 3.18 y 3.19).

El análisis conjunto de los resultados discutidos precedentemente permite inferir que: a) un periodo relativamente corto de restricción hídrica desencadena procesos de peroxidación lipídica en las hojas del olivo, una de cuyas manifestaciones es el incremento en la concentración de MDA, b) la producción de este metabolito muestra un patrón reversible, asociado al Ψ_{tallo} , c) la reposición del riego a valores equivalentes al 100 % de la Etc se asocia a la disminución del contenido de MDA a sus niveles basales.

Otro síntoma asociado al estrés hídrico es la aparición de clorosis debida al deterioro del aparato fotosintético, como resultado de cambios en la estructura de la membrana de tilacoides, degradación o deficiencia en la síntesis de clorofilas (Smirnoff, 1993; Brito *et al.*, 2003).

La aplicación de RD estuvo asociada a una disminución de la concentración de clorofilas (a + b) y carotenos en los tratamientos T0 y T25 (VF vs VI, Tablas 3.12 Y 3.13), en ambas variedades analizadas. En los tratamientos sin restricción hídrica (T100) o con restricción hídrica leve (T75) los incrementos registrados podrían deberse a variaciones estacionales en la síntesis de estos pigmentos.

Luego de la finalización del periodo de RD, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en la concentración de clorofila a, b y carotenos; los tratamientos con mayor restricción hídrica (T0 y T25) presentaron los valores más bajos. Asimismo, en estos tratamientos, se registraron reducciones significativas entre el inicio y el final del periodo de riego, sugiriendo una degradación de estos pigmentos en condiciones de estrés hídrico severo.

En ambos ciclos de cultivo, al finalizar el periodo de RD, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con déficit hídrico en la relación clorofila a+b / feofitina a+b. Estos resultados permiten inferir que la disminución del contenido de clorofilas observada en T0 y T25 podría estar asociada también a una reducción de la tasa de síntesis de pigmentos fotosintéticos.

Por otra parte, tras el periodo de reposición del riego a valores equivalentes al 100 % de la Etc, las concentraciones de clorofilas a y b alcanzaron los valores registrados al inicio de la aplicación de la restricción hídrica (VI 2010 vs VI 2009). En ambas variedades y ciclos de cultivo se obtuvieron correlaciones positivas estadísticamente significativas entre el Ψ_{tallo} y los contenidos de cada uno de estos pigmentos (tablas 3.18 y 3.19).

Tabla 3.12. Contenido de pigmentos (mg/g) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100) aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre)¹⁴.

Ciclo de cultivo		Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
2009						
Clorofila a	VI	8.50 ^{a,A} ± 0.65	8.63 ^{a,B} ± 0.52	8.30 ^{a,A} ± 1.03	8.27 ^{a,A} ± 0.51	8.30 ^{a,A} ± 0.39
	VF	7.29 ^{a,A} ± 3.38	5.88 ^{a,A} ± 1.25	7.48 ^{a,A} ± 2.46	9.54 ^{b,B} ± 0.32	10.9 ^{b,B} ± 1.11
Clorofila b	VI	4.48 ^{a,B} ± 0.36	4.20 ^{a,B} ± 0.42	4.43 ^{a,A} ± 0.43	4.27 ^{a,A} ± 0.54	4.30 ^{a,A} ± 0.39
	VF	3.63 ^{a,A} ± 1.25	3.27 ^{a,A} ± 0.88	3.80 ^{a,A} ± 1.13	5.24 ^{b,B} ± 0.74	5.52 ^{b,B} ± 0.62
Clorofilas a + b	VI	13.0 ^{a,A} ± 0.99	12.8 ^{a,B} ± 0.72	12.7 ^{a,A} ± 1.40	12.5 ^{a,A} ± 1.00	12.6 ^{a,A} ± 0.72
	VF	10.9 ^{a,A} ± 4.61	9.15 ^{a,A} ± 2.05	11.3 ^{a,A} ± 3.57	14.8 ^{b,B} ± 0.88	16.4 ^{b,B} ± 1.67
Carotenoides	VI	5.62 ^{a,A} ± 1.10	5.82 ^{a,B} ± 0.96	5.69 ^{a,B} ± 0.74	5.63 ^{a,A} ± 0.83	5.70 ^{a,A} ± 0.42
	VF	4.46 ^{a,A} ± 1.71	3.73 ^{a,A} ± 0.83	4.59 ^{a,A} ± 1.34	6.19 ^{b,A} ± 0.57	6.74 ^{b,B} ± 0.83
Feofitinas	VI	10.2 ^{a,A} ± 1.07	10.3 ^{a,B} ± 0.87	9.76 ^{a,A} ± 0.94	10.0 ^{a,A} ± 0.98	10.2 ^{a,A} ± 0.84
	VF	8.59 ^{a,A} ± 3.97	7.40 ^{a,A} ± 1.34	8.99 ^{a,A} ± 3.07	11.5 ^{b,B} ± 0.75	12.9 ^{b,B} ± 1.23
Feofitinas / Clorofilas	VI	0.79 ^{b,A} ± 0.03	0.80 ^{b,A} ± 0.04	0.77 ^{a,A} ± 0.03	0.80 ^{b,A} ± 0.03	0.81 ^{b,A} ± 0.04
	VF	0.77 ^{a,A} ± 0.05	0.82 ^{a,A} ± 0.09	0.79 ^{a,A} ± 0.03	0.78 ^{a,A} ± 0.02	0.79 ^{a,A} ± 0.02
Ciclo de cultivo 2010						
Clorofila a	VI	8.24 ^{a,B} ± 0.34	8.45 ^{a,A} ± 0.52	8.30 ^{a,A} ± 0.52	8.33 ^{a,A} ± 0.50	8.52 ^{a,A} ± 0.58
	VF	4.77 ^{a,A} ± 0.68	6.65 ^{a,B} ± 2.05	10.5 ^{c,B} ± 0.49	9.25 ^{c,B} ± 0.88	9.27 ^{c,A} ± 2.58
Clorofila b	VI	3.81 ^{a,B} ± 0.25	3.91 ^{a,A} ± 0.43	4.03 ^{a,A} ± 0.59	3.83 ^{a,A} ± 0.11	4.12 ^{a,A} ± 0.37
	VF	2.81 ^{a,A} ± 0.34	3.68 ^{b,A} ± 0.94	4.75 ^{b,B} ± 0.87	4.60 ^{c,B} ± 0.39	4.43 ^{c,A} ± 1.14
Clorofilas a + b	VI	12.0 ^{a,B} ± 0.31	12.4 ^{a,B} ± 0.83	12.4 ^{a,A} ± 0.83	12.2 ^{a,A} ± 0.48	12.6 ^{a,A} ± 0.87
	VF	7.58 ^{a,A} ± 0.63	10.3 ^{b,B} ± 2.94	15.2 ^{c,B} ± 1.34	13.9 ^{c,B} ± 1.08	13.5 ^{c,A} ± 3.67
Carotenoides	VI	4.93 ^{a,B} ± 0.81	4.43 ^{a,A} ± 0.84	4.86 ^{a,A} ± 1.02	4.38 ^{a,A} ± 0.41	4.73 ^{a,A} ± 0.79
	VF	3.50 ^{a,A} ± 0.28	4.59 ^{b,A} ± 1.33	6.94 ^{c,B} ± 0.62	5.92 ^{c,B} ± 0.31	5.91 ^{c,B} ± 1.39
Feofitinas	VI	10.4 ^{a,B} ± 0.72	10.2 ^{a,B} ± 0.77	10.3 ^{a,A} ± 0.77	10.1 ^{a,A} ± 0.75	10.3 ^{a,A} ± 0.90
	VF	5.89 ^{a,A} ± 1.04	7.74 ^{b,A} ± 2.39	12.2 ^{c,B} ± 0.33	10.8 ^{c,A} ± 1.01	10.8 ^{c,A} ± 2.70
Feofitinas / Clorofilas	VI	0.86 ^{a,B} ± 0.05	0.83 ^{a,B} ± 0.07	0.83 ^{a,B} ± 0.03	0.83 ^{a,A} ± 0.04	0.81 ^{a,A} ± 0.04
	VF	0.77 ^{a,A} ± 0.09	0.74 ^{a,A} ± 0.04	0.75 ^{a,A} ± 0.06	0.79 ^{a,A} ± 0.10	0.81 ^{a,A} ± 0.06

¹⁴ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

Tabla 3.13. Contenido de pigmentos (mg/g) en hojas de olivo, var. *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre)¹⁵.

Ciclo de cultivo		Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
2009						
Clorofila a	VI	10.2 ^{a,B} ± 0.90	9.91 ^{a,B} ± 0.56	10.1 ^{a,B} ± 0.57	9.91 ^{a,A} ± 0.69	10.1 ^{a,A} ± 0.63
	VF	7.04 ^{a,A} ± 0.46	7.73 ^{a,A} ± 0.88	8.20 ^{a,A} ± 1.50	10.1 ^{b,A} ± 1.96	13.2 ^{c,B} ± 2.68
Clorofila b	VI	5.18 ^{a,B} ± 0.44	5.08 ^{a,B} ± 0.40	5.41 ^{a,B} ± 0.71	5.02 ^{a,A} ± 0.58	5.20 ^{a,A} ± 0.51
	VF	3.96 ^{a,A} ± 0.98	4.31 ^{a,A} ± 1.05	4.14 ^{a,A} ± 0.94	5.24 ^{b,A} ± 0.26	5.52 ^{b,A} ± 0.41
Clorofilas a + b	VI	15.4 ^{a,B} ± 1.19	15.0 ^{a,B} ± 0.74	15.5 ^{a,B} ± 1.22	14.9 ^{a,A} ± 1.21	15.3 ^{a,A} ± 0.96
	VF	11.0 ^{a,A} ± 1.36	12.0 ^{a,A} ± 1.84	12.3 ^{a,A} ± 2.39	15.1 ^{b,A} ± 2.78	18.3 ^{c,B} ± 3.94
Carotenoides	VI	6.94 ^{a,B} ± 0.64	7.13 ^{a,B} ± 0.58	6.82 ^{a,B} ± 0.75	6.95 ^{a,B} ± 0.55	6.99 ^{a,A} ± 0.55
	VF	4.72 ^{a,A} ± 0.78	5.17 ^{a,A} ± 0.86	5.28 ^{a,A} ± 1.06	6.17 ^{b,A} ± 1.05	9.25 ^{c,B} ± 2.11
Feofitinas	VI	12.9 ^{a,B} ± 0.86	12.9 ^{a,B} ± 0.58	12.8 ^{a,B} ± 1.30	12.4 ^{a,A} ± 1.01	13.1 ^{a,A} ± 0.79
	VF	8.33 ^{a,A} ± 0.53	8.93 ^{a,A} ± 0.89	9.51 ^{a,A} ± 1.78	12.1 ^{b,A} ± 2.10	17.1 ^{c,B} ± 3.66
Feofitinas / Clorofilas	VI	0.84 ^{a,B} ± 0.02	0.86 ^{a,B} ± 0.03	0.83 ^{a,B} ± 0.04	0.83 ^{a,A} ± 0.04	0.85 ^{a,B} ± 0.03
	VF	0.77 ^{a,A} ± 0.08	0.75 ^{a,A} ± 0.07	0.78 ^{a,A} ± 0.06	0.80 ^{a,A} ± 0.08	0.77 ^{a,A} ± 0.05
Ciclo de cultivo 2010						
Clorofila a	VI	11.5 ^{a,B} ± 0.66	11.3 ^{a,B} ± 0.64	11.8 ^{a,B} ± 0.40	11.5 ^{a,B} ± 0.56	11.6 ^{a,A} ± 0.73
	VF	7.08 ^{a,A} ± 1.04	9.32 ^{b,A} ± 2.97	9.32 ^{b,A} ± 2.73	10.3 ^{b,A} ± 1.77	12.6 ^{c,A} ± 3.93
Clorofila b	VI	5.52 ^{a,B} ± 0.33	5.66 ^{a,B} ± 0.46	5.80 ^{a,B} ± 0.31	5.65 ^{a,B} ± 0.26	5.68 ^{a,A} ± 0.30
	VF	3.73 ^{a,A} ± 0.95	4.79 ^{b,A} ± 1.82	5.00 ^{bc,A} ± 1.03	4.87 ^{b,A} ± 0.57	5.88 ^{c,A} ± 1.91
Clorofilas a + b	VI	17.1 ^{a,B} ± 0.74	17.1 ^{a,B} ± 0.74	17.6 ^{a,B} ± 0.56	17.2 ^{a,B} ± 0.77	17.3 ^{a,A} ± 0.85
	VF	10.8 ^{a,A} ± 1.95	14.1 ^{b,A} ± 4.75	14.3 ^{b,A} ± 3.70	15.1 ^{b,A} ± 2.21	18.5 ^{c,A} ± 5.84
Carotenoides	VI	7.18 ^{a,B} ± 0.74	7.23 ^{a,B} ± 0.44	7.56 ^{a,B} ± 0.47	7.45 ^{a,B} ± 0.34	7.44 ^{a,A} ± 0.37
	VF	5.04 ^{a,A} ± 0.47	6.29 ^{b,A} ± 1.81	6.17 ^{c,A} ± 1.48	6.46 ^{c,A} ± 0.73	7.77 ^{c,A} ± 2.36
Feofitinas	VI	13.4 ^{a,B} ± 0.58	13.1 ^{a,B} ± 0.70	13.7 ^{a,B} ± 0.59	13.6 ^{a,B} ± 0.84	13.5 ^{a,A} ± 0.87
	VF	7.61 ^{a,A} ± 1.93	10.7 ^{b,A} ± 3.56	10.9 ^{b,A} ± 2.93	11.9 ^{b,A} ± 2.23	14.6 ^{c,A} ± 4.21
Feofitinas / Clorofilas	VI	0.79 ^{a,B} ± 0.03	0.77 ^{a,A} ± 0.04	0.78 ^{a,A} ± 0.03	0.79 ^{a,A} ± 0.05	0.78 ^{a,A} ± 0.03
	VF	0.73 ^{a,A} ± 0.11	0.76 ^{ab,A} ± 0.05	0.76 ^{ab,A} ± 0.04	0.78 ^{b,A} ± 0.06	0.80 ^{b,A} ± 0.06

¹⁵ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

ESPESOR DE CUTÍCULA, CONTENIDO Y COMPOSICIÓN DE CERAS FOLIARES

En las Tablas 3.14 y 3.15 y Figura 3.15 se muestran las variaciones en el espesor de la cutícula en hojas provenientes de los distintos tratamientos de riego. Tras el periodo de aplicación del estrés hídrico, se observaron incrementos significativos de este parámetro en los tratamientos con mayor restricción hídrica, a nivel de las tres secciones (base, centro, ápice) de las hojas analizadas. Estas observaciones permiten inferir que el engrosamiento de la cutícula ocurre en forma homogénea, en ambas superficies foliares.

Si bien inicialmente se observaron cutículas algo más gruesas en hojas de la var. *Manzanilla*, el efecto de la restricción hídrica se manifestó de manera similar en ambas variedades y ciclos de cultivo. Considerando un valor promedio por hoja, el porcentaje de incremento de T0 a T100 en la var. *Arbequina* fue de 119 % (primer ciclo de cultivo) y de 117 % (segundo ciclo de cultivo). En la var. *Manzanilla* se registraron incrementos de 180 % y de 168 %, para el primer y segundo ciclos de cultivo, respectivamente. En todos los casos, el espesor de la cutícula se correlacionó negativamente con el Ψ_{tallo} (Tablas 3.18 y 3.19).

El análisis de las características y propiedades de la cutícula foliar en un amplio rango de especies (Baker, 1982) ha demostrado que aquellas plantas con mayor tolerancia a la sequía presentan mayor desarrollo de cutícula. En el olivo, ésta es una característica muy marcada y ha sido señalada como una respuesta adaptativa a condiciones hídricas limitantes (Baker y Procopiu, 2000).

A juzgar por los resultados obtenidos en este trabajo, dicha respuesta se manifiesta de acuerdo a un patrón reversible: tras la finalización de la fase de restricción hídrica y luego del periodo de reposición del riego al 100 % de Etc, el espesor de la cutícula foliar en cada tratamiento (VI del segundo ciclo de cultivo) fue similar al registrado al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (VI del primer ciclo de cultivo).

Tabla 3.14. Espesor de la cutícula (μm) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre)¹⁶

Ciclo de cultivo 2009		Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
Sección de la hoja						
Base	VI	11.4 ^{a,A} ± 2.33	9.97 ^{a,A} ± 2.32	12.1 ^{a,A} ± 2.64	10.7 ^{a,A} ± 2.46	11.7 ^{a,B} ± 2.74
	VF	19.8 ^{c,B} ± 3.75	18.3 ^{c,B} ± 3.99	11.5 ^{b,A} ± 2.55	8.57 ^{a,A} ± 2.21	7.85 ^{a,A} ± 1.76
Centro	VI	10.6 ^{a,A} ± 2.91	11.5 ^{a,A} ± 2.78	12.7 ^{a,A} ± 3.98	11.1 ^{a,A} ± 2.82	11.9 ^{a,B} ± 2.66
	VF	23.3 ^{c,B} ± 3.91	20.1 ^{c,B} ± 3.69	11.9 ^{b,A} ± 2.03	8.88 ^{a,A} ± 2.43	8.12 ^{a,A} ± 1.94
Apice	VI	12.8 ^{a,A} ± 2.84	12.6 ^{a,A} ± 2.38	13.7 ^{a,B} ± 3.21	12.4 ^{a,B} ± 3.12	13.3 ^{a,B} ± 3.04
	VF	25.6 ^{c,B} ± 4.93	22.3 ^{c,B} ± 3.88	12.7 ^{b,A} ± 3.01	9.57 ^{a,A} ± 3.12	8.56 ^{a,A} ± 2.12
Ciclo de cultivo 2010						
Base	VI	10.7 ^{a,A} ± 2.63	10.2 ^{a,A} ± 2.36	10.4 ^{a,A} ± 2.59	9.4 ^{a,A} ± 2.13	9.7 ^{a,B} ± 2.23
	VF	18.7 ^{c,B} ± 3.94	17.3 ^{c,B} ± 3.78	11.37 ^{b,B} ± 2.64	7.87 ^{a,A} ± 2.81	6.81 ^{a,A} ± 2.75
Centro	VI	10.4 ^{a,A} ± 2.38	10.4 ^{a,A} ± 2.68	10.8 ^{a,A} ± 2.72	9.7 ^{a,A} ± 2.51	9.8 ^{a,A} ± 2.66
	VF	18.8 ^{c,B} ± 3.82	17.5 ^{c,B} ± 3.66	12.45 ^{b,A} ± 2.99	8.12 ^{a,A} ± 2.46	7.22 ^{a,A} ± 2.67
Apice	VI	12.1 ^{a,A} ± 2.87	12.3 ^{a,A} ± 2.76	11.5 ^{a,A} ± 2.61	11.2 ^{a,A} ± 2.54	10.9 ^{a,A} ± 2.44
	VF	21.5 ^{c,B} ± 3.53	20.7 ^{c,B} ± 4.77	13.7 ^{b,A} ± 2.01	8.77 ^{a,A} ± 2.11	7.96 ^{a,A} ± 2.21

¹⁶ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

Tabla 3.15. Espesor de la cutícula (μm) en hojas de olivo, var. *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración. VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).¹⁷

Ciclo de cultivo 2009		Tratamiento de riego				
Sección de la hoja		T0	T25	T50	T75	T100
Base	VI	11.4 ^{a,A} \pm 2.33	9.97 ^{a,A} \pm 2.32	12.1 ^{a,A} \pm 2.64	10.7 ^{a,A} \pm 2.46	11.7 ^{a,B} \pm 2.74
	VF	19.8 ^{c,B} \pm 3.75	18.3 ^{c,B} \pm 3.99	11.5 ^{b,A} \pm 2.55	8.57 ^{a,A} \pm 2.21	7.85 ^{a,A} \pm 1.76
Centro	VI	10.6 ^{a,A} \pm 2.91	11.5 ^{a,A} \pm 2.78	12.7 ^{a,A} \pm 3.98	11.1 ^{a,A} \pm 2.82	11.9 ^{a,B} \pm 2.66
	VF	23.3 ^{c,B} \pm 3.91	20.1 ^{c,B} \pm 3.69	11.9 ^{b,A} \pm 2.03	8.88 ^{a,A} \pm 2.43	8.12 ^{a,A} \pm 1.94
Apice	VI	12.8 ^{a,A} \pm 2.84	12.6 ^{a,A} \pm 2.38	13.7 ^{a,B} \pm 3.21	12.4 ^{a,B} \pm 3.12	13.3 ^{a,B} \pm 3.04
	VF	25.6 ^{c,B} \pm 4.93	22.3 ^{c,B} \pm 3.88	12.7 ^{b,A} \pm 3.01	9.57 ^{a,A} \pm 3.12	8.56 ^{a,A} \pm 2.12
Ciclo de cultivo 2010						
Base	VI	10.7 ^{a,A} \pm 2.63	10.2 ^{a,A} \pm 2.36	10.4 ^{a,A} \pm 2.59	9.4 ^{a,A} \pm 2.13	9.7 ^{a,B} \pm 2.23
	VF	18.7 ^{c,B} \pm 3.94	17.3 ^{c,B} \pm 3.78	11.37 ^{b,B} \pm 2.64	7.87 ^{a,A} \pm 2.81	6.81 ^{a,A} \pm 2.75
Centro	VI	10.4 ^{a,A} \pm 2.38	10.4 ^{a,A} \pm 2.68	10.8 ^{a,A} \pm 2.72	9.7 ^{a,A} \pm 2.51	9.8 ^{a,A} \pm 2.66
	VF	18.8 ^{c,B} \pm 3.82	17.5 ^{c,B} \pm 3.66	12.45 ^{b,A} \pm 2.99	8.12 ^{a,A} \pm 2.46	7.22 ^{a,A} \pm 2.67
Apice	VI	12.1 ^{a,A} \pm 2.87	12.3 ^{a,A} \pm 2.76	11.5 ^{a,A} \pm 2.61	11.2 ^{a,A} \pm 2.54	10.9 ^{a,A} \pm 2.44
	VF	21.5 ^{c,B} \pm 3.53	20.7 ^{c,B} \pm 4.77	13.7 ^{b,A} \pm 2.01	8.77 ^{a,A} \pm 2.11	7.96 ^{a,A} \pm 2.21

¹⁷ Valores medios (n = 3) \pm desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P \leq 0.05) entre los tratamientos de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

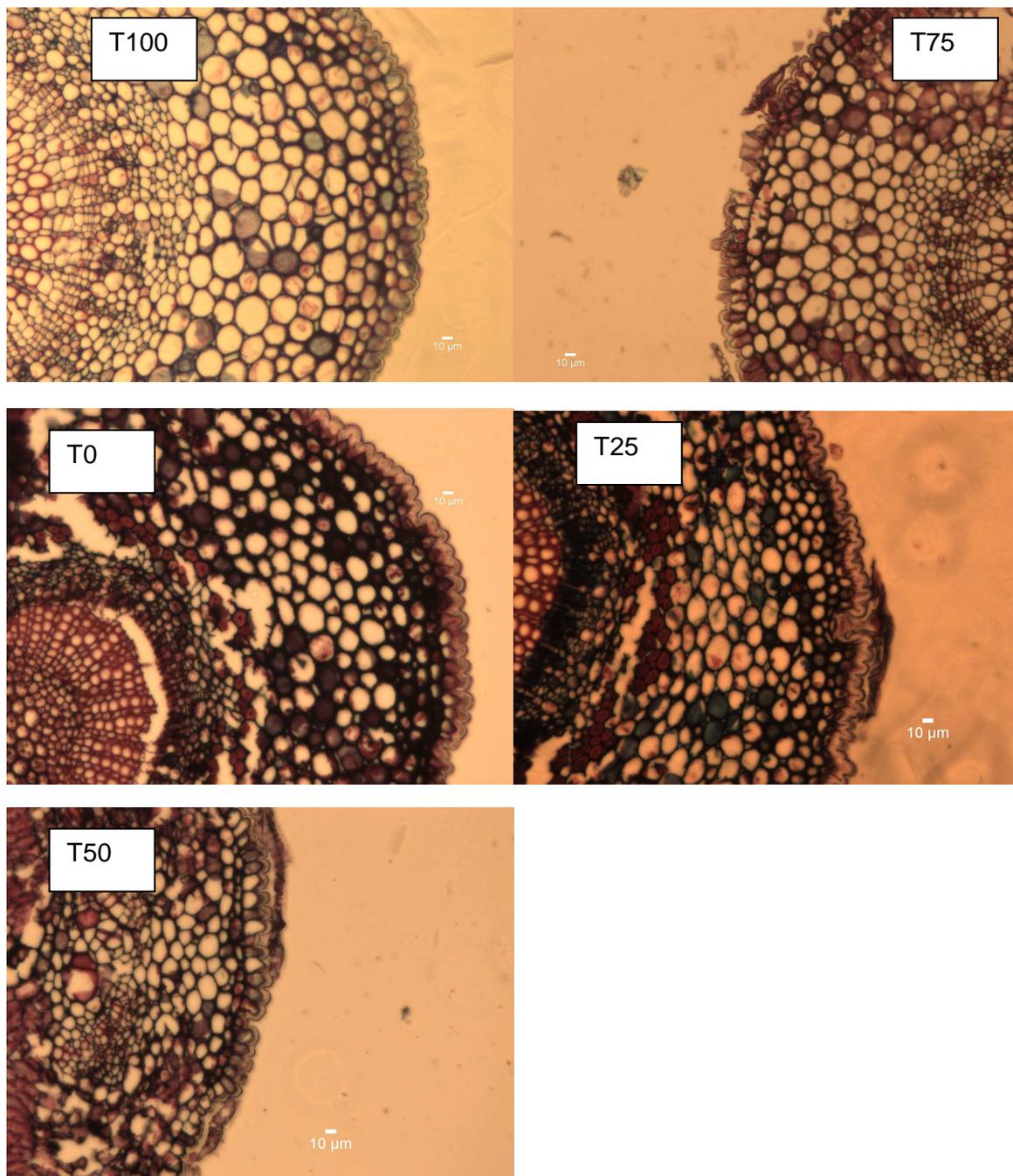


Figura 3.15: Espesor de la cutícula en hojas de olivo, var. *Arbequina*, provenientes de los distintos tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100).

En las Tablas 3.16 y 3.17 se muestran las variaciones en el contenido de ceras y la composición de hidrocarburos obtenidos a partir de hojas provenientes de plantas sometidas a los diferentes tratamientos de riego.

Tabla 3.16. Contenido de ceras (CC, mg/g) y composición de alcanos (%) en hojas de olivo, var. *Arbequina*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración, en dos ciclo de cultivo (2009 y 2010). VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).¹⁸

Ciclo	2009	Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
CC	VI	15.0 ^{aA} ± 3.69	15.7 ^{a,A} ± 1.86	15.7 ^{a,A} ± 1.72	15.9 ^{a,A} ± 5.12	15.2 ^{a,A} ± 2.77
	VF	15.5 ^{a,A} ± 5.10	22.0 ^{a, B} ± 0.88	14.8 ^{a,A} ± 3.13	16.6 ^{a,A} ± 4.83	20.2 ^{a,A} ± 4.09
C ₂₉	VI	11.9 ^{a,B} ± 0.91	11.8 ^{a,B} ± 3.11	10.7 ^{a,B} ± 1.44	13.9 ^{a,B} ± 2.75	11.0 ^{a,A} ± 1.04
	VF	6.85 ^{a,A} ± 0.51	6.84 ^{a,A} ± 0.79	6.42 ^{a,A} ± 0.45	9.14 ^{b,A} ± 0.43	9.63 ^{b,A} ± 0.13
C ₃₀	VI	2.65 ^{a,B} ± 0.33	2.67 ^{a,B} ± 0.31	2.46 ^{a,B} ± 0.11	2.86 ^{a,B} ± 0.21	2.41 ^{a,A} ± 0.16
	VF	1.81 ^{a,A} ± 0.20	1.98 ^{ab,A} ± 0.06	2.13 ^{b,A} ± 0.11	2.46 ^{c,A} ± 0.18	2.70 ^{c,A} ± 0.22
C ₃₁	VI	32.2 ^{a,B} ± 1.49	32.5 ^{a,B} ± 0.99	31.0 ^{a,A} ± 1.26	33.2 ^{a,A} ± 2.18	30.4 ^{a,A} ± 0.36
	VF	24.5 ^{a,A} ± 1.42	29.5 ^{b,A} ± 1.95	31.9 ^{b,A} ± 1.28	31.1 ^{b,A} ± 1.78	31.8 ^{b,B} ± 0.46
C ₃₂	VI	5.60 ^{a,A} ± 0.21	5.85 ^{a,A} ± 0.41	5.92 ^{a,A} ± 0.20	5.68 ^{a,A} ± 0.36	5.40 ^{a,A} ± 0.22
	VF	5.50 ^{a,A} ± 0.31	5.53 ^{a,A} ± 0.23	5.86 ^{a,A} ± 0.09	5.51 ^{a,A} ± 0.31	5.57 ^{a,A} ± 0.35
C ₃₃	VI	32.1 ^{a,A} ± 1.59	31.7 ^{a,A} ± 3.07	34.0 ^{a,A} ± 2.31	29.9 ^{a,A} ± 2.53	33.1 ^{a,A} ± 1.26
	VF	36.9 ^{c,B} ± 1.02	35.4 ^{b,A} ± 0.55	35.7 ^{bc,A} ± 1.24	33.8 ^{a,B} ± 1.02	33.1 ^{a,A} ± 0.34
C ₃₄	VI	3.62 ^{a,A} ± 0.18	3.65 ^{a,A} ± 0.16	3.48 ^{a,A} ± 0.17	3.30 ^{a,A} ± 0.55	3.82 ^{a,A} ± 0.38
	VF	5.32 ^{b,B} ± 0.30	4.36 ^{a,B} ± 0.42	3.99 ^{a,A} ± 0.32	4.02 ^{a,A} ± 0.29	3.89 ^{a,A} ± 0.10
C ₃₅	VI	11.9 ^{a,A} ± 1.38	11.7 ^{a,A} ± 1.54	12.4 ^{a,A} ± 0.18	11.1 ^{a,A} ± 2.45	13.7 ^{a,A} ± 0.21
	VF	19.1 ^{c,B} ± 0.63	16.3 ^{b,B} ± 2.03	13.9 ^{a,B} ± 2.75	13.9 ^{a,A} ± 0.43	13.3 ^{a,A} ± 0.33
Ciclo 2010						
CC	VI	13.8 ^{a,A} ± 2.02	12.8 ^{a,A} ± 2.43	13.2 ^{a,A} ± 2.46	12.2 ^{a,A} ± 0.54	15.0 ^{a,A} ± 2.68
	VF	15.5 ^{a,A} ± 2.93	17.8 ^{a,A} ± 3.63	20.3 ^{a,B} ± 2.23	17.4 ^{a,B} ± 2.67	17.0 ^{a,A} ± 2.43
C ₂₉	IV	14.4 ^{a,B} ± 0.67	12.9 ^{a,B} ± 3.51	11.7 ^{a,B} ± 0.23	12.3 ^{a,A} ± 1.61	14.2 ^{a,A} ± 1.92
	EV	5.83 ^{a,A} ± 1.61	5.36 ^{a,A} ± 2.18	7.64 ^{a,A} ± 2.48	11.8 ^{b,A} ± 0.26	11.8 ^{b,A} ± 0.67
C ₃₀	IV	2.71 ^{a,B} ± 0.09	2.74 ^{a,A} ± 0.77	2.89 ^{a,B} ± 0.21	2.67 ^{a,A} ± 0.06	2.62 ^{a,A} ± 0.28
	EV	1.69 ^{a,A} ± 0.38	1.85 ^{a,A} ± 0.30	2.09 ^{ab,A} ± 0.28	2.45 ^{b,A} ± 0.22	2.45 ^{b,A} ± 0.16
C ₃₁	IV	31.8 ^{a,A} ± 1.19	32.4 ^{a,A} ± 3.16	33.4 ^{a,A} ± 2.19	31.9 ^{a,B} ± 0.97	31.5 ^{a,A} ± 1.14
	EV	29.4 ^{a,A} ± 5.36	28.7 ^{a,A} ± 3.38	31.5 ^{a,A} ± 0.93	29.1 ^{a,A} ± 1.21	31.0 ^{a,A} ± 0.39
C ₃₂	IV	5.44 ^{a,A} ± 0.32	6.12 ^{a,A} ± 0.50	6.70 ^{a,A} ± 1.08	5.96 ^{a,B} ± 0.27	5.43 ^{a,A} ± 0.06
	EV	6.12 ^{a,A} ± 0.80	5.90 ^{a,A} ± 0.17	6.23 ^{a,A} ± 0.79	5.36 ^{a,A} ± 0.40	5.67 ^{a,A} ± 0.35
C ₃₃	VI	30.1 ^{a,A} ± 0.33	30.9 ^{a,A} ± 3.40	31.8 ^{a,A} ± 2.17	31.3 ^{a,A} ± 0.96	29.8 ^{a,A} ± 0.84
	VF	36.4 ^{c,B} ± 1.74	35.6 ^{bc,A} ± 2.88	34.0 ^{abc,A} ± 1.67	32.2 ^{a,A} ± 0.73	32.6 ^{ab,B} ± 0.76
C ₃₄	VI	3.42 ^{a,A} ± 0.23	3.43 ^{a,A} ± 0.83	3.66 ^{a,A} ± 0.87	3.52 ^{a,A} ± 0.32	4.26 ^{a,A} ± 1.72
	VF	4.43 ^{a,A} ± 1.07	4.75 ^{a,B} ± 0.56	4.09 ^{a,A} ± 0.13	4.06 ^{a,B} ± 0.27	4.46 ^{a,A} ± 0.90
C ₃₅	VI	11.9 ^{a,A} ± 1.15	11.4 ^{a,A} ± 3.31	9.75 ^{a,A} ± 3.01	12.3 ^{a,A} ± 1.30	12.1 ^{a,A} ± 1.22
	VF	16.0 ^{ab,A} ± 0.37	17.8 ^{b,B} ± 3.11	14.4 ^{a,A} ± 0.57	12.5 ^{a,A} ± 4.57	11.9 ^{a,A} ± 0.62

¹⁸ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamiento de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

Tabla 3.17: Contenido de ceras (CC, mg/g) y composición de alcanos (%) en hojas de olivo, var. *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), aplicados durante el periodo pre-floración – floración, en dos ciclo de cultivo (2009 y 2010). VI: Valor inicial obtenido al inicio de la aplicación de los tratamientos de riego (mediados de junio). VF: Valor final obtenido 5 días antes de la reposición del riego al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (fines de octubre).¹⁹

Ciclo	2009	Tratamiento de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
CC	VI	11.7 ^{a,A} ± 0.79	14.5 ^{a,A} ± 2.07	14.1 ^{a,A} ± 0.71	14.5 ^{a,A} ± 2.43	14.0 ^{a,A} ± 2.65
	VF	20.0 ^{a,B} ± 4.57	12.6 ^{a,A} ± 2.50	13.5 ^{a,A} ± 0.76	17.8 ^{a,A} ± 2.07	19.1 ^{a,A} ± 4.86
C ₂₉	VI	10.8 ^{a,A} ± 2.20	12.2 ^{a,B} ± 0.77	11.7 ^{a,B} ± 2.76	12.3 ^{a,B} ± 1.47	11.6 ^{a,A} ± 2.02
	VF	6.77 ^{ab,A} ± 0.25	7.55 ^{b,A} ± 0.90	6.08 ^{a,A} ± 0.68	9.11 ^{c,A} ± 0.87	9.60 ^{c,A} ± 0.28
C ₃₀	VI	2.34 ^{a,A} ± 0.29	2.64 ^{a,B} ± 0.03	2.88 ^{a,B} ± 0.33	2.55 ^{a,A} ± 0.16	2.67 ^{a,A} ± 0.13
	VF	1.95 ^{a,A} ± 0.09	2.04 ^{a,A} ± 0.08	2.02 ^{a,A} ± 0.25	2.56 ^{b,A} ± 0.20	2.53 ^{b,A} ± 0.11
C ₃₁	VI	30.4 ^{a,B} ± 0.87	30.8 ^{a,A} ± 0.17	30.6 ^{a,A} ± 1.38	30.9 ^{a,A} ± 0.81	30.7 ^{a,A} ± 0.92
	VF	24.7 ^{a,A} ± 0.88	29.4 ^{b,A} ± 1.58	30.4 ^{b,A} ± 0.29	31.1 ^{bc,A} ± 2.09	32.7 ^{c,B} ± 1.37
C ₃₂	VI	5.44 ^{a,A} ± 0.18	5.70 ^{a,A} ± 0.27	5.72 ^{a,A} ± 0.46	5.59 ^{a,A} ± 0.27	5.76 ^{a,A} ± 0.45
	VF	5.49 ^{a,A} ± 0.38	5.49 ^{a,A} ± 0.30	5.80 ^{a,A} ± 0.55	5.74 ^{a,A} ± 0.51	5.45 ^{a,A} ± 0.27
C ₃₃	VI	33.3 ^{a,A} ± 2.72	33.1 ^{a,A} ± 0.86	32.8 ^{a,A} ± 2.01	33.7 ^{a,A} ± 2.46	32.0 ^{a,A} ± 1.25
	VF	36.8 ^{d,A} ± 0.52	35.0 ^{bc,B} ± 0.48	36.5 ^{cd,B} ± 0.48	33.4 ^{ab,A} ± 1.37	32.8 ^{a,A} ± 1.01
C ₃₄	VI	3.94 ^{a,A} ± 0.07	3.70 ^{a,A} ± 0.13	3.86 ^{a,A} ± 0.38	3.52 ^{a,A} ± 0.11	3.75 ^{a,A} ± 0.32
	VF	3.70 ^{b,A} ± 0.13	4.17 ^{a,A} ± 0.28	4.23 ^{a,A} ± 0.19	4.09 ^{a,B} ± 0.43	3.93 ^{a,A} ± 0.07
C ₃₅	VI	13.7 ^{a,A} ± 0.40	11.7 ^{a,A} ± 1.32	12.3 ^{a,A} ± 0.84	11.4 ^{a,A} ± 0.44	13.4 ^{a,A} ± 0.39
	VF	19.3 ^{d,B} ± 0.16	16.4 ^{c,B} ± 1.15	14.9 ^{b,B} ± 0.84	13.9 ^{ab,B} ± 0.80	12.9 ^{a,A} ± 0.63
Ciclo 2010						
CC	IV	13.8 ^{a,A} ± 1.42	16.5 ^{a,A} ± 0.41	17.1 ^{a,A} ± 0.18	15.3 ^{a,A} ± 1.76	12.6 ^{a,A} ± 3.07
	EV	19.8 ^{a,A} ± 2.60	19.5 ^{a,A} ± 3.61	16.3 ^{a,A} ± 2.55	17.2 ^{a,A} ± 2.0	16.0 ^{a,A} ± 4.63
C ₂₉	IV	13.1 ^{a,B} ± 0.35	13.8 ^{a,B} ± 4.45	11.0 ^{a,B} ± 2.11	10.9 ^{a,A} ± 1.24	12.3 ^{a,A} ± 3.47
	EV	4.38 ^{a,A} ± 1.45	5.72 ^{a,A} ± 0.68	5.65 ^{a,A} ± 1.12	10.1 ^{b,A} ± 1.93	13.1 ^{c,A} ± 0.90
C ₃₀	IV	2.72 ^{a,B} ± 0.11	2.76 ^{a,B} ± 0.12	2.60 ^{a,B} ± 0.01	2.68 ^{a,A} ± 0.23	2.55 ^{a,A} ± 0.15
	EV	1.67 ^{a,A} ± 0.19	1.86 ^{a,A} ± 0.01	1.80 ^{a,A} ± 0.16	2.61 ^{c,A} ± 0.28	2.30 ^{b,A} ± 0.17
C ₃₁	IV	31.7 ^{a,A} ± 0.69	30.5 ^{a,A} ± 1.31	31.9 ^{a,B} ± 0.56	30.1 ^{a,A} ± 0.30	31.5 ^{a,A} ± 1.06
	EV	25.1 ^{a,A} ± 4.92	27.6 ^{ab,A} ± 2.26	28.5 ^{abc,A} ± 1.64	30.9 ^{bc,A} ± 1.30	31.6 ^{c,A} ± 1.28
C ₃₂	IV	5.43 ^{a,A} ± 0.62	5.32 ^{a,A} ± 0.99	6.10 ^{a,A} ± 0.92	5.94 ^{a,A} ± 0.08	5.36 ^{a,A} ± 0.77
	EV	5.96 ^{a,A} ± 0.16	5.95 ^{a,A} ± 0.20	5.47 ^{a,A} ± 0.19	6.20 ^{a,A} ± 0.51	5.87 ^{a,A} ± 0.78
C ₃₃	IV	31.4 ^{a,A} ± 0.05	30.7 ^{a,A} ± 1.93	32.8 ^{a,A} ± 1.35	32.1 ^{a,A} ± 1.29	32.1 ^{a,A} ± 2.48
	EV	37.6 ^{b,B} ± 0.49	37.9 ^{b,B} ± 1.65	36.8 ^{b,B} ± 1.12	32.5 ^{a,A} ± 2.38	29.6 ^{a,A} ± 2.35
C ₃₄	IV	3.32 ^{a,A} ± 0.18	4.09 ^{a,A} ± 1.29	3.53 ^{a,A} ± 0.27	4.00 ^{a,A} ± 0.13	3.49 ^{a,A} ± 0.41
	EV	5.37 ^{a,A} ± 1.31	4.72 ^{a,A} ± 0.37	4.59 ^{a,B} ± 0.42	3.54 ^{a,A} ± 0.41	4.40 ^{a,A} ± 1.02
C ₃₅	IV	12.2 ^{a,A} ± 0.13	12.6 ^{a,A} ± 2.18	12.0 ^{a,A} ± 0.22	14.2 ^{a,A} ± 0.45	12.7 ^{a,A} ± 1.18
	EV	19.8 ^{b,B} ± 0.52	16.2 ^{b,B} ± 1.92	17.0 ^{b,B} ± 1.94	14.0 ^{a,A} ± 1.46	12.9 ^{a,A} ± 2.57

¹⁹ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. En cada fila los valores medios seguidos de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los tratamiento de riego. En cada columna los valores medios seguidos de letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre VI y VF de cada parámetro en cada tratamiento de riego.

Bajo las condiciones empleadas en este trabajo, la mayor parte de la cera extraída corresponde a la depositada sobre la cutícula foliar, y se conoce como cera epicuticular (Bianchi *et al.*, 1993; Baker y Procopiou, 2000; Sánchez *et al.*, 2001).

En la var. *Arbequina*, los niveles basales obtenidos al inicio de cada ciclo de cultivo variaron entre 1501 -1591 mg cera/g hoja (primer ciclo de cultivo), y entre 1223 – 1498 mg cera/g hoja (segundo ciclo de cultivo). Estas concentraciones están comprendidas dentro del rango de valores (1200 – 1700 mg cera/g hoja) informado por Bianchi *et al.* (1993) en hojas de variedades de olivo cultivadas en Italia. En el primer ciclo de cultivo, se detectaron variaciones significativas entre el inicio y la finalización en el tratamiento de riego T25. En el segundo ciclo, las diferencias fueron significativas en T50 y T75. No se observaron tendencias definidas (aumento o disminución del contenido de ceras) en función del porcentaje de restricción hídrica.

En la variedad *Manzanilla* los valores iniciales fueron similares a los registrados en Arbequina. Luego del periodo de restricción hídrica, se obtuvieron incrementos significativos en el tratamiento T0, en el primer ciclo de cultivo.

No se encontraron correlaciones significativas entre el contenido de ceras epicuticulares y el Ψ_{tallo} en ningunas de las variedades estudiadas (Tablas 3.18 y 3.19)

Numerosos antecedentes indican que las ceras epicuticulares, particularmente la fracción de hidrocarburos, intervienen en la regulación de la permeabilidad de la cutícula a través del control de la velocidad de difusión del agua y solutos asociados (Kolattukudy, 1976; Bianchi, 1995; Post-Beittenmiller, 1996). Kolattukudy (1976) ha señalado que, por su elevado carácter hidrofóbico, aquellos componentes de la cera presentan una gran eficacia para reducir la pérdida de agua a través de la superficie foliar. También se ha señalado que las ceras epicuticulares contribuyen al mantenimiento de la turgencia celular al reflejar una gran proporción de la radiación solar incidente (Sánchez *et al.*, 2001).

Tabla 3.18. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros bioquímicos en hojas de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, durante el primer ciclo de cultivo.²⁰

Parámetro	Variedad	
	Arbequina	Manzanilla
Prolina	-0.91**	-0.88**
MDA	-0.73**	-0.75**
Feof-a	0.66**	0.82**
Feof-b	0.64**	0.84**
Carot.	0.71**	0.75**
Cl-a.	0.66**	0.79**
Cl.-b	0.69**	0.73**
Cl.-(a+b)	0.68**	0.78**
Feof_(a+b)	0.66**	0.83**
Cantidad ceras	0.25*	0.28*
Espesor cuticular	-0.97**	-0.86**
C ₂₉	0.87**	0.80**
C ₃₀	0.90**	0.80**
C ₃₁	0.60**	0.79**
C ₃₂	0.004	-0.12
C ₃₃	-0.81**	-0.81**
C ₃₄	-0.63**	-0.66**
C ₃₅	-0.74**	-0.86**

²⁰ ** Indica una correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

* Indica una correlación estadísticamente significativa ($0.05 \leq p < 0.1$)

Tabla 3.19. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros bioquímicos en hojas de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, durante el segundo ciclo de cultivo.²¹

Parámetro	Variedad	
	Arbequina	Manzanilla
Prolina	-0.91**	-0.88**
MDA	-0.84**	-0.87**
Fn	0.99**	0.96**
Ce	0.98**	0.94**
Feof-a	0.69**	0.68**
Feof-b	0.58**	0.65**
Carot.	0.62**	0.61**
Cl.-a	0.69**	0.67**
Cl.-b	0.53**	0.57**
Cl.-(a+b)	0.65**	0.65**
Feof.-(a+b)	0.66**	0.68**
Cantidad ceras	-0.04	0.07
Espesor cuticular	-0.96**	-0.92**
C ₂₉	0.89**	0.92**
C ₃₀	0.80**	0.79**
C ₃₁	0.10	0.84**
C ₃₂	-0.44**	0.17
C ₃₃	-0.72**	-0.86**
C ₃₄	-0.20	-0.44**
C ₃₅	-0.57**	-0.76**

²¹ ** Indica una correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

* Indica una correlación estadísticamente significativa ($0.05 \leq p < 0.1$).

En concordancia con estudios realizados por Bianchi *et al.* (1993), la fracción de hidrocarburos de las ceras epicuticulares estuvo representada mayoritariamente por n-alcenos de número impar de átomos de carbono (C_{29} - C_{35}); el hentriacontano (C_{31}) y el tritriacontano (C_{33}) constituyeron más del 60 % del contenido total de esta fracción.

Los patrones de distribución de alcanos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de RD, en las dos variedades analizadas. En ambos ciclos de cultivo, una vez finalizado el periodo de aplicación de RD, se observó un incremento significativo en las concentraciones de alcanos de mayor peso molecular (C_{33} , C_{34} y C_{35}) en los tratamientos con mayor restricción hídrica (T0, T25 y T50) (Tablas 3.16 y 3.17).

Aunque no existen antecedentes en olivo acerca de la posible influencia del estrés hídrico sobre el patrón de composición de ceras foliares, Bondada *et al.* (1996) han observado una tendencia similar en distintos órganos (hojas, brácteas) de plantas de algodón sometidas a diferentes niveles de estrés hídrico.

Algunos estudios físico-químicos han determinado que el incremento en el peso molecular a través de la serie homóloga de n-alcenos conlleva un aumento en el carácter hidrofóbico de la mezcla (Tolls *et al.*, 2002; Wu y Prausnitz, 2008). En tal sentido, es posible inferir un aumento en la hidrofobicidad de la superficie foliar en función de un incremento en la síntesis y deposición de alcanos de mayor tamaño molecular. Esta podría constituir una respuesta del olivo a condiciones hídricas deficitarias. En apoyo a tal hipótesis, se observó una correlación negativa estadísticamente significativa entre el Ψ_{tallo} y la concentración de alcanos de peso molecular más elevado (C_{33} , C_{34} y C_{35}) (Tablas 3.18 y 3.19). Dicha respuesta parece responder a un patrón reversible. Luego de la finalización de la fase de aplicación de RD y tras el periodo de reposición del riego al 100 % de la Etc, las concentraciones de los distintos componentes de la fracción de alcanos no presentaron diferencias significativas con los valores medidos al inicio de la aplicación de la restricción hídrica (VI 2010 vs VI 2009).

FLORACIÓN, FRUCTIFICACIÓN Y PRODUCTIVIDAD

En la Figura 3.16 se observa el efecto de los distintos tratamientos de riego sobre la duración de la etapa de floración en olivo (*Olea europaea* L.) de las variedades *Arbequina* y *Manzanilla*, durante el primer ciclo de cultivo. La restricción del aporte hídrico trajo como consecuencia un retraso del inicio de la plena floración y un acortamiento del periodo de floración.

Tras la inducción floral, la brotación de las yemas de flor inicia el crecimiento y desarrollo de las inflorescencias y de las flores. En esta etapa se manifiesta una característica muy acusada en el olivo: la competencia por fotoasimilados entre las flores en desarrollo y los brotes en crecimiento (Rallo y Cuevas, 2008). Dicha competencia podría explicar las diferencias temporales en la floración entre los distintos tratamientos de riego. En aquellos con mayor restricción hídrica, la menor disponibilidad de asimilados puede ser la causa del retraso observado en el inicio del periodo de floración.

En la Tabla 3.20 se presentan datos de parámetros relacionados a la floración y fructificación de la variedad *Arbequina* durante el primer ciclo de cultivo. En relación al crecimiento de inflorescencias, número de flores/inflorescencia y número de frutos/inflorescencia, todos los tratamientos de riego analizados presentaron el mismo patrón de agrupamiento: T0, T25 < T50 < T75, T100. Los tres parámetros mencionados mostraron correlaciones positivas, altamente significativas ($p < 0.01$), con el Ψ_{tallo} (Tabla 3.21).

En el tratamiento sin restricción hídrica (T100) se registraron incrementos del 61 % y del 129 % en el número de flores/inflorescencia y en el número de frutos/inflorescencia, respectivamente, con respecto al tratamiento sin aporte de agua de riego. La correlación entre estos parámetros fue positiva y altamente significativa ($r = 0.99$, $p < 0.0001$).

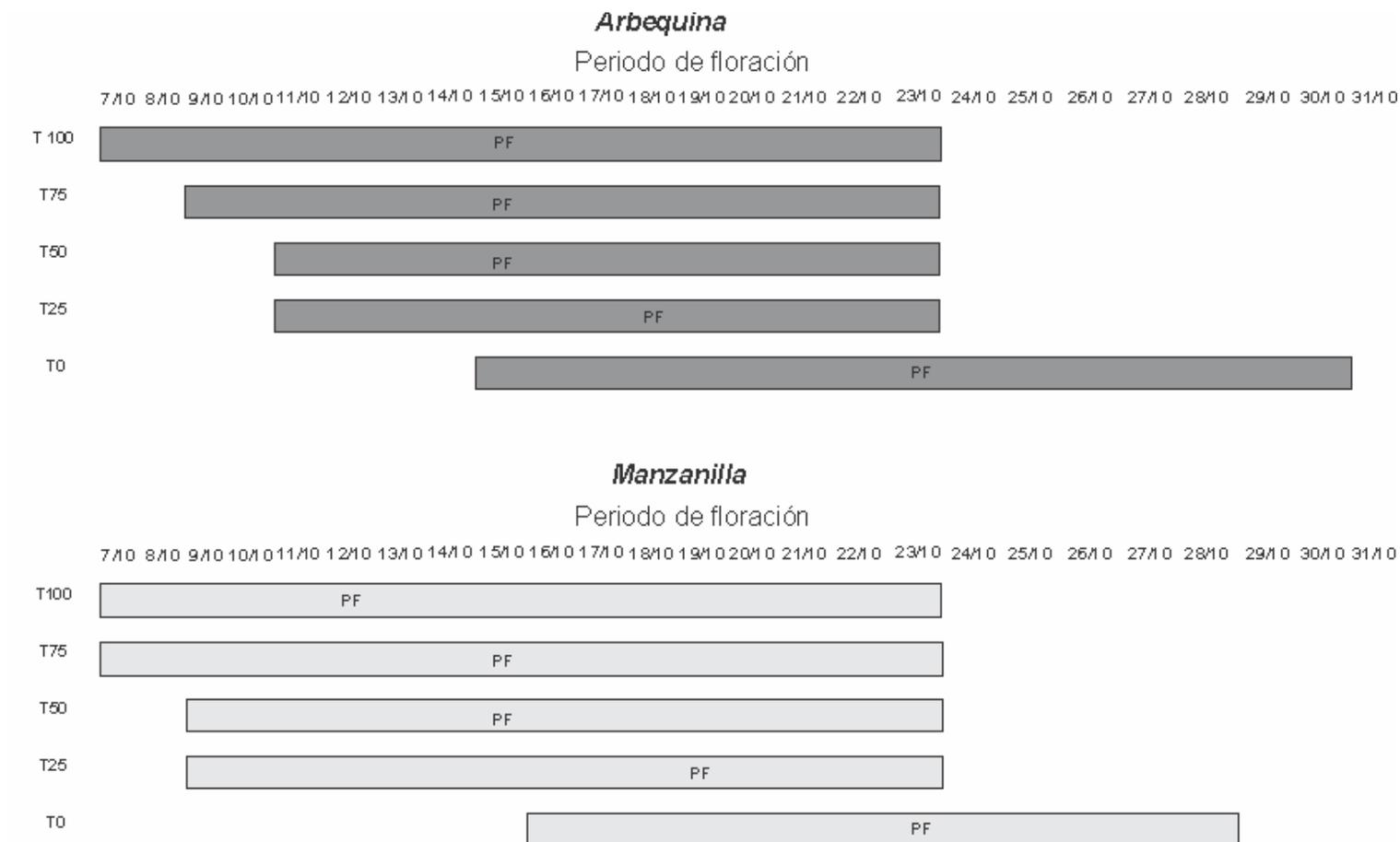


Figura 3.16. Evolución de la floración en olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.

Tabla 3.20. Características de la floración y fructificación de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo distintos tratamiento de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo²²

Parámetro	Variedad	Tratamientos de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
Longitud de la inflorescencia (mm)	Arbequina	15.5 ^c ± 2.8	15.4 ^c ± 2.3	16.7 ^b ± 3.2	21.1 ^a ± 2.8	22.7 ^a ± 1.6
	Manzanilla	16.5 ^b ± 2.6	17.8 ^b ± 2.5	19.4 ^b ± 3.5	24.2 ^a ± 2.8	25.0 ^a ± 1.6
Número de flores/ inflorescencia	Arbequina	12.3 ^c ± 2.4	13.7 ^c ± 1.7	15.9 ^b ± 2.2	18.2 ^a ± 2.1	19.8 ^a ± 1.4
	Manzanilla	11.1 ^c ± 1.1	13.2 ^b ± 1.8	14.2 ^{ab} ± 3.1	16.4 ^a ± 2.4	16.7 ^a ± 3.1
Número de frutos/inflorescencia	Arbequina	0.31 ^c ± 0.05	0.38 ^c ± 0.08	0.53 ^b ± 0.04	0.66 ^a ± 0.10	0.71 ^a ± 0.16
	Manzanilla	0.19 ^c ± 0.08	0.23 ^c ± 0.06	0.43 ^{ab} ± 0.1	0.46 ^a ± 0.09	0.48 ^a ± 0.08
Número de frutos/ numero de flores	Arbequina	0.025 ^a ± 0.006	0.028 ^a ± 0.002	0.033 ^b ± 0.002	0.036 ^b ± 0.001	0.036 ^b ± 0.01
	Manzanilla	0.017 ^a ± 0.001	0.017 ^a ± 0.002	0.030 ^c ± 0.001	0.028 ^b ± 0.002	0.029 ^{bc} ± 0.001
Índice de madurez	Arbequina	3.53 ^c ± 0.18	3.48 ^c ± 0.22	2.28 ^b ± 0.33	2.06 ^a ± 0.08	2.12 ^a ± 0.12
	Manzanilla	2.25 ^c ± 0.21	2.21 ^c ± 0.09	1.76 ^b ± 0.15	1.53 ^a ± 0.04	1.49 ^a ± 0.07

²² Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

En la variedad *Manzanilla* se observó un comportamiento similar aunque el patrón obtenido fue más heterogéneo. El crecimiento de la inflorescencia no presentó diferencias entre T0, T25 y T50, siendo significativamente más bajo con respecto a T75 y T100. Este patrón no se reflejó de la misma manera en el número de flores/inflorescencia y en el número de frutos/inflorescencia. El primero mostró valores significativamente menores sólo en T0, mientras que para el segundo parámetro se observaron dos grupos significativamente diferentes: T0, T25 < T50, T75, T100. El tratamiento T100 registró incrementos del 50.4 % y del 152.6 % en el número de flores y frutos por inflorescencia, respectivamente, en relación a T0. Del mismo modo que en *Arbequina*, estos parámetros se correlacionaron positivamente con el Ψ_{tallo} (Tabla 3.21).

Tabla 3.21. Coeficientes de correlación de Pearson entre potencial hídrico de tallo a mediodía y diferentes parámetros productivos en olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, durante los dos ciclos de cultivos.²³

Parámetro	Variedad	Primer ciclo	Segundo ciclo
Longitud de la inflorescencia (mm)	Arbequina	0.84**	0.37
	Manzanilla	0.86**	0.38
Número de flores/inflorescencia	Arbequina	0.87**	0.33
	Manzanilla	0.71**	0.45
Número de frutos/inflorescencia	Arbequina	0.89**	0.33
	Manzanilla	0.76**	0.19
Número de frutos/numero de flores	Arbequina	0.45**	0.25
	Manzanilla	0.67**	0.08
Rendimiento de frutos (kg/arbol)	Arbequina	0.94**	-0.13
	Manzanilla	0.91**	0.004
EUA	Arbequina	0.91**	-0.79**
	Manzanilla	0.86**	-0.87**

²³ ** Indica una correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

* Indica una correlación estadísticamente significativa ($0.05 \leq p \leq 0.1$)

De acuerdo a Rallo y Cuevas (2008) y Rapoport *et al.* (2012), en situaciones limitantes de agua, los procesos de desarrollo de inflorescencias, flores, ovario y primordios seminales pueden verse condicionados de modo que afecten a la capacidad fructífera del olivo. En el presente trabajo, la relación número de frutos/número de flores fue significativamente más baja en los tratamientos con mayor restricción hídrica (T0 y T25) indicando que el déficit hídrico durante el periodo prefloración – floración, además de limitar el desarrollo floral, también provoca una disminución en el cuajado de frutos, lo cual podría estar relacionado a una disminución en la relación entre flores perfectas e imperfectas, a una menor receptividad del estigma, longevidad del óvulo, y duración de la floración.

La carga frutal, es decir el número de frutos por árbol, es posiblemente el factor principal determinante del tamaño y peso de los mismos (Rallo y Cuevas, 2008). En el primer ciclo de cultivo, en ambas variedades, estos parámetros se correlacionaron negativamente con la productividad (Tabla 3.22). Ésta constituye una respuesta común en los frutales de carozo, siendo particularmente acusada en el olivo (Lavee y Wodner, 1991; Trentacoste *et al.*, 2010), sin embargo esta compensación fue insuficiente para mantener la producción a valores semejantes a los tratamientos controles.

Los diferentes tratamientos de riego ejercieron una influencia notable sobre la productividad de los árboles (Tabla 3.23, Figura 3.17). El rendimiento de frutos por árbol se incrementó significativamente con el aumento de la dotación de agua de riego y presentó una correlación positiva, estadísticamente significativa, con el Ψ_{tallo} (Tabla 3.21).

En la var. *Arbequina*, el tratamiento sin restricción hídrica registró un rendimiento promedio de 90 kg/árbol, casi diez veces más elevado que el obtenido en el tratamiento sin aporte de agua de riego. El tratamiento T100 no se diferenció significativamente del T75. Este hecho sugiere que, para las condiciones agro-ecológicas del NO de la provincia de Córdoba, esta variedad cultivada con un aporte hídrico equivalente al 75 % de sus completas necesidades teóricas en el periodo estudiado, podría alcanzar su máximo potencial de rendimiento.

En la var. *Manzanilla* la tasa de incremento del rendimiento fue lineal, alcanzando un valor máximo de productividad (138 kg/árbol) en el tratamiento sin déficit hídrico. Este valor se diferenció significativamente del observado en T75 y resultó, asimismo, casi siete veces más alto al rendimiento registrado en T0.

Tabla 3.22. Coeficientes de correlación de Pearson entre número de frutos/árbol y diferentes parámetros bioquímicos y productivos en olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, durante los dos ciclos de cultivos.²⁴

Parámetro	Variedad			
	Arbequina 2009	Manzanilla 2009	Arbequina 2010	Manzanilla 2010
Peso frutos	-0.98**	-0.91**	-0.41	-0.22
Índice de madurez	-0.87**	-0.85**	-0.45	-0.13
Contenido de aceite (g/kg. BS)	-0.69**	-0.79**	-0.24	0.15
Contenido de aceite (g/kg. BF)	-0.70**	-0.71**	-0.46	0.06
16:0	-0.74**	-0.24	-0.47	0.08
16:1	-0.51*	-0.16	-0.44	0.15
18:0	-0.29	0.29	-0.15	0.10
18:1	0.75**	0.12	0.36	-0.17
18:2	-0.70**	0.01	0.07	0.18
18:3	0.06	0.13	-0.47	-0.22
Fenoles Totales	0.82**	0.77**	-0.20	-0.25

²⁴ ** Indica una correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

* Indica una correlación estadísticamente significativa ($0.05 \leq p \leq 0.1$)

Tabla 3.23. Eficiencia del uso del agua (EUA), rendimiento de frutos y aceite de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.²⁵

Parámetro	Variedad	Tratamientos de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
Rendimiento de frutos (kg/árbol)	Arbequina	9.3 ^a ± 1.15	20.0 ^a ± 4.08	37.3 ^b ± 7.51	82.5 ^c ± 9.57	90.0 ^c ± 10
	Manzanilla	20.0 ^a ± 7.07	43.3 ^a ± 17.5	60.0 ^{ab} ± 10	96.7 ^b ± 20.8	138.0 ^c ± 28.6
Peso frutos	Arbequina	1,84 ^b ± 0.43	1,82 ^b ± 0.39	1,76 ^b ± 0.31	1,61 ^a ± 0.27	1,59 ^a ± 0.31
	Manzanilla	3,29 ^b ± 0.66	3,21 ^b ± 0.59	3,06 ^b ± 0.62	2,57 ^a ± 0.34	2,51 ^a ± 0.32
Número frutos/árbol	Arbequina	5072 ^a ± 628	10989 ^a ± 2243	21212 ^b ± 4265	51242 ^c ± 5947	56604 ^c ± 6289
	Manzanilla	6079 ^a ± 2149	13499 ^a ± 5470	19608 ^a ± 3268	37613 ^b ± 8100	54980 ^c ± 11409
EUA	Arbequina	2.74 ^a ± 0.34	5.26 ^b ± 0.82	8.45 ^c ± 1.70	16.7 ^d ± 1.94	16.5 ^d ± 1.84
	Manzanilla	5.88 ^a ± 2.08	11.1 ^a ± 4.50	13.6 ^{ab} ± 2.27	19.6 ^{bc} ± 4.22	25.3 ^c ± 5.25
Rendimiento de aceite (kg/árbol)	Arbequina	1.86 ^a ± 0.29	3.99 ^a ± 0.80	7.09 ^b ± 1.58	15.3 ^c ± 1.60	16.9 ^c ± 1.89
	Manzanilla	3.30 ^a ± 1.02	6.96 ^a ± 2.92	9.22 ^{ab} ± 1.53	13.7 ^b ± 2.78	20.0 ^c ± 4.48
Contenido de aceite (g/kg. BS)	Arbequina	497.8 ^c ± 21.3	488.8 ^{bc} ± 11.0	466.6 ^{ab} ± 15.2	465.6 ^a ± 13.9	459.4 ^a ± 3.20
	Manzanilla	429.6 ^b ± 5.0	411.9 ^b ± 5.8	393.4 ^b ± 33.2	344.6 ^a ± 11.3	344.3 ^a ± 21.4
Contenido de aceite (g/kg. BF)	Arbequina	198.7 ^b ± 8.4	199.4 ^b ± 1.8	189.4 ^a ± 7.1	186.0 ^a ± 3.9	188.3 ^a ± 8.0
	Manzanilla	166.2 ^d ± 7.6	159.7 ^{cd} ± 4.0	153.8 ^{bc} ± 8.4	142.3 ^a ± 2.2	144.6 ^{ab} ± 5.8

²⁵ Valores medios (n = 3) ± desvió estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

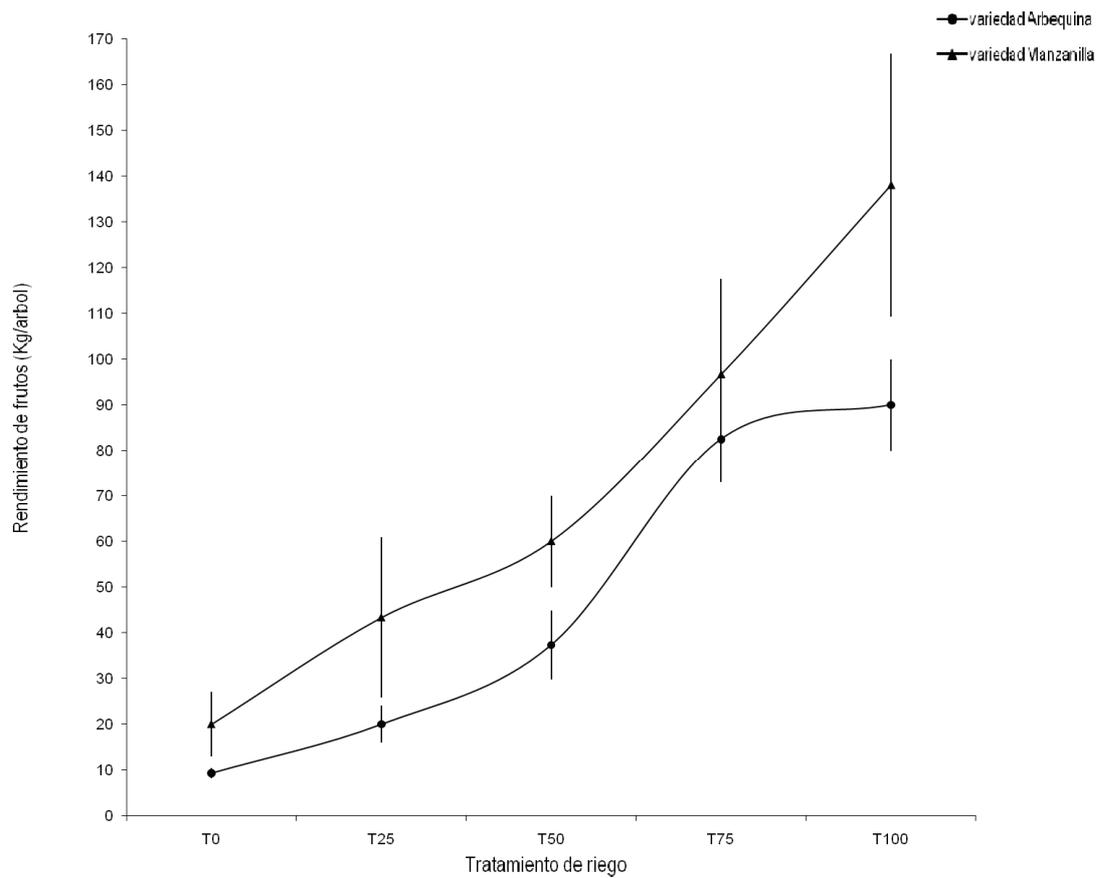


Figura 3.17. Rendimiento de frutos (Kg/árbol) de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en el primer ciclo de cultivo.²⁶

²⁶ Cada punto representa el valor medio (n= 3) \pm desvío estándar.

Tabla 3.24. Características de la floración y fructificación de olivo bajo distintos tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), var. *Arbequina* y *Manzanilla*, en el segundo ciclo de cultivo.²⁷

Parámetro	Variedad	Tratamientos de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
Longitud de la inflorescencia (mm)	Arbequina	18.6 ^a ± 2.6	18.7 ^a ± 1.9	19.6 ^a ± 2.1	19.5 ^a ± 2.8	20.3 ^a ± 2.3
	Manzanilla	18.8 ^a ± 2.5	18.7 ^a ± 2.6	19.3 ^a ± 1.8	20.1 ^a ± 2.2	19.3 ^a ± 2.2
Número de flores/ inflorescencia	Arbequina	16.4 ^a ± 3.1	17.0 ^a ± 2.4	16.6 ^a ± 2.3	17.9 ^a ± 3.4	17.6 ^a ± 2.1
	Manzanilla	13.0 ^b ± 1.73	12.5 ^b ± 1.42	13.6 ^a ± 1.16	14.0 ^a ± 1.45	13.8 ^a ± 1.64
Número de frutos/inflorescencia	Arbequina	0.31 ^a ± 0.10	0.23 ^b ± 0.13	0.33 ^a ± 0.11	0.31 ^a ± 0.15	0.34 ^a ± 0.12
	Manzanilla	0.15 ^a ± 0.07	0.18 ^a ± 0.07	0.21 ^a ± 0.06	0.17 ^a ± 0.08	0.19 ^a ± 0.05
Número de frutos/ numero de flores	Arbequina	0.019 ^a ± 0.003	0.014 ^a ± 0.005	0.020 ^a ± 0.004	0.017 ^a ± 0.005	0.019 ^a ± 0.005
	Manzanilla	0.012 ^a ± 0.001	0.014 ^a ± 0.005	0.015 ^a ± 0.003	0.012 ^a ± 0.004	0.014 ^a ± 0.002
Índice de madurez	Arbequina	3.95 ^a ± 0.32	3.72 ^a ± 0.31	3.98 ^a ± 0.29	3.98 ^a ± 0.17	3.84 ^a ± 0.31
	Manzanilla	2.36 ^b ± 0.24	2.45 ^b ± 0.31	1.64 ^a ± 0.21	1.71 ^a ± 0.23	2.27 ^b ± 0.22

²⁷ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

Tabla 3.25. Eficiencia del uso del agua (EUA), rendimiento de frutos y aceite de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo²⁸

Parámetro	Variedad	Tratamientos de riego				
		T0	T25	T50	T75	T100
Rendimiento de frutos (kg/árbol)	Arbequina	8.5 ^a ± 0.85	12.4 ^a ± 3.12	7.8 ^a ± 1.21	8.1 ^a ± 2.07	10.9 ^a ± 2.21
	Manzanilla	15.6 ^a ± 0.85	16.1 ^a ± 2.11	15.3 ^a ± 1.22	16.3 ^a ± 1.74	15.3 ^a ± 1.52
Peso frutos	Arbequina	1,41 ^b ± 0.30	1,35 ^{ab} ± 0.23	1,29 ^a ± 0.26	1,24 ^a ± 0.25	1,42 ^b ± 0.25
	Manzanilla	2,57 ^a ± 0.56	2,62 ^a ± 0.46	2,59 ^a ± 0.58	2,68 ^a ± 0.51	2,66 ^a ± 0.56
Número frutos/árbol	Arbequina	6028 ^a ± 606	9185 ^a ± 2318	6047 ^a ± 940	6532 ^a ± 1670	6699 ^a ± 3100
	Manzanilla	6070 ^a ± 330	6132 ^a ± 806	5907 ^a ± 470	6206 ^a ± 732	5752 ^a ± 494
EUA	Arbequina	7.73 ^b ± 0.77	7.38 ^b ± 1.87	3.45 ^a ± 0.53	2.86 ^a ± 0.73	3.18 ^a ± 0.65
	Manzanilla	14.2 ^d ± 0.77	9.56 ^c ± 1.26	6.77 ^b ± 0.54	5.76 ^b ± 0.61	4.49 ^a ± 0.45
Rendimiento de aceite (kg/árbol)	Arbequina	1.80 ^a ± 0.35	2.57 ^a ± 0.72	1.64 ^a ± 0.41	1.71 ^a ± 0.31	2.27 ^a ± 0.47
	Manzanilla	2.54 ^a ± 0.51	2.57 ^a ± 0.21	2.58 ^a ± 0.43	2.66 ^a ± 0.33	2.38 ^a ± 0.29
Contenido de aceite (g/kg. BS)	Arbequina	478.8 ^a ± 36.4	443.6 ^a ± 68.7	456.6 ^a ± 39.8	465.6 ^a ± 31.1	429.2 ^a ± 46.0
	Manzanilla	403.1 ^a ± 45.4	401.7 ^a ± 21.4	400.3 ^a ± 41.3	394.2 ^a ± 31.1	396.1 ^a ± 27.4
Contenido de aceite (g/kg. BF)	Arbequina	211.5 ^a ± 7.82	207.4 ^a ± 12.3	209.7 ^a ± 8.94	211.5 ^a ± 11.5	208.7 ^a ± 10.1
	Manzanilla	162.7 ^a ± 13.2	159.7 ^a ± 13.1	168.4 ^a ± 11.2	163.2 ^a ± 15.1	155.8 ^a ± 13.2

²⁸ Valores medios (n = 3) ± desvió estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

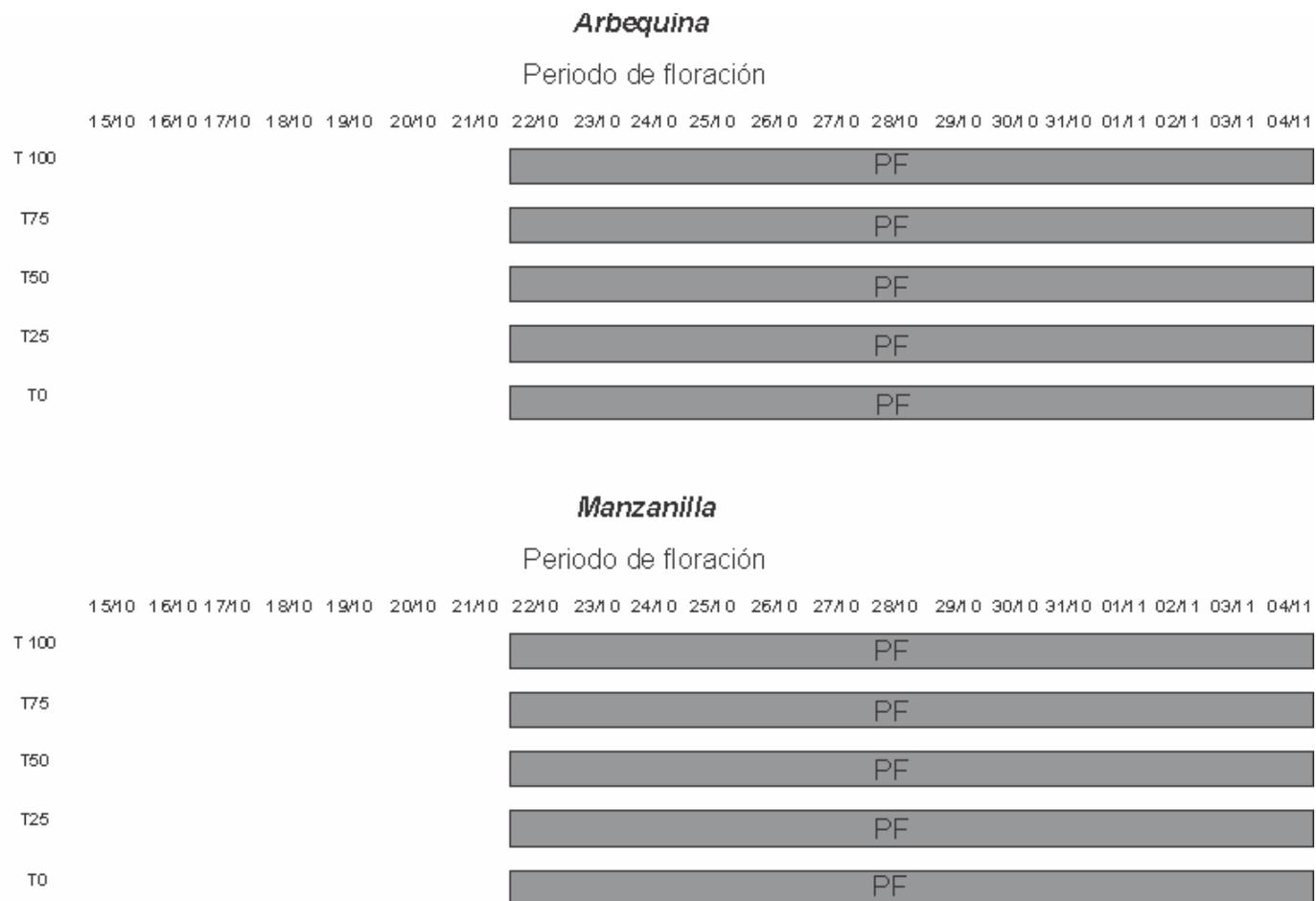


Figura 3.18. Evolución de la floración de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo

La eficiencia en el uso del agua (EUA) es un indicador habitualmente utilizado para estimar la eficacia de estrategias de manejo del riego (Fereres y Soriano, 2007) y se basa en la productividad (kg de frutos, base fresca) por lámina de riego aplicada por hectárea.

En la var. *Arbequina*, los tratamientos T75 y T100 presentaron valores de EUA significativamente más elevados que los restantes tratamientos. Con respecto a T0, el porcentaje de incremento fue de 500 % aproximadamente. En la var. *Manzanilla* se obtuvieron estimaciones de EUA comprendidas entre 5.88 y 25.3 kg de frutos/mm/ha. El T100 se diferenció significativamente de los restantes tratamientos, registrando un porcentaje de incremento del 330 % con respecto a T0. En ambas variedades los valores de EUA se correlacionaron positivamente con el Ψ_{tallo} (Tabla 3.21).

Correa-Tedesco *et al.* (2010) evaluaron la respuesta del cultivar *Manzanilla Fina* a la aplicación de cinco tratamientos de RD en el periodo setiembre – mayo, durante dos años consecutivos, en la provincia de La Rioja. La máxima productividad se alcanzó en el segundo ciclo de cultivo, con dotaciones de agua de riego equivalentes a 0.70 – 0.85 de Kc. Estos autores determinaron, valores de EUA comprendidos entre 14.1 y 21.3 Kg/mm/ha, los cuales resultan inferiores al valor estimado en el presente trabajo para la var. *Manzanilla* en el tratamiento regado al 100 % de la Etc en el primer ciclo de cultivo. Sin embargo, si se consideran ambos ciclos de producción estudiados, se obtiene un valor promedio de EUA semejante al citado por dichos autores.

Al comparar los resultados obtenidos en los distintos tratamientos de riego durante el segundo año de cultivo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para la mayor parte de los parámetros relacionados a la floración y productividad. Tampoco se registraron correlaciones significativas entre estos parámetros y el Ψ_{tallo} (Tablas 3.21, 3.24 y 3.25 y Figura 3.18). En el segundo ciclo de cultivo, la floración fue sustancialmente inferior con respecto al primer ciclo. Los parámetros productivos (número de frutos por inflorescencia y kg/árbol), en tanto, fueron muy similares a aquellos registrados en el T0 del primer ciclo de cultivo.

La disminución en el número de destinos podría ser la causa de las escasas diferencias encontradas en las características de floración y producción del segundo ciclo, ya que la cantidad de foto-asimilados fue suficiente para garantizar un desarrollo floral homogéneo en los distintos tratamientos de riego. También debe tenerse en cuenta la relativa fuerza de destino que ejercen las flores sobre los foto-asimilados. Si bien la floración y el cuajado de los frutos no se vieron afectados por el aporte hídrico, el crecimiento de brotes fue mayor en los tratamientos más irrigados: en las dos variedades el patrón de crecimiento de brotes fue similar al observado en el primer ciclo de cultivo, aunque la tasa de crecimiento vegetativo fue menor.

La distribución de asimilados entre sumideros alternativos juega un papel relevante en los procesos de crecimiento vegetativo y reproductivo. En el olivo, tanto el crecimiento de brotes como el desarrollo de frutos son fenómenos cíclicos. Ambos se repiten anualmente, pero mientras el primero se completa dentro del mismo año, los procesos que conducen a la fructificación requieren dos estaciones consecutivas. En la primera tiene lugar la formación de las yemas, su inducción y el establecimiento del reposo de las mismas. Tras éste, en la segunda estación de crecimiento, tienen lugar el desarrollo de las inflorescencias y de las flores, la floración y el crecimiento y desarrollo de los frutos. De esta manera, la simultaneidad de los procesos vegetativos y reproductivos en el mismo año y entre procesos reproductivos de dos ciclos consecutivos origina, en última instancia, fenómenos de competencia por la distribución de asimilados entre brotes y frutos, que resultan determinantes de la marcada tendencia del olivo a la vecería, esto es, la alternancia de años de alta producción (ciclos de carga) con años de baja producción (ciclos de descarga). De acuerdo a Lavee y Avidan (1994) y Rallo *et al.* (1994) dicha alternancia es debida en gran medida a la inhibición de la inducción floral. Otras investigaciones mencionan evidencias de mecanismos hormonales, de regulación genética y necesidad de requerimientos de horas de frío que también podrían estar involucrados (Bakir *et al.*, 2004; Bukovac *et al.*, 2006; Muñoz-Fambuena *et al.*, 2011; Rosenstock *et al.*, 2010).

El sostenimiento del riego al 100 % de la Etc (T100) en forma ininterrumpida durante ambos ciclos de cultivo y la baja productividad de los árboles mayormente estresados el año anterior no tuvieron efecto sobre la vecería observada en las dos

variedades estudiadas. En este tratamiento, en el segundo ciclo de cultivo, los parámetros de crecimiento reproductivo y la productividad de los árboles resultaron significativamente menores en relación a los valores registrados durante el primer ciclo de cultivo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Selles *et al.* (2006) quienes observaron una marcada alternancia en la producción, en tres años consecutivos, en olivos bajo riego sostenido al 100 % de la Etc durante todo el ciclo de cultivo.

El periodo de maduración del fruto del olivo es variable, siendo afectado principalmente por las características varietales, condiciones climáticas y nivel de carga de los árboles (Beltrán *et al.*, 2008). En el primer ciclo de cultivo, los tratamientos de riego aplicados afectaron significativamente al índice de madurez (IM) de los frutos (Tabla 3.20); aquellos con mayor restricción del aporte hídrico (T0, T25 y T75) se asociaron a IM significativamente más altos.

Beltrán *et al.* (2008) han observado que el nivel de carga de los árboles puede retrasar la maduración. En cualquier caso, ambos fenómenos parecen ser dependientes del estado hídrico del cultivo: en condiciones hídricas no limitantes se alcanza el mayor nivel de carga pero con frutos de menor IM. La correlación entre la carga frutal (número de frutos/árbol) y el IM fue negativa y altamente significativa (Tabla 3.22).

En relación al rendimiento de aceite (expresado como kg/árbol) las diferencias entre los tratamientos se pueden explicar en función del rendimiento de frutos, más que por la influencia del aporte hídrico *per se*. El contenido de aceite (expresado en base a peso de frutos) resultó más elevado en los tratamientos con mayor restricción hídrica. Este hecho, a su vez, puede atribuirse al estado de madurez de los frutos al momento de la cosecha. Torres y Maestri (2006) y Beltrán *et al.* (2008) han observado que, con algunas diferencias varietales menores, el aceite se encuentra totalmente formado cuando el IM alcanza valores cercanos a 3.5, momento en que la mayoría de los frutos están en envero (clases 3 y 4) y algunos tienen la piel negra (clase 4 o superior). Estas observaciones están en concordancia con los datos obtenidos en el presente trabajo: en la var. *Arbequina*, los frutos obtenidos a partir de los tratamientos T0 y T25, con IM próximos a 3.5, presentaron los rendimientos

de aceite más elevados. En la var. *Manzanilla* los IM fueron menores; no obstante, se observó una relación directa con la acumulación de aceite en el fruto.

La composición de ácidos grasos (Tablas 3.26 y 3.27) presentó ciertas diferencias entre los tratamientos. En la var. *Arbequina*, en el primer ciclo de cultivo, se registraron incrementos significativos del ácido oleico y disminuciones significativas en los contenidos de los ácidos palmítico y linoleico, en los tratamientos T75 y T100. Dichas variaciones podrían explicarse en función de la madurez de los frutos. Algunas evidencias indican que, conforme avanza la maduración, la relación entre ácidos mono y poli-insaturados desciende como resultado del incremento en la tasa de conversión del ácido oleico en linoleico.

La concentración de compuestos fenólicos (Tablas 3.26 y 3.27) del fruto del olivo presenta una fuerte influencia genotípica y es afectada significativamente por las condiciones climáticas de la zona de producción, especialmente por el régimen hídrico (Uceda *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2009). Beltrán *et al.* (2000), Patumi *et al.* (2002) y Tovar *et al.* (2003) sostienen que el contenido de fenoles se incrementa bajo condiciones de estrés hídrico. También se ha señalado que, a poco de iniciada la maduración del fruto, se produce un descenso en su contenido total (Morello *et al.*, 2004).

Los datos obtenidos en este trabajo muestran una correlación negativa, altamente significativa, entre el IM y el contenido fenólico de los frutos ($r = -0.65$, $p = 0.005$ *Arbequina*; $r = -0.76$, $p = 0.0006$ *Manzanilla*). De acuerdo a Uceda *et al.* (2008) en la var. *Arbequina* la concentración más elevada se alcanza en frutos con IM comprendidos entre 2 y 2.5, los cuales se corresponden con los registrados en los tratamientos T50, T75 y T100. No hay registros en bibliografía sobre las variaciones del contenido de sustancias fenólicas en la var. *Manzanilla*, en función de la madurez del fruto. Las diferencias entre los tratamientos fueron más marcadas que las observadas en la var. *Arbequina*.

Tabla 3.26. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.²⁹

Parámetro		Tratamientos de riego				
Ácidos grasos	Variedad	T0	T25	T50	T75	T100
16:0	Arbequina	21.1 ^{bc} ± 0.53	21.1 ^c ± 0.28	20.5 ^{ab} ± 0.20	20.3 ^a ± 0.29	20.3 ^a ± 0.28
	Manzanilla	16.9 ^a ± 0.41	16.3 ^a ± 1.60	15.6 ^a ± 0.09	16.2 ^a ± 0.56	16.0 ^a ± 0.45
16:1	Arbequina	2.91 ^a ± 0.15	2.96 ^a ± 0.16	2.57 ^a ± 0.16	2.59 ^a ± 0.46	2.53 ^a ± 0.29
	Manzanilla	2.04 ^a ± 0.54	1.96 ^a ± 0.23	1.59 ^a ± 0.11	1.94 ^a ± 0.21	1.81 ^a ± 0.33
18:0	Arbequina	1.60 ^a ± 0.12	1.59 ^a ± 0.10	1.62 ^a ± 0.02	1.59 ^a ± 0.10	1.44 ^a ± 0.31
	Manzanilla	1.39 ^a ± 0.15	1.55 ^a ± 0.05	1.26 ^a ± 0.51	1.57 ^a ± 0.13	1.56 ^a ± 0.05
18:1	Arbequina	49.4 ^a ± 0.63	50.1 ^{ab} ± 0.93	52.9 ^{bc} ± 0.65	54.1 ^c ± 1.97	54.2 ^c ± 3.03
	Manzanilla	75.7 ^a ± 1.30	75.3 ^a ± 1.86	77.0 ^a ± 0.34	75.5 ^a ± 1.19	76.2 ^a ± 0.87

²⁹ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

Continuación. Tabla 3.26. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el primer ciclo de cultivo.³⁰

Parámetro		Tratamientos de riego				
Ácidos grasos	Variedad	T0	T25	T50	T75	T100
18:2	Arbequina	23.8 ^b ± 0.66	23.3 ^b ± 0.99	21.6 ^{ab} ± 0.41	20.6 ^a ± 1.42	20.6 ^a ± 2.40
	Manzanilla	3.11 ^a ± 0.04	3.94 ^a ± 0.41	3.62 ^a ± 0.92	3.69 ^a ± 0.58	3.49 ^a ± 0.40
18:3	Arbequina	0.86 ^a ± 0.07	0.92 ^a ± 0.06	0.79 ^a ± 0.02	0.85 ^a ± 0.08	0.91 ^a ± 0.05
	Manzanilla	0.92 ^a ± 0.16	0.98 ^a ± 0.09	0.95 ^a ± 0.08	1.03 ^a ± 0.16	0.98 ^a ± 0.05
Fenoles Totales	Arbequina	6.38 ^a ± 0.19	5.93 ^a ± 0.69	6.07 ^a ± 0.38	7.55 ^b ± 0.42	7.75 ^b ± 0.30
	Manzanilla	8.64 ^a ± 0.51	12.2 ^b ± 0.78	13.6 ^{bc} ± 0.76	17.0 ^{bc} ± 0.35	18.7 ^c ± 0.28

³⁰ Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

Tabla 3.27. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo.³¹

Parámetro		Tratamientos de riego				
Ácidos grasos	Variedad	T0	T25	T50	T75	T100
16:0	Arbequina	19.2 ^a ± 0.34	18.8 ^a ± 0.28	19.4 ^a ± 0.25	19.6 ^a ± 0.36	19.1 ^a ± 0.28
	Manzanilla	16.7 ^a ± 0.43	16.4 ^a ± 0.28	16.1 ^a ± 0.33	16.1 ^a ± 0.38	16.2 ^a ± 0.31
16:1	Arbequina	2.41 ^a ± 0.35	2.36 ^a ± 0.33	2.47 ^a ± 0.29	2.49 ^a ± 0.28	2.50 ^a ± 0.22
	Manzanilla	2.00 ^a ± 0.18	1.91 ^a ± 0.15	1.89 ^a ± 0.10	1.94 ^a ± 0.08	1.91 ^a ± 0.17
18:0	Arbequina	1.57 ^a ± 0.12	1.53 ^a ± 0.08	1.52 ^a ± 0.21	1.55 ^a ± 0.22	1.51 ^a ± 0.33
	Manzanilla	1.44 ^a ± 0.12	1.45 ^a ± 0.21	1.36 ^a ± 0.22	1.47 ^a ± 0.17	1.45 ^a ± 0.15
18:1	Arbequina	56.2 ^a ± 0.55	57.1 ^a ± 0.64	56.9 ^a ± 0.88	56.1 ^a ± 1.10	56.9 ^a ± 0.68
	Manzanilla	72.6 ^a ± 1.31	73.1 ^a ± 0.94	75.9 ^a ± 0.87	75.9 ^a ± 0.75	76.0 ^a ± 1.10

³¹ Valores medios (n = 3) ± desvió estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

Continuación. Tabla 3.27. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) y fenoles totales (mg/g fruto) en frutos de olivo, var. *Arbequina* y *Manzanilla*, bajo diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), durante el segundo ciclo de cultivo.³²

Parámetro		Tratamientos de riego				
Ácidos grasos	Variedad	T0	T25	T50	T75	T100
18:2	Arbequina	19.8 ^a ± 0.59	19.4 ^a ± 0.74	18.8 ^a ± 0.67	19.4 ^a ± 0.74	19.2 ^a ± 0.65
	Manzanilla	3.91 ^a ± 0.23	3.65 ^a ± 0.51	3.82 ^a ± 0.42	3.69 ^a ± 0.39	3.49 ^a ± 0.47
18:3	Arbequina	0.85 ^a ± 0.26	0.82 ^a ± 0.26	0.89 ^a ± 0.25	0.85 ^a ± 0.28	0.84 ^a ± 0.31
	Manzanilla	0.90 ^a ± 0.33	0.93 ^a ± 0.35	0.97 ^a ± 0.31	0.95 ^a ± 0.37	0.97 ^a ± 0.29
Fenoles Totales	Arbequina	6.10 ^a ± 0.33	6.09 ^a ± 0.42	6.23 ^a ± 0.41	6.51 ^a ± 0.35	6.07 ^a ± 0.35
	Manzanilla	12.4 ^a ± 0.55	12.5 ^a ± 0.78	13.0 ^a ± 0.74	12.2 ^a ± 0.69	12.7 ^a ± 0.68

³² Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios de cada fila seguidos por diferente letra presentan diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05).

Tabla 3.28. Variabilidad expresada como porcentaje de la suma total de cuadrados de algunos parámetros bioquímico-fisiológicos y productivos de olivo, registrados en dos variedades (*Arbequina* y *Manzanilla*) sometidas a diferentes tratamientos de riego (T0, T25, T50, T75, T100), en dos ciclos consecutivos de cultivo³³.

<i>Parámetros</i>	Tratamiento (T)	Variedad (V)	Ciclo de cultivo (Cc)	T x Cc	T x V	Cc x V	T x Cc x V
Prolina [†]	83.8**	0.68**	2.47**	0.86**	0.48**	0.01	0.81**
MDA [†]	73.3**	0.54**	2.10**	1.92**	0.91**	0.52**	0.09
Clorofila a [†]	36.2**	5.72**	0.00	5.39**	4.39**	0.04	1.35
Clorofila b [†]	29.1**	3.97**	0.13	9.28**	5.13**	0.06	0.81
Clorofila (a+b) [†]	34.6**	5.40**	0.02	6.85**	4.91**	0.01	1.08
Carotenos [†]	32.6**	7.09**	0.38	6.89**	4.88**	0.00	1.63*
Feofitina a [†]	38.1**	4.01**	0.04	5.51**	4.32**	0.09	0.88
Feofitina b [†]	36.2**	4.81**	0.45	4.99**	3.81**	0.00	0.58
Feofitina (a+b) [†]	38.2**	4.26**	0.10	5.37**	4.23**	0.06	0.81
Espesor cuticular [†]	84.0**	17.8**	0.24**	0.22**	8.50**	0.46**	0.99**
C ₂₉ [†]	64.9**	0.36	0.40	11.8**	2.10	0.47	1.26
C ₃₀ [†]	69.1**	0.12	3.67**	1.54	3.20	0.24	0.36
C ₃₁ [†]	44.4**	1.30	0.37	5.76	5.26	0.85	2.90
C ₃₂ [†]	2.15	0.03	8.98*	3.56	11.0	0.03	5.79
C ₃₃ [†]	53.8**	0.43	0.69	5.81*	5.42*	0.64	3.84
C ₃₄ [†]	29.1**	0.20	1.37	6.84	2.97	0.70	5.55
C ₃₅ [†]	46.3**	1.91	0.04	2.37	2.81	1.15	1.83
Longitud de la inflorescencia	34.1**	2.82	0.09	18.4**	0.50	3.76*	0.34
Número flores/ inflorescencia	24.8**	22.8**	0.01	11.8*	0.73	3.43*	0.92
Número frutos/ inflorescencia	19.2**	16.2**	30.3**	11.1**	1.01	0.51	0.51
Número frutos/ Número flores	11.1**	11.1**	53.2**	6.38**	0.51	0.94*	1.45
Rendimiento de frutos	19.9**	3.19**	31.5**	19.8**	0.55	1.11**	0.81
Peso de fruto	1.77**	81.4**	5.12**	5.27**	1.84**	0.00	0.97*
Número frutos/árbol	25.2**	0.21	30.1**	26.2**	0.50	0.05	0.71
EUA	7.62**	8.88**	18.1**	37.7**	0.32	0.47	1.60
Rendimiento de aceite	21.1**	0.70*	34.6**	21.3**	0.33	0.16	0.70
Contenido de aceite (BS)	9.57**	59.41**	0.20	4.96**	1.97**	3.90**	2.15**
Contenido de aceite (BF)	2.32**	75.3**	6.82**	2.22**	0.52*	0.79**	0.14

³³ ** Indica una correlación estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

* Indica una correlación estadísticamente significativa ($0.05 \leq p \leq 0.10$).

Los tratamientos de riego resultaron la mayor fuente de variabilidad para los parámetros bioquímicos-fisiológicos analizados; en todos los casos las diferencias resultaron altamente significativas (Tabla 3.28). Los valores de PRO, MDA y espesor de cutícula presentaron algunas diferencias entre los dos ciclo de cultivo analizados, posiblemente indicando una cierta afectación por cambios ambientales de distinta naturaleza (Delauney *et al.*, 1993; Kohl *et al.*, 1991; Naidu *et al.*, 1991). No obstante, en general, se observó cierta constancia en la respuesta al nivel de estrés hídrico en los dos años estudiados.

A excepción de la composición de las ceras foliares, la variedad también tuvo un efecto significativo sobre los parámetros mencionados, sugiriendo que la respuesta al déficit hídrico es influenciada por características genéticas intrínsecas a las dos variedades estudiadas (Bacelar *et al* 2004).

Por otra parte, se observaron interacciones significativas tratamiento x variedad y tratamiento x ciclo de cultivo, lo que indica que la respuesta a los distintos niveles de estrés hídrico es dependiente también de otros factores ambientales, no medidos en este trabajo, que pueden cambiar entre ciclos de cultivo. Las interacciones ciclo de cultivo x variedad y ciclo de cultivo x variedad x tratamiento de riego resultaron de escasa significancia.

Los tratamientos de riego, la variedad y el año de cultivo tuvieron influencia significativa sobre la mayor parte de los parámetros de biología floral y productivos analizados. En particular, los parámetros productivos (número frutos/inflorescencia, número frutos/número flores, rendimiento de frutos, peso de fruto, número frutos/árbol, EUA y rendimiento de aceite) fueron fuertemente afectados por el ciclo de cultivo, lo que pone en evidencia nuevamente el fuerte efecto de la vecería. La variedad, en tanto, influyó notablemente sobre el peso del fruto y el contenido de aceite.

La interacción tratamiento de riego x ciclo de cultivo fue altamente significativa y puede explicarse en función del suministro (oferta y competencia) de foto-asimilados en año de descarga con respecto al año de carga. En el primer ciclo de cultivo (alta carga floral) se produciría un incremento en la competencia por foto-asimilados que afecta marcadamente la biología floral y la producción. Por el contrario, en el año de baja carga floral (ciclo 2),

la cantidad de foto-asimilados fue suficiente para garantizar un desarrollo floral homogéneo entre los distintos tratamientos de riego. Estas observaciones permiten inferir que el déficit hídrico durante la etapa fenológica de prefloración – floración, además de actuar directamente sobre la pérdida de turgencia, afecta indirectamente el suministro de los foto-asimilados comprometiendo diversos aspectos de la biología floral en relación a la competencia, la cual, en año de carga resulta mucho mayor que en el año de descarga.

El efecto de las interacciones tratamiento x variedad, ciclo de cultivo x variedad y tratamiento x ciclo de cultivo x variedad fue de escasa significancia estadística.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas de la cuenca mediterránea en la que el olivo ha sido tradicionalmente cultivado proporcionan, en el periodo invierno-primavera, agua en cantidad suficiente para cubrir la demanda evapotranspirativa del cultivo; por esa razón el estudio de la influencia del déficit hídrico en tal periodo ha recibido escaso interés. La expansión de la olivicultura a regiones con distinto régimen climático, particularmente aquellas con estación invernal seca, no ha sido acompañada en forma suficiente por estudios tendientes a conocer la respuesta del cultivo a las nuevas condiciones agroecológicas. Los resultados del presente trabajo proporcionan, en tal sentido, una valiosa información acerca del efecto del déficit hídrico durante el ciclo de pre-floración – floración, su posible influencia sobre mecanismos de adaptación de la especie, su biología reproductiva y en última instancia sobre la productividad del cultivo. Además, los resultados del presente trabajo constituyen un aporte al conocimiento de las necesidades hídricas del cultivo del olivo en regiones con estación invernal seca. Los datos obtenidos permitieron comprobar científicamente la existencia de un marcado déficit hídrico durante el ciclo primavera-invernal, poniendo en evidencia la necesidad de aportaciones de agua complementarias a la lluvia en dicho periodo. Durante el ciclo pre-floración – floración, el contenido de agua del suelo en el tratamiento sin aporte de agua de riego (T0) presentó valores menores al punto de marchitez permanente (PMP) y potenciales hídricos de tallo (Ψ_{tallo}) inferiores a -4.0 MPa. En los tratamientos menos irrigados (T50 y T25), al cabo de dos meses de aplicación del déficit hídrico, se registraron valores cercanos al PMP. Luego de la finalización del periodo de RD y tras la reposición del riego a niveles equivalentes al 100 % de la Etc, los diferentes tratamientos: a) no mostraron diferencias significativas en los valores de Ψ_{tallo} , y b) recuperaron el Ψ_{tallo} medido antes de la aplicación de los tratamientos de RD. Estas observaciones indican una rápida respuesta a la rehidratación y

sugieren buenas características de conductancia hidráulica, a pesar del gran tamaño y de la edad de las plantas de olivo utilizadas.

En los dos años de cultivo analizados y en ambas variedades estudiadas, la restricción hídrica estuvo asociada a una serie de respuestas bioquímico-fisiológicas a nivel de las hojas (acumulación de sustancias osmóticamente activas, incremento de la concentración de hidrocarburos de alto peso molecular y aumento del espesor de la cutícula), las cuales pueden interpretarse como mecanismos de adaptación al déficit hídrico. El déficit hídrico también se relacionó con un incremento en la concentración de aldehído malónico (MDA), el cual constituye un indicador de peroxidación de lípidos de membrana, y con una disminución de la concentración de pigmentos fotosintéticos, de la conductancia estomática y de la tasa de fotosíntesis neta. Estas respuestas fueron reversibles: los valores de los parámetros indicados retornaron a sus niveles basales tras la reposición del riego a niveles equivalentes al 100 % de la Etc.

En las dos variedades estudiadas, la restricción hídrica limitó severamente el crecimiento de brotes y, en el primer ciclo de cultivo, el desarrollo floral, registrándose además una interacción significativa entre tratamiento de riego x año de cultivo. Durante el primer año, se observó un retraso del inicio de la plena floración y un acortamiento del periodo de floración en los tratamientos con restricción total (T0) y parcial (T25 y T50) del aporte de agua de riego con respecto a los tratamientos más irrigados (T75 y T100). El crecimiento de la inflorescencia, el número de flores/inflorescencia y el número de frutos/inflorescencia mostraron correlaciones positivas, altamente significativas, con el Ψ_{tallo} . La relación número de frutos/número de flores fue significativamente más baja en los tratamientos con mayor restricción hídrica (T0 y T25), indicando que la disponibilidad de agua, además de limitar el desarrollo floral, también provoca una disminución en el cuajado de frutos. Entre las posibles causas de tales observaciones se pueden mencionar una menor relación entre flores perfectas e imperfectas, menor receptividad del estigma y/o longevidad del óvulo.

En el primer año de cultivo, el aporte hídrico tuvo una marcada influencia sobre la productividad de los árboles: considerando ambas variedades, el rendimiento promedio de

frutos en el tratamiento T100 fue 8.5 veces más elevado que el obtenido en el tratamiento T0. La estimación de la eficiencia en el uso del agua (EUA) en T100 arrojó porcentajes de incremento del orden del 515 % (var. Arbequina) y del 330 % (var. Manzanilla) con respecto a T0.

Las dos variedades estudiadas presentaron una marcada alternancia de la producción (vecería). El primer ciclo de cultivo (año de carga) fue seguido de un ciclo de baja producción (año de descarga). Ni el sostenimiento del riego al 100 % de la Etc (T100) en forma ininterrumpida durante ambos años de cultivo, ni la baja producción registrada en los tratamientos menos regados durante el primer año, tuvieron una influencia significativa sobre dicho fenómeno. Las diferencias observadas entre los dos años de cultivo estudiados ponen en evidencia la influencia del efecto del estrés hídrico sobre la oferta y el suministro de los fotoasimilados presentes en la planta. De este modo, durante el año de carga, la competencia por foto-asimilados podría incrementarse afectando la biología floral y finalmente la producción. Por el contrario, durante el segundo año de cultivo, de baja carga floral, la cantidad de fotoasimilados fue suficiente para garantizar un desarrollo floral homogéneo entre los distintos tratamientos de riego. Este aspecto resalta además la importante fuerza como destino que presentan las flores con respecto a los brotes, lo que impidió que los parámetros de la biología floral fueran severamente afectados por el déficit hídrico, así como la producción. En consecuencia, la EUA en el segundo año de cultivo registró una tendencia opuesta a la observada en el primer año: en las dos variedades analizadas los valores de EUA más elevados se registraron en los tratamientos con mayor déficit hídrico.

En el primer ciclo de cultivo y en ambas variedades de olivo estudiadas, el nivel de carga de los árboles estuvo asociado a un retraso en la maduración de los frutos. Ambos parámetros, a su vez, fueron dependientes del estado hídrico del cultivo: en condiciones hídricas no limitantes se alcanzó el mayor nivel de carga pero con frutos de menor peso e índice de madurez. Este efecto compensatorio no fue suficiente, sin embargo, para equilibrar las producciones logradas en los diferentes tratamientos de riego.

En relación al contenido y la composición del aceite y teniendo en cuenta el periodo de aplicación de la restricción hídrica, las diferencias observadas entre los tratamientos de riego durante el primer año de cultivo deben atribuirse principalmente a su influencia sobre la maduración de los frutos, la cual afecta la tasa de acumulación de aceite (en las dos variedades) y su composición en ácidos grasos(sólo en la variedad *Arbequina*), como así también el contenido fenólico de los mismos(en ambas variedades). Para el segundo año de cultivo, posiblemente como resultado de las semejanzas observadas en el nivel de carga de frutos, no se detectaron diferencias entre los tratamientos de riego en el contenido y la composición del aceite.

Tal como se ha mencionado en los antecedentes del trabajo, el cultivo del olivo se desarrolló durante milenios fundamentalmente en países ribereños de la Cuenca del Mar Mediterráneo. Es un cultivo adaptado a las condiciones climáticas imperantes en esta región, donde el periodo de lluvias se concentra en los meses de invierno y primavera, coincidiendo con la fase de crecimiento de brotes, diferenciación y desarrollo de yemas, la cual se lleva a cabo entonces en ausencia de déficit hídrico. Esta situación contrasta marcadamente con las condiciones predominantes en las principales regiones de cultivo en Argentina. En particular, en el NO de la provincia de Córdoba existe un elevado déficit hídrico durante esta etapa del ciclo de cultivo. En este trabajo se observaron algunas respuestas adaptativas frente al déficit hídrico primavero-invernal, específicamente en el periodo pre-floración – floración, en las dos variedades (*Arbequina* y *Manzanilla*) de mayor difusión en la provincia. No obstante, la baja productividad obtenida en condiciones de restricción total o severa del aporte hídrico ponen de relieve la sensibilidad del olivo al déficit hídrico durante dicho periodo, señalando la importancia del riego como estrategia para maximizar la producción.

Finalmente, el análisis conjunto de los resultados obtenidos en la presente Tesis, permite aceptar plenamente la hipótesis 1 del trabajo. La hipótesis 2 debe ser parcialmente aceptada, ya que pudo corroborarse sólo en el primer ciclo de cultivo, siendo rechazada para el segundo ciclo analizado.

PERSPECTIVAS DE LAS FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN OLIVO EN RELACIÓN AL RIEGO

El olivo es considerado un cultivo auto-inductivo ya que no precisa de un único estímulo indispensable para florecer, sino que existen diversos factores que afectan las fases de inducción y diferenciación floral.

El efecto de las bajas temperaturas en la promoción del desarrollo floral ha sido observado en olivos cultivados en la región del Mediterráneo, sugiriendo que las mismas podrían tener un efecto similar al estrés hídrico al disminuir el potencial hídrico de tallo cuando el contenido de agua no es factor limitante.

En las principales regiones olivícolas de Argentina, el régimen de temperatura del aire a lo largo del año es diferente respecto de la región Mediterránea, siendo las temperaturas de invierno y primavera sustancialmente mayores. En consecuencia, el número de horas de frío acumuladas en el invierno, necesarias para romper la dormición de las yemas reproductivas, es bajo, y algunas variedades europeas no florecen o sólo florecen en algunos años.

Resulta de interés, por lo tanto, estudiar el efecto de la aplicación combinada de tratamientos de temperatura y estrés hídrico durante el periodo de pre-floración y su relación sobre el desarrollo floral, analizando al mismo tiempo las señales bioquímicas que podrían estar involucradas.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. (FAO irrigation and drainage paper no. 56). FAO, Rome.
- Angelopoulos, K., Dichio, B., Xiloyannis, C. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *J. Exp. Bot.* 301:1093-1100.
- AOCS. 1998. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, 5th edn., AOCS Press, Champaign.
- Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:601-639
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p.
- Bacelar, E.A., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J.M., Gonçalves, B.C., Lopez, J.I., Torres-Pereira, J.M.G. 2004. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree Physiol.* 24: 233-239.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Gonçalves, B.C., Ferreira, H.F., Correia, C.M. 2006. Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Sci.* 170: 596-605.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Lopes, J.I., Gonçalves, B.C., Ferreira, H.F., Correia, C.M. 2007. Physiological behaviour, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. *Plant Soil* 292: 1-12.
- Baker, E. 1982. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In Cutler, D., Alvin, K., Price, C., eds, *The Plant Cuticle*. Academic Press, New York, pp 139-165
- Baker, E.A., Procopiou, J. 2000. The leaf and fruit cuticles of selected drought tolerant plants. *Acta Hort.* 527: 8593.
- Baktir, I., Ulger, S., Kaynak, L., Himelrick, D.G. 2004. Relationship of seasonal changes in endogenous plant hormones and alternate bearing of olive trees. *Hort. Science* 39: 987-990.
- Beltrán, G., Jiménez, A., Aguilera, M.P., Uceda, M. 2000. Análisis mediante HPLC de fracción fenólica del aceite de oliva virgen de la variedad Arbequina. Relación con medida de amargor K_{225} y la estabilidad. *Grasas y Aceite* 51: 320-324
- Beltrán, G., Uceda, M., Hermoso, M., Frías, L. 2008. Maduración. En: *El cultivo del olivo* (Barranco, D.; Fernández- Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp. 163-187.
- Ben Ahmed, Ch., Ben Rouina, B., Sensory, S., Boukhris, M., Ben Abdallah, F. 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environ. Exp. Bot.* 67: 345-352.
- Bianchi, G., Murelli, C., Vlahov, G. 1992. Surface waxes from olive fruits. *Phytochemistry* 31: 3503-3506.

- Bianchi, G., Vlahov, G., Anglani, C., Murelli, C. 1993. Epicuticular wax of olive leaves. *Phytochemistry* 32: 49-52.
- Bianchi, G. 1995. Plant waxes. In RJ Hamilton, ed, *Waxes: Chemistry, Molecular Biology and Functions*. Oily Press, Dundee, Scotland, pp 176-222
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, pp. 770.
- Bondada, B.R., D.M. Oosterhuis, J.B. Murphy, K.S. Kims 1996. Effect of water stress on the epicuticular wax composition and ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 36: 61-69.
- Bosabalidis, A.M., Kofidis, G. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Sci.* 163: 375-379.
- Bray, R.H., Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. In: *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. Sparks, DL (ed.). Soil Sci Soc America. Book series N° 5, pp. 1085-1128.
- Brito, G., Costa, A., Fonseca, H.M.A.C., Santos, C.V.V. 2003. Response of *Olea europaea* ssp. *maderensis* *in vitro* shoots exposed to osmotic stress. *Sci. Hort.* 97: 411-417
- Bukovac, M.J., Sabbatini, P., Schwallier, P.G. 2006. Modifying alternate bearing of spur-type 'delicious' apple with ethephon. *Hort. Science* 41: 1606-1611.
- Cabrera, A.L. 1994. Regiones fitogeográficas argentinas. En: *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* (Kugler, W.F., Ed.), Tomo 2. Acme. Buenos Aires, Argentina, pp. 1-85.
- Cameron, K.D., Teece, M.A., Smart, L.B. 2006. Increased accumulation of cuticular wax and expression of lipid transfer protein in response to periodic drying events in leaves of tree tobacco. *Plant Physiol.* 140: 176-183.
- Civantos, H.F. 2008. La olivicultura en el mundo y en España. En: *El cultivo del olivo* (Barranco, D.; Fernández- Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp. 17-35.
- Connor, D.J. 2005. Adaptation of olive (*Olea europaea* L.) to water-limited environments. *Aust. J. Agric. Res.* 56: 1181-1189.
- Connor, D.J., Fereres, E. 2005. The Physiology of adaptation and yield expression in olive. *Horticultural Reviews* 31: 155-229.
- Correa-Tedesco, G., Rousseaux, M.C., Searles, P.S. 2010. Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea*) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. *Agric. Water Manage.* 97: 1829-1837.
- Dabbou, S., Chehab, H., Faten, B., Dabbou, S., Esposto, S., Selvaggini, R., Taticchi, A., Servili, M., Montedoro, G.F., Hammami, M. 2010. Effect of three irrigation regimes on Arbequina olive oil produced under Tunisian growing conditions. *Agric. Water Manage.* 97: 763-768.
- Delauney A.J. and Verma D.P.S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant Journal : for cell and molecular biology* 4. 215-223.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. *InfoStat* versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dichio, B., Xiloyannis, C., Sofo, A., Montanaro, G. 2006. Osmotic adjustment in leaves and roots of olive tree (*Olea europaea* L.) during drought stress and rewatering. *Tree Physiol.* 26: 179-185.

- Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Henderson, D.W., Holzappel, E., Schulbach, H., Uriu, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. En: Drip irrigation management (Fereres, E., Ed.). Division of Agricultural Sciences, University of California, California, pp. 8-13.
- Fereres, E. 1984. Variability in adaptative mechanisms to water deficits in annual and perennial crop plants. Bulletin Société Botanique de France. Actualités Botaniques 131: 17-32.
- Fereres, E., Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58: 147-159
- Franchini, M.C., Hernández, L.F. 2006. Las ceras en el aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.). Su origen y desarrollo en el fruto. Aceites y Grasas 64: 518-526.
- Giorio, P., Sorrentino, G., D' Andria, R. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. Environmental and Experimental Botany 42: 95-104.
- Girona, J., Luna, M., Arbonés, A., Mata, M., Rufat, J., Marsal, J. 2002. Young olives trees responses (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) to different water supplies. Water function determination. Acta Hort. 586:277-280.
- Gómez del Campo, M., Leal, A., Pezuela, C. 2008. Relationship of stem water potential and leaf conductance to vegetative growth of young olive trees in a hedgerow orchard. Aust. J. Agric. Res. 59:270-279.
- Gomez del Campo, M., Morales-Sillero, A., Vita Serman, F., Rousseaux, M.C., Searles, P., 2010. El Olivar en los valles áridos del Noroeste de Argentina (provincia de Catamarca, La Rioja y San Juan). Olivae 114, 23-45.
- González, A., Ayerbe, L. 2010. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley. Euphytica 172: 341-349.
- Grattan, S.R., Berenguer, M.J., Connell, J.H., Polito, V.S., Vossen, P.M. 2006. Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. Agric. Water Manage. 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. Agric. Water Manage. 96: 1525-1531.
- Jenks, M.A., Ashworth, E.N. 1999. Plant epicuticular waxes: function, production, and genetics. En Horticultural Reviews. Janick, J. (ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. Vol 23, pages 1-68.
- Kim, K.S., Park, S.H., Jenks, M.A. 2007. Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants exposed to water deficit. J. Plant Physiol. 164: 1134-1143.
- Kohl D. H., Keennelly E. H., Zhu Y., Schubert K. R. and Shearer G. 1991. Proline accumulation, nitrogenase (C₂H₂ reducing) activity and activities of enzymes related to proline metabolism in drought stressed soybean nodules. Journal of Experimental Botany 42, 831-837.
- Kolattukudy, P.E. 1976. Chemistry and biochemistry of natural waxes. Elsevier, Amsterdam, pp 235
- Kraus, J.E., Souza, H.C., Rezende, M.H., Castro, N.M., Vecchi, C., Luque, R. 1998. Astra blue and basic fuchsin double staining of plants materials. Biotechnic and Histochemistry 73 (5): 235-243.

- Lavee, S., Avidan, N., 1994. Protein content and composition of leaves and shoot bark in relation to alternate bearing of olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Hort.* 356: 143-147
- Lavee, S., Avidan, N., Pierik, R.L.M. 1994. Chlorogenic acid-an independent morphogenesis regulator or cofactor. *Acta Hort.* 381: 405-412.
- 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. *Sci. Hort.* 112: 156-163.
- Lavee, S., Wodner, M. 2004. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea*), cvs. Barnea and Manzanillo. *Sci. Hort.* 99: 267-277.
- Mariscal, M.J., Orgaz, F., Villalobos, F.J. 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agric. Forest Meteorology* 100: 183-197.
- Martín-Vertedor, A.I., Pérez Rodríguez, J.M., Prieto Losada, H., Fereres Castiel, E. 2011. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olive europaea* L., cv. Morisca). II: Water use, fruit and oil yield. *Agric. Water Manage.* 98: 950-950.
- McCutchan, H., Shackel, K. 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of American Society for Horticultural Science* 117: 607-611.
- Melgar, J.C., Mohamed, Y., Navarro, C., Parra, M.A., Benlloch, M., Fernández-Escobar, R. 2008. Long-term growth and yield responses of olive trees to different irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 95 (8): 968-972.
- Morelló, J.R., Romero, M.P., Motilva, M.J. 2004. Effect of the maturation process of the olive fruit on the phenolic fraction of drupes and oils from Arbequina, Farga, and Morrut cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 52: 6002-6009.
- Moriana, A., Fereres, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Sci.* 21: 83-90.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., Fereres, E. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128:425-431.
- Moriana, A., Pérez-López, D., Gómez-Rico, A., Salvador, M., Olmedilla, N., Ribas, F., Fregapane, G. 2007. Irrigation scheduling for tradicional, low-density olive orchards: Water relations and influence on oil characteristics. *Agric. Water Manage.* 87: 171-179.
- Moriana, A., Villalobos, F.J., Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olive europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell Environ.* 25: 395-405.
- Muñoz-Fambuena, N., Mesejo, C., Carmen González-Mas, M., Primo-Millo, E., Agustí, M., Iglesias, D.J. 2011. Fruit regulates seasonal expression of flowering genes in alternate-bearing 'Moncada' mandarin. *Annals of Botany.* 108: 511-519.
- Naidu B.P., Paleg L.G., Aspinall D., Jennings A.C. and Jones G.P. 1991. Amino acid and glycine betaine accumulation in cold-stressed wheat seedlings. *Phytochemistry* 30: 407-409.
- 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.
- Orgaz, F., Fereres, E. 2008. Riego. En: *El cultivo del olivo* (Barranco, D.; Fernández-Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp. 337-362.

- Palese, A.M., Nuzzo, V., Favati, F., Pietrafesa, A., Celano, G., Xiloyannis, C. 2010. Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv. Coratina) grown under intensive cultivation. *Sci. Hortic.* 125: 222-229.
- Pastor, M. 2005. Cultivo del olivo con riego localizado. Junta de Andalucía y Ediciones Mundi-Prensa, 783 pp.
- Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V., Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J. 1999. Respuesta del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. *Invest. Agric.* 14: 393-404.
- Patumi, M., D'Andria, R., Marsilio, V., Fontanazza, G., Morelli, G., Lanza, B. 2002. Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (*Olive europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chem.* 77: 27-34.
- 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. *J. Hort. Science & Biotech.* 74: 729-737.
- Pérez-López, D., Mc Gijón, D., Moriana, A. 2008. Influence of irrigation rate on the rehydration of olive tree plantlets. *Agric. Water Manage.* 95:1161-1166.
- Post-Beittenmiller, D. 1996. Biochemistry and molecular biology of wax production in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 405-430
- Puertas, C.M. 2009. Efecto del riego deficitario controlado sobre el rendimiento y calidad de aceite en olivo (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina. Tesis Magister Scientiae en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, 61 pp.
- Rallo, L., Torreño, P., Vargas, A., Alvarado, J. 1994. Dormancy and alternate bearing in olive. *Acta Hortic.* 356: 127-136
- Rallo, L., Cuevas, J. 2008. Fructificación y producción. En: El cultivo del olivo (Barranco, D.; Fernández- Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp. 127-162.
- Rapoport, H.F. 2008. Botánica y morfología. En: El cultivo del olivo (Barranco, D.; Fernández- Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp. 37-62.
- Rapoport, H.F, Hammami, S.B.M., Martins, P., Pérez-Priego, O., Orgaz, F.; Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany* 77. 227-233.
- Rosenstock, T.S., Rosa, U.A., Plant, R.E., Brown, P.H. 2010. A reevaluation of alternate bearing in pistachio. *Scientia Horticulturae* 124: 149-152.
- Rousseaux, M.C., Benedetti, J.P., Searles, P.S. 2008. Leaf-level responses of olive trees (*Olea europaea*) to the suspension of irrigation during the winter in an arid region of Argentina. *Sci. Hortic.* 115: 135–141.
- Rousseaux, M.C., Figuerola, P.I., Correa-Tedesco, G., Searles, P.S. 2009. Seasonal variations in sap flow and soil evaporation in an olive (*Olea europaea*) grove under two irrigation regimes in an arid region of Argentina. *Agric. Water Manag.* 96: 1037–1044.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M., de Andrés, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L. 2001. Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions. Influence on harvest index and canopy temperature. *European Journal of Agronomy* 15: 57-70.

- Searles, P.S., Agüero Alcarás, M., Rousseaux, M.C. 2011. El consumo de agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología Austral* 21: 15-28.
- Selles, G., Ferreyra, R.E., Selles, I.M., Gamalier Lemus, S. 2006. Efecto de diferentes regímenes de riego sobre la carga frutal, tamaño de fruta y rendimiento del olivo cv. Sevillana. *Agric. Téc.* 66: 48-56.
- Shackel, K., Lampinen, B., Sibbet, S., Olson, W. 2000. The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions. *Acta Horticulturae* 537: 425-430.
- Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in the response to water deficit and desiccation. *New Phytol.* 125: 27-58
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., Masia, A. 2004 a. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. *Physiol. Plant.* 121: 58-65.
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., Masia, A. 2004 b. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. *Plant Sci.* 166: 293-302.
- Sofa, A., Manfreda, S., Fiorentino, M., Dichio, B., Xiloyannis, C. 2008. The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12: 293-301.
- Tognetti, R., D'Andria, R., Morelli, G., Alvino, A. 2005. The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. *Plant Soil* 273: 139-155.
- Tognetti, R., D'Andria, R., Morelli, G., Calandrelli, D., Fragnito, F. 2004. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant Soil* 263:249-264.
- Tognetti, R., D'Andria, R., Sacchi, R., Lavini, A., Morelli, G., Alvino, A. 2007. Deficit irrigation affects seasonal changes in leaf physiology and oil quality of *Olea europaea* (cultivars Frantoio and Leccino). *Annals of Applied Biology* 169-186.
- 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). *Europ. J. Agronomy* 25: 356-364.
- Tolls, J., van Dijk, J., Verbruggen, E.J.M., Hermens, J.L.M., Loeprecht, B., Schüürmann, G. 2002. Aqueous solubility-molecular size relationships: A mechanistic case study using C10- to C19-alkanes. *J. Phys. Chem. A* 106: 2760-2765.
- Torres, M., Pierantozzi, P., Cáceres, M. E., Labombarda, P., Fontanazza G., Maestri, D.M. 2009. Genetic and chemical assessment in Arbequina olive cultivar grown in Córdoba province (Argentina). *J. Sci. Food Agric.* 89: 523-530.
- Torres, M.M. 2006. Caracterización química-organoléptica y molecular de variedades y aceites de oliva vírgenes de la provincia de Córdoba (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, 127 pp.
- Torres, M.M., Maestri, D.M. 2006. The effects of genotype and extraction methods on chemical composition of virgin olive oils from Traslasierra Valley (Córdoba, Argentina). *Food Chem.* 96: 507-511.
- Torres, M.M., Pierantozzi, P., Maestri, D.M., Orecchia, E., Santos, E. 2007. Catálogo de las variedades de olivo de la provincia de Córdoba. Ediciones INTA.
- Tovar, M.J., Romero, M.P., Alegre, S., Girona, J., Motilva, M.J. 2003. Composition and organoleptic characteristic of oil from Arbequina olive (*Olea europaea* L.) trees under deficit irrigation. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1755-1763.

- Trentacoste, E.R., Puertas, C.M., Sadras, V.O. 2011. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). *European Journal of Agronomy* 32 (4): 249-254.
- Uceda, M., Hermoso, M., Aguilera, M.P., 2008. La calidad del aceite de oliva. En: *El cultivo del olivo* (Barranco, D.; Fernández- Escobar, R. y Rallo, L., Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Andalucía, España, pp.699-727
- Vargas Gil, S., Meriles, J.M., Conforto, C., Figoni, G., Basanta, M., Lovera, E., March, G.J. 2009. Field assessment of soil biological and chemical quality in response to crop management practices. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 25:439–448.
- Vázquez-Roncero, A., Janer Del Valle, C., Janer Del Valle, M.L. 1973. Determinación de los polifenoles totales del aceite de oliva. *Grasas y Aceites* 24: 350-357.
- Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tah, H., Serraj, R. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under and climate - I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 106 (2-3):289-301.
- Wannaz, E.D., Pignata, M.L. 2006. Calibration of four species of *Tillandsia* as air pollution biomonitors. *Journal of Atmospheric Chemistry* 53: 185–209.
- Wu, J., Prausnitz, J.M. 2008. Pairwise-additive hydrophobic effect for alkanes in water. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 105: 9512–9515.

