

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

**Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto (cv. Arbequina) a la orientación de filas y al ancho de calle: relación entre la producción y calidad del aceite y la radiación interceptada**

TESIS DOCTORAL

**Eduardo Rafael Trentacoste**

MSc. Ingeniero Agrónomo

Madrid 2015

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

**Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto (cv. Arbequina) a la orientación de filas y al ancho de calle: relación entre la producción y calidad del aceite y la radiación interceptada**

TESIS DOCTORAL

**Eduardo Rafael Trentacoste** MSc. Ingeniero Agrónomo

DIRECTORA

**María Gómez-del-Campo** Dr. Ingeniera Agrónomo

Madrid 2015

Tribunal nombrado por el Magnífico y excelentísimo Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día.....de.....de 2015.

Presidente: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura de Tesis el día ..... de .....de 2015

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

## AUTORIZACIÓN PARA LA DEFENSA

María Gómez-del-Campo, profesora del Departamento de Producción Vegetal, EUIT Agrícolas de la Universidad Politécnica de Madrid, como directora de la Tesis Doctoral titulada: Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto (cv. Arbequina) a la orientación de filas y al ancho de calle: relación entre la producción y calidad del aceite y la radiación interceptada, realizada por Eduardo Rafael Trentacoste, para aspirar al grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid.

### AUTORIZA

La presentación de esta memoria para que se proceda al trámite de su lectura y defensa ante el tribunal correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firmo el presente certificado en Madrid, a .....de .....de 2015.

Fdo.: Dra. María Gómez-del-Campo

# Tabla de Contenidos

<b>Agradecimientos</b> .....	I
<b>Resumen</b> .....	II
<b>Summary</b> .....	VI
<b>Lista de Tablas</b> .....	X
<b>Lista de Figuras</b> .....	XV
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	XX
<b>I. Antecedentes</b> .....	1
1.1. Frutales en seto.....	1
1.2. Olivar en seto .....	3
1.3. Diseño de las plantaciones en seto: orientación de filas y ancho de calle....	4
1.4. Radiación solar .....	7
1.4.1. Efecto de la orientación del seto en la radiación interceptada en distintas latitudes y días del año.....	8
1.4.2. Efecto de la orientación del seto y ancho de calle en la radiación interceptada a distintas alturas de la canopia.....	10
1.4.3. Efecto de la porosidad del seto en la radiación interceptada .....	12
1.5. Radiación y temperatura.....	15
1.5.1. Temperatura de las hojas .....	17
1.5.2. Temperatura del fruto .....	18
1.6. Efecto de la radiación en la fisiología del árbol .....	21
1.6.1. Radiación y fotosíntesis .....	21
1.6.2. Radiación y crecimiento vegetativo .....	23
1.6.3. Radiación y relaciones hídricas .....	24
1.6.3.1. Transpiración de la canopia.....	25
1.6.3.2. Evaporación del suelo .....	26
1.6.4. Radiación y productividad.....	27
1.6.5. Radiación y calidad .....	33
1.6.6. Radiación y características de hojas y tejidos del fruto .....	38
<b>II. Objetivos y desarrollo de la tesis</b> .....	41
2.1. Objetivos .....	41
2.2. Desarrollo de la tesis y financiación.....	42

2.3. Publicaciones relacionadas con la Tesis.....	42
---	----

**III. Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto a la orientación de filas.....**44

3.1. Introducción.....	44
------------------------	----

3.2. Materiales y métodos.....	44
--------------------------------	----

3.2.1. Características del ensayo.....	44
--	----

3.2.2. Clima y suelo.....	45
---------------------------	----

3.2.3. Parámetros evaluados .....	46
-----------------------------------	----

3.2.3.1. Estructura vegetativa del seto .....	46
---	----

3.2.3.2. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento .....	46
--	----

3.2.3.3. Relaciones hídricas.....	47
-----------------------------------	----

3.2.3.4. Fotosíntesis .....	48
-----------------------------	----

3.2.3.5. Temperatura del fruto .....	48
--------------------------------------	----

3.2.3.6. Seguimiento de maduración.....	49
---	----

3.2.3.7. Producción, número de frutos y característica de los frutos .....	49
--	----

3.2.3.8. Calidad del aceite .....	50
-----------------------------------	----

3.2.4. Análisis estadístico.....	51
----------------------------------	----

3.3. Resultados.....	51
----------------------	----

3.3.1. Desarrollo fenológico y condiciones meteorológicas.....	51
--	----

3.3.2. Estructura vegetativa del seto .....	54
---	----

3.3.3. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento .....	56
--	----

3.3.4. Relaciones hídricas .....	58
----------------------------------	----

3.3.5. Fotosíntesis.....	62
--------------------------	----

3.3.6. Temperatura interna del fruto .....	65
--	----

3.3.7. Producción y característica de los frutos .....	69
--	----

3.3.7.1. Producción y características de los frutos de los setos .....	69
--	----

3.3.7.2. Producción y características de los frutos en las caras de los seto..	71
--	----

3.3.7.3. Producción y características de los frutos de los estratos de los setos .....	73
--	----

3.3.8. Seguimiento de maduración.....	75
---------------------------------------	----

3.3.9. Calidad del aceite .....	78
---------------------------------	----

3.4. Discusión .....	79
----------------------	----

3.4.1. Estructura vegetativa del seto .....	79
---	----

3.4.2.	Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento .....	80
3.4.3.	Relaciones hídricas .....	81
3.4.4.	Fotosíntesis .....	82
3.4.5.	Temperatura de los frutos .....	83
3.4.6.	Producción, número de frutos y características de los frutos .....	85
3.4.7.	Calidad del aceite .....	90
3.5.	Conclusiones .....	90
<b>IV. Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto al ancho de calle, en setos orientados N-S y E-O .....</b>		
4.1.	Introducción .....	92
4.2.	Materiales y métodos .....	93
4.2.1.	Características del ensayo .....	93
4.2.2.	Clima y suelo .....	93
4.2.3.	Parámetros evaluados .....	94
4.2.3.1.	Estructura vegetativa del seto .....	94
4.2.3.2.	Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento .....	94
4.2.3.3.	Seguimiento de maduración .....	95
4.2.3.4.	Producción, número de frutos y característica de los frutos .....	95
4.2.3.5.	Calidad del aceite .....	96
4.2.4.	Análisis estadístico .....	97
4.3.	Resultados .....	97
4.3.1.	Estructura vegetativa del seto .....	97
4.3.2.	Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento .....	99
4.3.3.	Producción y características de los frutos .....	103
4.3.3.1.	Producción y características de los frutos de los setos .....	103
4.3.3.2.	Producción y características de los frutos en las caras de los setos .....	106
4.3.3.3.	Producción y características de los frutos de los estratos .....	108
4.3.4.	Seguimiento de maduración .....	112
4.3.5.	Calidad del aceite .....	116
4.4.	Discusión .....	121
4.4.1.	Estructura vegetativa del seto .....	121
4.4.2.	Crecimiento de brote y componentes del rendimiento .....	122

4.4.3.	Productividad de los setos y características de los frutos .....	123
4.4.4.	Producción y características de los frutos de los estratos.....	125
4.4.5.	Calidad del aceite .....	126
4.5.	Conclusiones .....	128
<b>V.</b>	<b>Radiación del olivar en seto: modelización y relación con la producción y calidad del aceite.....</b>	<b>130</b>
5.1.	Introducción.....	130
5.2.	Materiales y métodos.....	132
5.2.1.	Descripción del modelo de radiación.....	132
5.2.2.	Estimación del coeficiente de extinción.....	134
5.2.3.	Relación entre radiación, productividad y calidad del aceite.....	136
5.3.	Resultados.....	137
5.3.1.	Calibración del modelo .....	137
5.3.2.	Perfiles de irradiancia.....	137
5.3.3.	Relación entre la radiación y la productividad .....	140
5.3.4.	Relación entre la radiación y la calidad del aceite .....	142
5.4.	Discusión .....	144
5.4.1.	Calibración del modelo .....	144
5.4.2.	Relación entre radiación y componentes del rendimiento .....	147
5.5.	Conclusiones .....	151
<b>VI.</b>	<b>Relación entre la radiación en diferentes posiciones del seto y las características de la hoja y del fruto .....</b>	<b>152</b>
6.1.	Introducción.....	152
6.2.	Materiales y métodos.....	152
6.2.1.	Características del ensayo.....	152
6.2.2.	Parámetros evaluados .....	154
6.2.2.1.	Perfiles de radiación .....	154
6.2.2.2.	Características de la hoja .....	155
6.2.2.3.	Características de los frutos y sus tejidos.....	156
6.2.3.	Análisis estadístico.....	157
6.3.	Resultados.....	158
6.3.1.	Perfiles de radiación .....	158
6.3.2.	Relación entre la radiación y las característica de las hojas .....	159

6.3.3. Relación entre radiación y las características de los frutos y sus tejidos. .....	162
6.4. Discusión .....	172
6.4.1. Perfiles de radiación.....	172
6.4.2. Relación entre radiación y las características de la hoja.....	172
6.4.3. Relación entre radiación y las características del fruto y sus tejidos..... .....	174
6.4.4. Número y tamaño de las células de mesocarpo y su relación con el tamaño y composición del mesocarpo.....	177
6.5. Conclusiones .....	178
<b>VII. Conclusiones</b> .....	180
7.1. Discusión general y aplicación práctica.....	180
7.2. Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones.....	187
<b>Referencias</b> .....	189
<b>Anejo</b> .....	213

## Agradecimientos

A la Dr. María Gómez-del-Campo, directora de esta tesis, por toda su ayuda y sabios consejos. Le agradezco su incondicional disponibilidad e inestimable apoyo y amistad durante el desarrollo de mi tesis y estancia en España, dándome la oportunidad de tener una visión más amplia del mundo de la olivicultura y de la investigación.

A la Dr. Hava Rapoport por brindarme todos sus conocimientos, por su continuo apoyo y sobre todo ayudarme en mi desarrollo personal y profesional. Por transmitirme su pasión y visión de la investigación, espero tener la capacidad de incorporarlos en mi vida laboral.

Al Dr. David Connor por toda su ayuda, preocupación e inestimables conocimientos. Por guiarme durante estos tres años para cumplir mis objetivos, por enseñarme a disfrutar de hacer investigación, y sobre todo concederme su amistad.

A Valeria Albarracín, Antonio Hueso, Esther García Cuevas e Inmaculada Moreno-Alías, por enseñarme, ayudarme, animarme y acompañarme en el trabajo de campo y laboratorio. Agradecerles sobre todo su tiempo, compañía y amistad, hicieron de mi estancia España una gran experiencia y un tiempo que siempre recordaré.

A mis amigos en Mendoza, por darme la fuerza para seguir adelante, por animarme en cada momento, por hacerme sentir que la distancia no era tanta, y no permitirme extrañar. Se lo afortunado que soy por tenerlos.

A mis compañeros y amigos del INTA EEA Junín (Mendoza), mi segunda familia, por creer en mí, y por tanto apoyo, espero ser capaz de devolverles tanto cariño.

A mi familia, por alentarme primero a armar las maletas y salir a buscar nuevos rumbos. Por enseñarme a ser fuerte y que todo es posible con esfuerzo y pasión. Por acompañarme durante todo este tiempo, sin su amor no lo hubiera logrado.

## Resumen

En las últimas dos décadas, los productores han plantado olivares en seto para lograr la mecanización de la poda y en especial de la cosecha, reducir los costes de mano de obra y permitir intervenciones de manejo rápidas y oportunas. Los olivares se desarrollaron en ausencia del conocimiento científico, sobre el diseño óptimo de la estructura de la copa, necesario para incrementar la producción y calidad del aceite. En contraste, con los árboles muy espaciados y distribuidos uniformemente de las plantaciones tradicionales, en el olivar en seto hay una marcada variabilidad espacial y temporal de la radiación disponible en función del diseño de la plantación. Así, conocer la respuesta fisiológica y productiva del olivo a la radiación resulta fundamental en el olivar en seto.

La orientación de las filas y el ancho de calle son aspectos que se deciden en el diseño de las plantaciones en seto. Ambos aspectos modifican la radiación interceptada por la canopia y, por lo tanto, pueden incidir en la productividad y calidad del aceite. Una vez realizada la plantación no pueden ser modificados, y así las ventajas o desventajas permanecerán fijas durante toda la vida productiva del olivar. A pesar de esto, el impacto de la orientación de las filas y el ancho de calle han recibido poca atención en olivos y en la mayoría de los frutales conducidos en seto.

Por todo ello, los objetivos principales de esta tesis fueron, (i) evaluar el efecto de la orientación del seto y del ancho de calle, sobre la productividad y calidad del aceite, (ii) evaluar un modelo que estime la radiación dentro de la canopia. Este modelo permitirá cuantificar las relaciones entre la radiación y los componentes del rendimiento y calidad del aceite de olivares en setos con un amplio rango de estructuras y (iii) conocer la variabilidad en las características de las hojas (morfológicas y fisiológicas) y de los tejidos del fruto (tamaño y composición) en diferentes posiciones de la copa de los setos.

Para ello, se dispuso de 3 ensayos de olivar en seto (cv. Arbequina) implantados en 2008 en el municipio de La Puebla de Montalbán, Toledo. La primera cosecha fue en 2010 y a partir del 2012 los setos formaron una copa continua. A partir de ese año, los setos se mantuvieron mediante poda, con similar ancho (~1 m) y altura (~2,5 m), acordes a las dimensiones de la cosechadora vendimiadora. En los años 2012 y 2013 se estudió en profundidad la respuesta de las plantas de estos ensayos. En el ensayo 1, los setos fueron

plantados con cuatro orientaciones de filas: N-S, NE-SO, NO-SE y E-O y el mismo ancho de calle (4 m). En los otros dos ensayos, los setos fueron plantados con tres anchos de calle (5,0, 4,0 y 2,5 m), y con filas orientadas N-S (ensayo 2) y E-O (ensayo 3).

La respuesta de la orientación de las filas se evaluó a nivel de seto y de estratos del seto (alturas y caras), a través de mediciones del crecimiento de brotes, componentes reproductivos, características y temperatura del fruto, estado hídrico del suelo y de las plantas, fotosíntesis neta de las hojas y contenido de ácidos grasos. Los setos orientados NE-SO (2,7 t/ha) lograron la mayor producción de aceite, que fue significativamente más alta que la de los setos E-O (2,3 t/ha). La producción de aceite de los setos E-O no se diferenció estadísticamente de los setos N-S (2,5 t/ha). Las diferencias productivas entre orientaciones fueron explicadas por el número de frutos en cosecha, a su vez la variación en el número de frutos estuvo asociada al efecto de la orientación de las filas sobre el número de yemas desarrolladas y el porcentaje de inflorescencias fértiles. Las hojas en las caras iluminadas de los setos NE-SO y N-S presentaron mayor tasa fotosintética a la mañana (~10.0 h) que los setos E-O, en el año 2012, pero no en 2013. La orientación de las filas no tuvo un efecto significativo en el contenido de ácidos grasos de los aceites extraídos, esto ocurrió a pesar de variaciones en la temperatura interna de los frutos (3 °C) y de la radiación (40%) entre las distintas caras de los setos. La orientación del seto afectó significativamente al contenido relativo de agua del suelo, donde setos E-O presentaron valores más altos (12%) que setos N-S durante el verano y otoño. Sin embargo, el potencial hídrico de tallo fue similar entre orientaciones.

En los ensayos 2 y 3, se evaluó el efecto que produce, a nivel de seto y de estratos (caras y alturas), reducir el ancho de calle de 5,0 a 4,0 y 2,5 m, en un seto orientado N-S y otro E-O, respectivamente. La relación entre altura/ancho de calle libre aumentó 0,6 a 0,8 y 1,6, al reducir 5,0, 4,0 y 2,5 m el ancho de calle, mientras la longitud de seto y el volumen de copa por hectárea incrementó 100% al reducir de 5,0 a 2,5 m, el ancho de calle. En los setos orientados N-S, la producción de aceite por ha acumulada en 4 campañas, incrementó significativamente un 52 %, al reducir de 5,0 a 2,5 m el ancho de calle. Los setos N-S con calle más estrecha (2,5 m) tuvieron un 19% menos frutos que los setos con calle más ancha (5,0 m) y a su vez el 60% de los mismos se localizaron los estratos altos de la canopia de los setos con calles estrecha en comparación al 40% en setos con calle de 5,0 m. En los estratos más bajos de los setos con calles de 2,5m hubo menor crecimiento de los brotes y los frutos tuvieron menor peso seco, contenido de aceite y madurez, que los

frutos en los estratos bajos de los setos a 5,0 m. Los componentes del rendimiento y características de los frutos (agua y madurez) fueron similares entre las caras E y O, independientemente del ancho de calle. En los setos orientados E-O, la producción de aceite por ha acumulada en 4 campañas, no respondió significativamente al ancho de calle, debido a una disminución significativa en el número de frutos y producción de aceite por m de seto, al reducir de 5,0 a 2,5 m, el ancho de calle. En los setos orientados E-O, con calles de 5,0 m, los frutos presentaron similar peso seco, contenido de aceite y agua, en las caras S y N, sin embargo, cuando la calle fue reducida a 2,5, los frutos de la cara S fueron más pesados y maduros que en la cara N. Independientemente del ancho de calle y de la orientación del seto, el aceite presentó mayor contenido de ácidos palmitoleico, palmítico, esteárico y linoleico en los frutos del estrato más alto de la canopia disminuyendo hacia la base. En contraste, el contenido de ácido oleico aumentó desde el estrato más alto hacia la base de los setos. Las diferencias en el contenido de ácidos grasos entre la parte alta y baja de los setos, incrementó al reducir el ancho de calle en los setos N-S, pero no en los E-O. En conclusión, en olivares en seto, reducir el ancho de calle permite incrementar la producción de aceite, en setos orientados N-S, pero no en E-O.

Un modelo que estima la cantidad y distribución de la radiación en toda la copa del seto, fue utilizado para estimar la radiación incidente en distintos estratos del seto. El modelo requiere un valor del coeficiente de extinción ( $k$ ) para estimar la transmisión de radiación a través de la copa, el cual fue obtenido experimentalmente ( $k=1,2$ ). Utilizando los datos del ensayo 1, un único modelo lineal relacionó el peso seco y el rendimiento graso de setos con la radiación incidente sobre distintos estratos de setos con cuatro orientaciones de filas. La densidad de frutos fue también relacionada con la radiación, pero más débilmente. En los setos orientados N-S, plantados con tres anchos de calles, (ensayo 2) el contenido de ácidos palmitoleico y linoleico del aceite incrementó linealmente con el incremento de la radiación, mientras el contenido ácido oleico disminuyó linealmente con el incremento de la radiación. El contenido de ácidos grasos del aceite no estuvo relacionado con la radiación incidente en setos orientados E-O (Ensayo 3).

En los setos N-S y E-O, plantados con anchos de calle de 2,5 m, se estudiaron las interacciones entre la radiación y características de las hojas, número de fruto, tamaño y composición de los frutos a nivel de órgano, tejido y células. Independientemente de la orientación del seto, el área y el contenido de clorofila de las hojas incrementaron significativamente en los estratos más bajos de los setos. Mientras, las hojas de los estratos

---

medios del seto presentaron mayor capacidad fotosintética que en los estratos bajos y alto de los setos. Los estratos del seto más iluminados produjeron frutos con mayor tamaño y contenido de aceite en el mesocarpo, sin efectos sobre el tamaño y composición del endocarpo. A nivel celular, los frutos expuestos a mayor nivel de radiación desarrollaron en el mesocarpo células de mayor tamaño en comparación a frutos menos expuestos, mientras el número de células no fue afectado. Adicionalmente, el número y tamaño de las células estuvo relacionado con la composición del mesocarpo en términos de aceite, agua y peso seco menos aceite.

Esta tesis, contribuye, desde una perspectiva integral del cultivo del olivo, a cuantificar el impacto de la orientación y ancho de calle sobre la producción y calidad del aceite en olivares conducidos en setos. El análisis y discusión de la relación entre la radiación y los componentes del rendimiento y calidad del aceite, puede ayudar a diseñar plantaciones en seto con dimensiones óptimas para la intercepción de la radiación.

**Palabras claves:** *Olea europaea* L., diseño del seto, componentes del rendimiento, perfil de ácidos grasos, mesocarpo, endocarpo.

## Summary

In the last two decades, olive hedgerow system has been established by commercial growers to allow continuous mechanized pruning and especially harvest, reduce costs of manual labour and allow more rapid and timely management interventions. The adoption of hedgerow was done in the absence of adequate scientific knowledge of the impact of this orchard structure and associated mechanization on tree response, yield and quality, after centuries in low-density orchards and open-formed trees. The row orientation and width alley are fundamental aspects in the hedgerow design and have been scarcely studied in olive. Both aspects modify the radiation intercepted by the canopy, and consequently the productivity and oil quality, and once defined in orchard planting cannot be changed, so advantages and disadvantages remain fixed for the lifespan of the orchard.

The main objectives of this thesis were to (i) evaluate the impact of the row orientation and width alley on productivity and oil quality by the measurements of profile of the determining processes of shoot growth, fruit temperature, yield components and fruit and oil characteristics on opposite sides of olive hedgerows. Additionally, the effect of row orientation on the plant water status was also evaluated; (ii) evaluate a mathematical model for estimating the radiation within the canopy and quantify the relationships between the radiation estimated and yield components and oil quality in olive hedgerows under wide range of structures and; (iii) determine the variability in the characteristics of the leaves (morphological and physiological) and fruit tissues (size and composition) in different positions of the hedgerows canopy.

Three plots of olive hedgerows (cv. Arbequina) planted in 2008 in La Puebla de Montalbán, Toledo were evaluated during the 2012 and 2013 seasons. The hedgerows were maintained by lateral pruning and topping with the same width

(1 m) and height (2.5 m) compatible with the intended harvester. In a plot (experiment 1), the hedgerows were planted with the same width alley (4 m) and four row orientations: N-S, NE-SW, NW-SE and E-W. Other two plots (Experiments 2 and 3) separated by approximately 100 m were planted with N-S and E-O oriented rows and three alley widths in each orientation: 5.0, 4.0 and 2.5 m.

In the exp. 1, maximum fruit yield were achieved by NE-SW and NW-SW (15.7 t/ha). Of these, NE-SW achieved the highest oil yield (2.7 t/ha). There were no differences in fruit or oil yield between N-S (2.5 t oil/ha) and E-W (2.3 t oil/ha) orientations. Fruit number was the most important component to explain these differences, by previous influence on number of bud developed and percentage of fertile inflorescences. Fruit maturity and oil quality on both sides of the hedgerows were not affected by row orientation. This occurred despite significant variations in the internal fruit temperature, which was closely related to the irradiance received by the canopy and the time of day. Additionally, row orientation significantly affected the relative water content of the soil, where E-W oriented hedgerows showed consistently higher values than N-S during summer-autumn season. The stem water potential at midday, however, was similar between orientations, revealing possible lower water consumption of E-W than N-S oriented hedgerows.

In the exp. 2, regardless of row orientation, reduction of row spacing from 5.0 to 4.0 and 2.5 m increases the ratio of canopy depth to free alley width ( $A_l/A_n$ ) from 0.6 to 0.8 and 1.6, respectively, and adds 25 and 100 % more hedgerow length per ha. In N-S oriented hedgerows, oil production per ha increased significantly by 14 and 52 % in 4.0 m and 2.5 m relative to 5.0 m row spacing, the effect being proportionally less than the increase in hedgerow length per ha. Hedgerows spaced 2.5 m with  $A_l/A_n = 1.6$  produced relatively fewer fruits per unit length than did wider spacings and were preferentially distributed in upper layers. Fruits located at the bottom of the canopy were smaller, with lower oil content and were less mature. In E-W oriented hedgerows, oil production per ha did not respond

significantly to row spacing, despite the doubling of row length from the 5.0 to the 2.5 m row spacing. The explanation was found in fewer fruit per unit length of hedgerow and smaller oil content at 2.5 m than 5.0 m row spacing, averaged over the experimental period. In E–W hedgerows spaced at 5.0 m with Al/An = 0.6, the vertical profiles of fruit characteristics (mass, oil and water contents, and maturity) were similar between opposing sides, but at 4.0 m (Al/An= 0.8) and 2.5 m (Al/An=1.6) spacings, fruits on the S side were heavier and more mature than on N side. The oil extracted from fruits harvested at different heights of N–S and E–W oriented hedgerows showed higher palmitoleic, palmitic, stearic and linoleic contents at the canopy top decreasing toward base. The oleic content was reverse, increased from top to base. In N–S hedgerows, vertical gradients increased by reducing the alley width, but not in the E–W oriented hedgerows.

The simulation of internal canopy irradiance was related in a single relationship ( $R^2 = 0.63$ ) to the vertical profiles of fruit weight and oil content of olive hedgerows with wide range of structures. The density of fruits was also associated with the irradiance but more weakly ( $R^2 = 0.27$ ), and revealed a more complex response involving changes in the vegetative structure by canopy management (topping) and the effect of radiation on the previous sequence that defines the number of fruits. The vertical profiles of oil quality traits were closely associated to canopy irradiance, but only when the N–S oriented hedgerows were considered. The contents of palmitoleic and linoleic acid in the oil increased linearly when incident irradiance increased from 9 to 19 mol PAR/m<sup>2</sup>. In contrast, oleic content decreased linearly in this irradiance range.

Additionally, we advanced knowledge regarding the interactions among irradiance and leaf, fruit number, size and composition at organ-, tissue- and cellular- levels. The irradiance received at different positions in the canopy strongly affected the leaf area and chlorophyll content, and mesocarp size and composition (water and oil), without effects on endocarp size and composition. At the cellular level, light-exposed fruit developed larger mesocarp cells than shaded fruits, but cell number was not affected. Our results indicate that cell number and size are related to

mesocarp composition in term of oil, water, and dry weight minus oil, although the specific manner in which they interact remains to be determined.

This research contributes from an integral perspective of olive growing to quantify the impact of row orientation and width alley on productivity and oil quality in hedgerows systems. The analysis and discussion of the relationships between radiation and yield components and oil quality can help understand the impact of design olive hedgerows in general and in a wide range of environmental conditions.

**Keywords:** *Olea europaea* L., hedgerow design, yield components, fatty acid profile, mesocarp, endocarp.

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Descripción de artículos publicados que estudian el efecto de la orientación de las filas sobre el rendimiento de los cultivos frutales conducidos en seto. Trabajos presentados en forma creciente según la latitud del sitio. ....	32
<b>Tabla 1.2.</b> Descripción de artículos publicados que estudian el efecto de la orientación de las filas sobre la calidad del fruto en las caras opuestas de cultivos frutales en seto. Presentación ordenada por el incremento de latitud. CSS es la concentración de sólidos solubles y AT es acidez titulable. ....	37
<b>Tabla 3. 1.</b> Temperatura, radiación y déficit de presión de vapor medio (DPV) para los días de medición de la evolución diaria de la fotosíntesis y del potencial hídrico de tallo en los años 2012 y 2013. ....	48
<b>Tabla 3.2.</b> Temperatura del aire en los días y horas de medición de la temperatura del fruto en los años 2012 y 2013. La radiación diaria también es incluida. ....	49
<b>Tabla 3.3.</b> Medias mensuales de variables meteorológicas registradas durante el año 2012 por una estación automática ubicada cerca de la parcela experimental. ....	53
<b>Tabla 3.4.</b> Medias mensuales de variables meteorológicas registradas durante el año 2013 por una estación automática ubicada cerca de la parcela experimental. ....	53
<b>Tabla 3.5.</b> Estructura del seto de olivares plantados en cuatro orientaciones durante los años 2012 y 2013. ....	55
<b>Tabla 3.6.</b> Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento en las caras de setos de olivares plantados con cuatro orientaciones, durante los años 2013 y 2014. ....	57
<b>Tabla 3.7.</b> Contenido relativo de agua promedio del suelo a 0,8 m de profundidad y 0,30 m del gotero de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante otoño 2012 y verano-otoño 2013. ....	59
<b>Tabla 3.8.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (13 Septiembre 2012). ....	67

---

<b>Tabla 3.9.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (20 Septiembre 2012).....	67
<b>Tabla 3.10.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (2 Octubre 2012).....	67
<b>Tabla 3.11.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (16 Julio 2013).....	68
<b>Tabla 3.12.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (11 Septiembre 2013).....	68
<b>Tabla 3.13.</b> Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (16 Octubre 2013).....	68
<b>Tabla 3.14.</b> Producción de frutos y aceite de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013 y promedio de 2012-2013 cuando los setos formaban una pared continua. ....	70
<b>Tabla 3.15.</b> Característica de los frutos de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013 y promedio de 2012-2013 cuando los setos formaban una pared continua. ....	71
<b>Tabla 3.16.</b> Producción de aceite, componentes y características del fruto en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones en los años 2012 y 2013.....	72
<b>Tabla 3.17.</b> Peso seco, contenido de aceite y contenido de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones desde Agosto a cosecha en el año 2012.....	77
<b>Tabla 3.18.</b> Peso seco, contenido de aceite y contenido de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones desde Agosto a cosecha en el año 2013.....	78

<b>Tabla 3.19.</b> Perfil de ácidos grasos mayoritarios de los aceites extraídos de fruto en cada cara de setos con varias orientaciones en el estación 2012. Cada valor corresponde a 4 repeticiones $\pm$ error estándar.....	79
<b>Tabla 4.1.</b> Estructura de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S durante los años 2012 y 2013. Cada valor corresponde al promedio de 8 mediciones.....	98
<b>Tabla 4.2.</b> Estructura de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O durante los años 2012 y 2013. Cada valor corresponde al promedio de 8 mediciones.....	99
<b>Tabla 4.3.</b> Crecimiento de brote y componentes del rednimiento en ambas caras de olivares en seto plantados, con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas N-S, durante los años 2013 y 2014.....	101
<b>Tabla 4.4.</b> Crecimiento de brote y componentes del rendimiento en ambas caras de olivares en seto, plantado con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas E-O, durante los años 2013 y 2014.....	102
<b>Tabla 4.5.</b> Producción de frutos y aceite y característica de los frutos afectados por el ancho de calle en olivares en seto orientados N-S durante las estaciones 2010, 2011, 2012 y 2013.....	105
<b>Tabla 4.6.</b> Producción de frutos y aceite y característica de los frutos afectados por el ancho de calle en olivares en seto orientados E-O durante las estaciones 2010, 2011, 2012 y 2013.....	105
<b>Tabla 4.7.</b> Producción de aceite, componentes del rendimiento y características de los frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y orientados N-S durante los años 2012 y 2013.....	107
<b>Tabla 4.8.</b> Producción de aceite, componentes del rendimiento y características de los frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y orientados E-O durante los años 2012 y 2013.....	107
<b>Tabla 4.9.</b> Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S desde Agosto a cosecha 2012.....	114

<b>Tabla 4.10.</b> Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S desde Agosto a cosecha 2013.....	114
<b>Tabla 4.11.</b> Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O desde Agosto a cosecha 2012.....	115
<b>Tabla 4.12.</b> Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O desde Agosto a cosecha 2013.....	115
<b>Tabla 5.1.</b> Valores de irradiancia media diaria del periodo desde plena floración a cosecha, simulada para distintas posiciones de la canopia (alturas y caras) en setos de olivo con similar estructura vegetativa y varias orientaciones de filas. En los setos orientados N-S ambas caras (E/O) presentan igual radiación.....	139
<b>Tabla 5.2.</b> Valores de irradiancia media diaria del periodo desde plena floración a cosecha, simuladas para distintas posiciones de la canopia (alturas y caras) en setos de olivo con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5 m) con filas orientadas uno N-S y el otro E-O. En los setos orientados N-S ambas caras (E/O) presentan igual radiación.....	140
<b>Tabla 6.1.</b> Parámetros de la estructura de la canopia de olivares en setos plantados con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas N-S y E-O, en los años 2012 y 2013.....	153
<b>Tabla 6.2.</b> Área foliar y contenido de clorofila en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientados N-S y E-O, promedio de los años 2012 y 2013.....	161
<b>Tabla 6.3.</b> Número de frutos y peso fresco promedios a cosecha de frutos, mesocarpo y endocarpo por m lineal de seto en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientado N-S, combinado los años 2012 y 2013. ....	164
<b>Tabla 6.4.</b> Número de frutos y peso fresco promedios a cosecha de frutos, mesocarpo y endocarpo por m lineal de seto en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientados E-O, combinado los años 2012 y 2013.....	164
<b>Tabla 6.5.</b> Número y tamaño de las células del mesocarpo a cosecha de frutos de diferentes posiciones de setos de olivo orientados N-S y E-O en el año 2012.....	169
<b>Tabla 6.6.</b> Características de las cutículas y de células epidérmicas de frutos en cosecha de diferentes posiciones de setos de olivo orientados N-S y E-O en el año 2012.....	169

<b>Tabla 6.7.</b> Relaciones entre la irradiancia total (mol RFA/m <sup>2</sup> ) durante el crecimiento de los frutos y el número de frutos con peso fresco y composición de mesocarpo, datos basados (promedio de las estaciones 2012 y 2013) de frutos cosechados a 5 alturas y ambas caras de setos de olivo orientados N-S y E-O (n = 20).....	171
<b>Tabla A.1.</b> Número de frutos por m lineal en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013.....	213
<b>Tabla A.2.</b> Peso seco del fruto en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013. ....	213
<b>Tabla A.3.</b> Rendimiento graso (% peso seco) en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013. ....	214
<b>Tabla A.4.</b> Contenido de ácido palmítico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013. ....	214
<b>Tabla A.5.</b> Contenido de ácido palmitoleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.....	215
<b>Tabla A.6.</b> Contenido de ácido esteárico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013. ....	215
<b>Tabla A.7.</b> Contenido de ácido oleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.....	216
<b>Tabla A.8.</b> Contenido de ácido linoleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013. ....	216
<b>Tabla A.9.</b> Contenido polifenoles totales del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.....	217
<b>Tabla A.10.</b> Estabilidad oxidativa del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.....	217

## Lista de Figuras

- Fig. 1.1.** Variación anual de la radiación de onda corta (paneles superiores) simulada (Connor et al., 2009), en días totalmente despejados sobre una superficie horizontal (línea continua) y que incide en setos sólidos (0% porosidad horizontal) rectangulares (altura = 2,5 m, ancho = 1,0 m, calle libre = 3,0 m) orientados N-S, NE-SO y E-O en tres latitudes septentrionales. Los paneles inferiores son las proporciones de radiación interceptada respecto a la horizontal.....14
- Fig. 1.2.** Perfiles verticales diarios de radiación de onda corta simulada (Connor et al., 2009) en ambas caras de setos sólidos y rectangulares orientados N-S, NE-SO y E-O (altura = 4,0 m, ancho = 1 m, ancho de calle libre = 4,0 m) en días despejados para los solsticios de verano e invierno y el equinoccio de primavera en la latitud 35 °N. ....14
- Fig. 1.3.** Variación anual de la radiación de onda corta simulada (Connor et al., 2009), en días despejados dentro de las caras E o S (paneles de la izquierda) y caras O o N (paneles de la derecha) de setos rectangulares orientados N-S, NE-SO y E-O (altura = 2,5 m, ancho = 1,0 m, ancho de calle = 4,0 m) en respuesta a la porosidad horizontal de 15 y 30 % en comparación con setos sólidos (porosidad 0 %) a 35 °N. La radiación del seto NO-SE es simétricamente opuesta al seto NE-SO. La radiación interceptada por una cara es la media entre la radiación interceptada sobre la pared vertical y una línea trazada por la mitad del seto.....15
- Fig. 3.1.** Contenido relativo de agua del suelo a 0,8 m de profundidad y 0,30 m del gotero de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante otoño del año 2012 y verano-otoño del año 2013. ....60
- Fig. 3.2.** Evolución del potencial hídrico de tallo a mediodía en olivares en seto plantados en cuatro orientaciones durante el periodo de acumulación de aceite de los frutos en el año 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Las flechas indican efecto significativo de la orientación del seto a  $p < 0,05$ . En línea y círculos rojos se muestra el déficit de presión de vapor (DPV) medio diario.....61

<b>Fig. 3.3.</b> Evolución diaria del potencial hídrico de tallo en olivares en seto plantados con cuatro orientaciones, en tres días del periodo de acumulación de aceite de los frutos en el año 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Tablas se presentan cuando hubo efecto significativo de la orientación del seto a $p < 0,05$ . Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas a $p < 0,05$ .....	62
<b>Fig. 3.4.</b> Evolución diaria de la tasa de fotosíntesis neta (Pn) en hojas ubicadas en las caras iluminadas de olivares en seto, plantados con cuatro orientaciones. Las mediciones corresponden a tres días despejados durante el periodo de acumulación de aceite de los frutos en el año 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Tablas se presentan cuando hubo efecto significativo de la orientación del seto a $p < 0,05$ . Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas a $p < 0,05$ .....	64
<b>Fig. 3.5.</b> Temperatura interna de frutos expuestos en ambas caras de olivares en setos plantados con cuatro orientaciones, promedio 2012 y 2013. Las líneas verticales rematadas representan un error estándar.....	69
<b>Fig. 3.6.</b> Distribuciones verticales del número de frutos y producción de aceite por m lineal de pared en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O). Los valores son medias de los años 2012 y 2013. En todos los casos, se muestra una única regresión para ambas caras del seto porque los coeficientes de regresión de las distintas caras no fueron significativamente diferentes a $p < 0,05$ .....	74
<b>Fig. 3.7.</b> Características del fruto en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O). Los valores son medias de los años 2012 y 2013. Una sola regresión ajustada a ambas caras del seto se muestra cuando los coeficientes individuales de regresión no fueron significativamente diferentes a $p < 0,05$ .....	75
<b>Fig. 4.1.</b> Número de frutos y características de los frutos en distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a un $p < 0,05$ .....	110
<b>Fig. 4.2.</b> Número de frutos y características de los frutos en distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a un $p < 0,05$ .....	111

<b>Fig. 4.3.</b> Contenido de los ácidos grasos mayoritarios del aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en setos plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a $p < 0,05$ .....	118
<b>Fig. 4.4.</b> Contenido de los ácidos grasos mayoritarios del aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en setos plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a $p < 0,05$ .....	119
<b>Fig. 4.5.</b> Contenido de polifenoles totales y estabilidad oxidativa de aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calles y filas orientadas N-S izquierda) y E-O (derecha), durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a $p < 0,05$ .....	120
<b>Fig. 5. 1.</b> Metodología utilizada para la estimación de la transmisión del seto, a través de mediciones de la sombra de los setos proyectada sobre la calle. En el panel de la izquierda, fotografías tomada a paneles blancos (60 x 60 cm) ubicados paralelos a los setos. Las imágenes obtenidas fueron procesadas para determinar el área sombreada e iluminada. En el panel de la derecha mediciones con ceptómetro sobre transectas de 3 m paralelas a los setos y separadas por 0,5 m. ....	136
<b>Fig. 5.2.</b> Comparación de la transmisión de radiación estimada en el área sombreada de las calles en setos orientados E-O en El Carpio del Tajo (39,8°N) con mediciones el día 10 Marzo usando (a) un ceptómetro lineal a varias distancias desde la cara N del seto. La línea sólida es para un $k = 1,1$ , y (b) fotografías de paneles blancos (60 x 60 cm) ubicados en distintas posiciones de la calle. La línea sólida es para $k = 1,3$ . ....	137
<b>Fig. 5.3.</b> Relaciones entre los perfiles verticales de (A) peso seco del fruto, (B) contenido de aceite y (C) número de frutos, en ambos caras de setos de olivo cv. Arbequina con cuatro orientaciones de filas y la irradiancia media diaria de la canopia para el periodo desde floración a cosecha. Cada punto corresponde al promedio de los años 2012 y 2013. ....	141

**Fig. 5.4.** Relaciones entre la irradiancia diaria estimada para el periodo desde floración a cosecha y los perfiles verticales de los ácidos (A) palmítico, (B) palmitoleico, (C) esteárico, (D) oleico y (E) linoleico en ambas caras de setos de olivo cv. Arbequina, orientados N-S (símbolos llenos) y E-O (símbolos vacíos) y con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5 m). Las líneas sólidas corresponden a los ajustes bilineales sólo para los setos N-S. El parámetro  $c$  corresponde al valor de radiación a partir del cual el ácido graso permanece constante. 143

**Fig. 5.5.** Relaciones entre los perfiles verticales de (A) polifenoles totales y (B) estabilidad oxidativa, en ambas caras de setos de olivo cv. Arbequina, orientados N-S (símbolos llenos) y E-O (símbolos vacíos) con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5m) y la irradiancia diaria estimada para el periodo desde floración a cosecha. La línea sólida corresponde al ajuste lineal sólo para los setos N-S. Las referencias de los símbolos aparecen en la Figura 5.4..... 144

**Fig. 6.1.** Esquema representativo de la altura y la orientación de las posiciones de la canopia estudiadas. (A) caras E y O del seto orientado N-S. (B) caras S y N del seto orientado E-O. La escala vertical (columna) a la izquierda indica las alturas de las posiciones (m sobre el suelo)..... 154

**Fig. 6.2.** Irradiancia diaria durante todo el período de crecimiento del fruto (desde la floración hasta la cosecha) para las posiciones de la canopia en (A) caras S y (B) N del seto E-O, y (C) caras E y O del seto N-S. (D) muestra los perfiles verticales de irradiancia acumulada durante todo el período de crecimiento del fruto para las diferentes orientaciones: caras S o N del seto E-O; caras E y O del seto N-S; los valores del top son los mismos para todas las orientaciones. El significado de las posiciones de los setos se ilustran en la Fig.6.1..... 159

**Fig. 6.3.** Fotosíntesis neta ( $P_n$ ) en respuesta a tres niveles de radiación en hojas expuestas a tres alturas de la canopia y en ambas caras de setos de olivo con filas espaciadas a 2,5 m y orientadas N-S (paneles A y B) y E-O (paneles C y D) en Octubre 2012 y Septiembre 2013. Barras con la misma letra son no significativamente diferentes entre posiciones de la canopia para cada nivel de radiación por el test MDS para  $p \leq 0,05$ . La línea roja horizontal indica el valor medio de fotosíntesis para todas las posiciones de la canopia en cada nivel de radiación. El significado de las posiciones de los setos se ilustran en la Fig. 6.1..... 162

**Fig. 6.4.** Composición del fruto, pulpa (mesocarpo) y hueso (endocarpo con semilla) de agua, el peso en seco sin aceite y aceite, de frutos recogidos en diferentes posiciones de

ambas caras de seto orientado N-S (paneles superiores) y seto orientado E-O (paneles inferiores) en las estaciones 2012 y 2013. Las posiciones de los setos se ilustran en la Fig. 6.1; el top es el mismo para ambas caras, pero aparece dos veces en la figura. El análisis estadístico mediante el test MDS en  $p \leq 0,05$  fue realizado para cada seto por separado. Valores de cada tejido con la misma letra no son significativamente diferentes entre las posiciones y las caras del mismo seto. ns no significativo..... 166

**Fig. 6.5.** La posición determina las relaciones entre peso fresco de los frutos y (A) la concentración de aceite de los frutos, (B) relación mesocarpo/endocarpo, y la concentración de agua de los frutos (C), para los valores de dos años y 22 posiciones diferentes de la canopia, 11 posiciones de frutos de seto N-S (círculos vacíos) y 11 posiciones de frutos en seto E-O (cuadrados grises). ..... 167

**Fig. 6.6.** Relaciones de la concentración de agua, aceite, y peso seco sin aceite con el número de células (paneles de la izquierda A, C, E) y tamaño de células (células por área transversal, paneles de la derecha B, D, F) del mesocarpo de frutos cosechados en 3 alturas (posiciones 1, 3 y 5) de ambas caras y el top de setos orientados N-S (círculos vacíos) y E-O (cuadrados grises) en el año 2012. .... 170

## Lista de Abreviaturas

Al/An	Relación altura del seto/ancho de calle libre
AD	Alta densidad
AT	Acidez titulable
CRA	Contenido relativo de agua
CSS	Concentración de sólidos solubles
CV	Coefficiente de variación
DAF	Densidad de área foliar
DPV	Déficit de presión de vapor
E-O	Este-Oeste
ETc	Evapotranspiración de cultivo
ETo	Evapotranspiración de referencia
g	Proyección de la unidad de área foliar al haz de luz
IM	Índice de madurez
k	Coefficiente de extinción
kc	Coefficiente de cultivo
kr	Coefficiente de reducción
MDS	Mínima diferencia significativa
N-S	Norte-Sur
NE-SO	Noreste-Suroeste
NO-SE	Noroeste-Sureste
PHT	Potencial hídrico de tallo
Pn	Fotosíntesis neta
Q <sub>10</sub>	Tasa de variación por aumento de la temperatura en 10°C
RFA	Radiación fotosintéticamente activa
s	Distancia de la penetración del haz de luz
SAD	Super alta densidad
W	Ancho de la canopia
$\theta$	Contenido de agua del suelo

---

$\tau$	Transmisión
$\rho_H$	Porosidad horizontal
$\sigma$	Coefficiente de reflexión y dispersión de la radiación difusa

## I. Antecedentes

### 1.1. Frutales en seto

En las plantaciones en seto, la copa de los árboles se alinean en filas, formando paredes productivas continuas dentro de la cual los árboles individuales pierden su identidad (Rieger, 2006). Las plantaciones en seto se han desarrollado principalmente para reducir los costes de producción al facilitar la poda y cosecha (manual o mecanizada) y para incrementar la captura de la radiación y consiguiente mejora de la productividad. Los cultivos en seto pueden lograrse utilizando una amplia gama de **sistemas de conducción, poda y marcos de plantación**.

El **sistema de conducción** se refiere a la forma y disposición espacial de los esqueletos de los árboles, determinando la disposición en el espacio de los órganos vegetativos y fructíferos del árbol, mientras que el **sistema de poda** es la técnica utilizada para alcanzar y mantener el tamaño y la forma deseada de los árboles (Ferree y Schupp, 2003). En manzano, en los que es posible una amplia gama de sistemas de conducción, debido a la disponibilidad de patrones adecuados, el sistema de conducción en seto se ha expandido desde mediados del siglo XX, sustituyendo gradualmente las plantaciones tradicionales formadas con árboles individuales, espaciados y con grandes copas en forma de vaso (Wagenmakers, 1991).

En el sistema de conducción en "eje central", que fue desarrollado para el cultivo del manzano durante la década de 1970, los árboles son conducidos en forma de pirámide con niveles de ramas uniformemente espaciadas sobre el tronco. En muchas de estas plantaciones adultas, el crecimiento vigoroso de las ramas en los niveles superiores produce un sombreado excesivo de los niveles inferiores, reduciendo así la productividad (Robinson et al., 2007). Esto se corrigió durante el

---

período 1970-1980 con el patrón enanizante M9, y más tarde por el desarrollo del sistema de conducción "slender spindle". En este último, el eje principal del árbol es conducido en zig-zag sobre un tutor de apoyo y limitando su altura a 2,5-3 m (Robinson et al., 2007). Posteriormente, durante la década de 1990, se desarrolló el sistema "super spindle" como una modificación del sistema anterior que utiliza densidades muy altas de plantación (4000 a 7500 árboles/ha), que en combinación con patrones enanizantes, ofrece como ventajas mayor precocidad a nivel del árbol individual y de superficie (Fallahi et al., 2002), aunque acorta la vida productiva de la plantación (Robinson, 2003).

El sistema en seto está asociado generalmente con alta densidad de árboles para lograr más rápidamente setos continuos. Un impacto común de la alta densidad es la mayor intercepción de la radiación solar en los primeros años (Jackson, 1980) que aumenta la precocidad (de la Rosa et al., 2007; Hampson et al., 1996) y también el control del tamaño del árbol, posiblemente con efecto adicional de restricción del volumen de raíz (Policarpo et al., 2006; Williamson et al., 1992). Hay muchos factores que determinan la densidad de árboles óptima, incluyendo el vigor vegetativo del cultivar (Grossman y DeJong, 1998), la disponibilidad de patrones enanizantes o semi-enanizantes, las condiciones edáficas, climáticas, genéticas (precocidad cultivar) y los factores económicos (Wagenmakers, 1991).

El sistema de conducción en seto se ha extendido a una amplia gama de especies como el peral (Wheaton et al., 1978), la vid (p.ej. Smart et al., 1990), los frutales de hueso (DeJong y Doyle, 1985 en melocotón; Ryugo y Mikuckis, 1969 en cerezo), cítricos (Piner, 1988) y los frutales de nuez (Beyhan, 2007 en avellano; Olesen et al., 2007 en macadamia; Wood y Stahmann, 2004 en pecano); en cada caso, asociado con el desarrollo o la adaptación de la maquinaria para cosecha (completa o parcial).

En este rango de especies y condiciones de cultivo, los setos se diferencian principalmente en las dimensiones (altura y ancho de la canopia), porosidad de los setos, posición de los frutos en el seto y la distancia entre las paredes de setos adyacentes (ancho de calle libre), de acuerdo a las características de la especie y la

---

maquinaria disponible. Las diferencias en el diseño de los setos conducen a distintos niveles de iluminación de hojas y frutos.

## **1.2. Olivar en seto**

Desde la década de 1990, el aumento significativo en el consumo de aceite de oliva ha favorecido la expansión de la superficie implantada con olivos, tanto en la cuenca del Mediterráneo, donde tradicionalmente se ha cultivado el olivo, como en nuevos países (superficie total 9,6 millones de hectáreas en 2011; FAOSTAT, 2013). El incremento en el coste de mano de obra ha propiciado un mayor interés sobre la mecanización total del olivar. Esto renovó el interés en el olivar en seto, que fue propuesto por primera vez en 1961 (Morettini, 1972), pero comercialmente sin éxito, debido a problemas no resueltos en la mecanización de la cosecha. Desde entonces, se ha avanzado enormemente en el diseño de máquinas cosechadoras, lo que ha facilitado el desarrollo del olivar en seto (Connor et al., 2014; Rius y Lacarte, 2010; Tous et al., 2010).

Actualmente, el olivar en seto ocupa más de 100.000 hectáreas (1% de la superficie total), utilizando un amplio rango de densidades de plantación y dimensiones (Connor et al., 2014). Dos tipos de setos han surgido adaptados a las cosechadoras cabalgantes disponibles actualmente en el mercado. Los primeros son setos estrechos que se mantienen alrededor de 2,5 m de altura y 1,0-1,5 m de ancho, adaptados a máquinas vendimiadoras modificadas. Estos setos estrechos, son normalmente plantados con alta densidad de árboles (1500-2000 árboles/ha) y conducidos con el sistema de "eje central", usualmente se los conoce como olivar "superintensivo" o super alta densidad (SAD). Los setos estrechos se han expandido en zonas donde el olivo presenta de moderado a bajo vigor vegetativo (España, Chile y Portugal) (León et al., 2007; Rius y Lacarte, 2010). El segundo tipo, son grandes setos mantenidos aproximadamente con 4,5 m de altura y 4,0 m de ancho, usualmente llamados como olivar en seto "intensivo" o alta densidad (AD), plantados con 250 a 500 árboles/ha y formados en un sistema de "vaso" o "eje central" (Connor et al., 2014). Una gran cosechadora llamada "Colossus" fue desarrollada en Argentina para estos setos, que se han expandido en las zonas de producción donde el olivo crece vigorosamente (Noroeste de Argentina, Australia,

---

y Estados Unidos) (Cherbiy-Hoffmann et al., 2012; Ferguson et al., 2010; Ravetti, 2008). Aunque todo parece indicar que los setos estrechos y no muy altos permiten alcanzar altas producciones y pueden ser recolectados con máquinas de menores dimensiones (Connor et al., 2014).

Las ventajas de la mecanización de la recolección del olivar son evidentes. Las cosechadoras mecánicas cabalgantes sobre el seto reducen la mano de obra y el coste, al mismo tiempo que permite una entrega en la almazara más rápida de la fruta cosechada para su transformación. La poda mecánica es una ayuda efectiva y económica para el mantenimiento de las dimensiones deseadas del seto. La aplicación de productos fitosanitarios en setos estrechos puede facilitarse y lograrse con atomizadores más pequeños y de menor coste, que los utilizados en las plantaciones tradicionales en vaso. En olivo, la expansión del seto en SAD ha estado limitado principalmente por la elevada inversión necesaria para su establecimiento, las pocas variedades de olivo disponibles de bajo a moderado vigor, el coste de las cosechadoras y el insuficiente conocimiento sobre diseño del seto, longevidad, y manejo requerido para mantener productivo el seto compatible con las cosechadora seleccionada (Freixa et al., 2011).

### **1.3. Diseño de las plantaciones en seto: orientación de filas y ancho de calle**

La orientación de las filas y el ancho de calle deben ser definidos en la plantación del seto y, a diferencia de la densidad de árboles, no se puede cambiar una vez implantado el cultivo, de modo que las ventajas y desventajas de ambos aspectos son fijas durante toda la vida de la plantación. Consecuentemente, profundizar en el conocimiento sobre el impacto de la orientación de filas y el ancho de calle sobre la producción y calidad resulta fundamental para diseñar adecuadamente las plantaciones en seto.

En la práctica, la mayoría de los setos de olivo se plantan con orientación Norte-Sur (N-S) que ofrece igual radiación solar diaria en cada cara del seto, en condiciones de días despejados y nublados. En la actualidad, las desviaciones de los setos a la orientación N-S, son en su mayoría debidas a adaptaciones a la forma

---

o tamaño del terreno, donde otra orientación permite un uso más eficiente de la tierra y la maquinaria, o donde la orientación de las calles de la plantación reduce la erosión del suelo o el riesgo de heladas. La idea generalizada es que la orientación N-S conduce a una mayor productividad de la plantación, respecto a la orientación Este-Oeste (E-O). Algunos estudios científicos realizados en cultivos frutales (Christensen et al., 1979; Khemira et al., 1993; Lombard y Westwood, 1977; Wood y Stahmann, 2004) y vid (Intrieri et al., 1996; Naylor et al., 2000) confirman la ventaja productiva de setos N-S por sobre E-O, pero no en olivo (Connor et al., 2014; Rallo et al., 2013). Por lo que la pregunta sigue siendo, si la orientación de las filas en el olivar en seto, podría ser un estrategia para lograr ventajas en la producción de aceite, la calidad del aceite, el período de cosecha o el uso del agua, y en caso afirmativo, con qué dimensiones de setos, anchos de calle, condiciones ambientales y manejo de la canopia, se alcanza dicha ventaja.

En el olivar en seto, el ancho de calle puede variar en un amplio rango entre 3,5 a 8,0 m; los más estrechos son utilizados en SAD y los más anchos en AD. En la práctica, el ancho de calle es definido en relación con el tamaño de las máquinas que serán utilizadas. Las dimensiones previstas de los setos también deben coincidir con las dimensiones de la cosechadora. Sin embargo, el correcto diseño de la plantación, debe responder a las exigencias de la producción y calidad del aceite.

La información experimental sobre los efectos del ancho de calle en la producción y calidad son limitados en olivo (León et al., 2007) y basados principalmente en el modelado de las respuestas del rendimiento a la radiación (Connor y Gómez-del-Campo, 2013). Hay una ventaja evidente para reducir el ancho de calle, que es aumentar la longitud de seto y área de canopia externa por unidad de superficie, ambos están relacionados con incremento de la productividad, especialmente en los primeros años de la plantación (León et al., 2007). Esta ventaja sobre la producción puede, sin embargo, disminuir con el tiempo a medida que los árboles llenan su espacio asignado y la limitación de iluminación se intensifica (Lavee et al., 2012).

La relación (Al/An) altura del seto/ancho de calle libre (es decir distancia entre filas menos el ancho del seto) es ampliamente usado en el diseño de las plantaciones para seleccionar el ancho de calle adecuado, porque introduce los efectos contrastantes de la iluminación de la canopia. A medida que incrementa la relación Al/An también lo hace la superficie de canopia por hectárea, pero a costa de una reducción de la penetración de la radiación dentro de la calle hacia los estratos inferiores de la canopia (Hadari, 2004). Cain (1972) desarrolló un modelo de radiación para setos sólidos, proponiendo para una óptima intercepción de la radiación, una relación Al/An =2. Robinson (2011), Smart et al. (1990) y Hadari (2004) recomiendan para el diseño de setos, valores de Al/An próximos a 1, para alta producción y calidad de los frutos, en manzano, vid y aguacate, respectivamente. Connor y Gómez-del-Campo (2013), quienes simularon la respuesta del rendimiento de aceite en olivo a la radiación incidente sobre setos rectangulares de varias dimensiones y orientados N-S, encontraron también máxima producción con Al/An =1, con disminución hacia valores más bajos, debido a la menor longitud de seto productivo por unidad de superficie y sólo un leve incremento de la producción con valores mayores que 1.

Hay muchos estudios en frutales que sugieren que la limitada radiación en los estratos bajos de la canopia en setos poco espaciados (altos valores de Al/An) reduce la producción (Farina et al., 2005; He et al., 2008; Kapper y Quamme, 1993; Wheaton et al., 1995). Pastor et al., (2007), en olivares conducidos en seto estrecho, encontraron una reducción significativa del número de frutos y del contenido de aceite en los estratos inferiores de la canopia cuando la relación Al/An superó 1,25. En este caso, los efectos positivos de más longitud de seto por unidad de superficie de la plantación no fueron compensados por las pérdidas de producción en la base de los setos.

El impacto del ancho de calle sobre la producción, podría diferir según la orientación de las filas. La combinación de ambos aspectos en el diseño del seto se ha estudiado sólo en términos de captura de radiación con modelos matemáticos, pero no experimentalmente (Cain, 1972; Olesen et al., 2007; Palmer, 1989). Estos autores estimaron que (i) el aumento del ancho de calle reduce la intercepción de

---

radiación anualmente, siendo más marcado en setos orientados E-O que N-S, (ii) mayor ancho de calle, mejora la distribución de la radiación dentro de la canopia de setos orientados N-S, pero no E-O y (iii) la orientación de los setos tiene menos importancia en setos con reducido ancho de calle que en setos espaciados.

Para avanzar en el conocimiento sobre los efectos de la orientación de los setos y del ancho de calle sobre la productividad y calidad, nos centraremos en los efectos del diseño del seto sobre las respuestas fisiológicas de los árboles a través de su influencia en el microclima de la canopia (radiación y temperatura). La mayoría de los datos disponibles en esta revisión son en cultivos frutales más que en olivo (principalmente de manzano, pera, melocotón, vid y cítricos) y no siempre para sistemas en seto.

#### **1.4. Radiación solar**

La tasa de crecimiento de los cultivos depende de su capacidad de capturar y utilizar la energía emitida por el sol para la asimilación de CO<sub>2</sub> y su posterior transformación en compuestos orgánicos. La radiación solar, también expresada como radiación de onda-corta, promueve los procesos de demanda de agua (evapotranspiración), crecimiento (fotosíntesis), y varias respuestas foto-morfogenéticas de los cultivos (desarrollo). La evapotranspiración responde a la intercepción de la energía en todo el espectro solar (0-3  $\mu\text{m}$ ), pero la fotosíntesis sólo al componente visible (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) comprende una proporción aproximadamente constante de la radiación solar para una amplia gama de condiciones atmosféricas (2,06 mol RFA/MJ) que permite su fácil conversión, i.e. 1 W/m<sup>2</sup> de radiación solar contiene 2,06  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  RFA, mientras que la radiación solar diaria de 20 MJ/m<sup>2</sup> contiene 41 mol RFA/m<sup>2</sup> (Loomis y Williams, 1963).

La radiación interceptada por el seto es la proporción de la radiación solar incidente sobre la superficie de la canopia que no se transmite a través de la planta hacia el suelo. La radiación interceptada por la canopia del seto puede ser determinada entonces, conociendo la radiación incidente sobre el seto y sobre el suelo. A su vez, hay dos partes de la radiación en el suelo. En primer lugar, la parte del suelo de la calle iluminada por la radiación solar que no atraviesa el seto y

---

segundo, el “sunfleck” o pequeñas zonas iluminadas dentro del área sombreada por el seto en la calle. Ambos varían a lo largo del día y del año, con la orientación del seto y el ancho de calle libre, así como con la altura de la canopia, la porosidad y la latitud.

La cantidad de radiación incidente e interceptada por la canopia, puede ser determinada por mediciones directas en el seto, utilizando una amplia gama de instrumentos y protocolos de medición (Welles y Cohen, 1996). Estas mediciones aportan información para las condiciones concretas del seto medido. Sin embargo, ya que el movimiento del sol es conocido para cada latitud, fecha y hora del día, los modelos de radiación han sido una herramienta valiosa en la estimación de la radiación incidente e interceptada para un amplio rango de latitudes, estructuras de seto y especies.

Sobre la base de los primeros modelos desarrollados por Jackson y Palmer (1972) y Charles-Edwards y Thorpe (1976), que simulan la radiación interceptada por los setos, se han realizado mejoras y distintas aplicaciones que incluyen el modelado en especies perennes, caducifolias y viñedos (Annandale et al., 2004; Cohen y Fuchs, 1987; Cohen et al., 1987; de Melo-Abreu et al., 2002; Lescourret et al., 2011; Pieri, 2010), los efectos de la orientación del seto (Palmer, 1989), la latitud (Cain, 1972; Connor, 2006; Olesen et al., 2007), forma del seto (Olesen et al., 2007) y el análisis de la porosidad (Abraha y Savage, 2010; Connor et al., 2009; Oyarzun et al., 2007; Pieri, 2010).

#### **1.4.1. Efecto de la orientación del seto en la radiación interceptada en distintas latitudes y días del año**

La orientación de las filas modifica la cantidad y distribución de la radiación interceptada por el seto (Annadale et al., 2004; Connor et al., 2014; Olesen et al., 2007; Palmer, 1989). Conocer adecuadamente el impacto de la orientación de los setos sobre la radiación es fundamental para entender posibles efectos de este aspecto del diseño de los setos influirán sobre el microclima de la canopia, fisiología, productividad y calidad. En esta sección, evaluamos la influencia de la orientación del seto sobre la radiación utilizando un modelo matemático,

---

desarrollado y validado específicamente en setos de olivo (Connor, 2006; Connor et al., 2009). Las simulaciones son referidas a olivares en seto con dimensiones similares a los evaluados experimentalmente en los capítulos siguientes de esta tesis.

El modelo estima la radiación en la superficie del seto, en función del día del año, la latitud, la orientación de las filas, altura del seto, ancho de calle, ancho del seto en su base, pendiente de la pared, y la transmisión de la radiación hacia las caras sombreadas, sobre la base de mediciones de porosidad horizontal. Los resultados presentados aquí son para condiciones de cielo despejado y suelo con pendiente cero. Las simulaciones se realizaron para setos rectangulares con dimensiones de un olivar SAD, es decir, 2,5 m de alto, 1 m de ancho, y 3 m de calle libre, así como paredes verticales y en 4 orientaciones (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O).

Las tendencias anuales en la radiación interceptada e incidente horizontalmente se presentan en la Fig. 1.1 para el rango de latitudes 25-45°, que incluye las zonas de producción del olivo en todo el mundo, que actualmente se extiende desde altas latitudes, como en la Toscana (43 °N), Italia, a las regiones subtropicales, como en el Noroeste de Argentina y el Este de Australia (28 °S). Localidades en el hemisferio sur requieren cambio de escala del eje horizontal para colocar el verano al final del año.

Anualmente, la radiación incidente sobre una superficie horizontal disminuye al incrementar la latitud, variando entre un mínimo y un máximo entre los solsticios de invierno y verano, respectivamente (Fig. 1.1). A su vez, la radiación incidente horizontalmente en el solsticio de invierno disminuye al incrementar la latitud (16,0 a 6,0 MJ/m<sup>2</sup> desde 25 a 45° N), e incrementa, aunque más levemente, con el incremento de la latitud en el verano (32,0 vs 33,0 MJ/m<sup>2</sup> desde 25 a 45° N). Estos patrones se corresponden con el menor largo del día en invierno a latitudes 45° N (8:45 h), respecto a 25° N (10:34 h), y lo opuesto, días más largos en el solsticio de verano a 45° N (15:36 h), respecto a 25° N (13:41 h).

La intercepción anual de radiación en setos orientados N-S y NE-SO o NO-SE es mayor que los orientados E-O, independientemente de la latitud. La intercepción

---

disminuye a medida que aumenta la latitud, siendo más pronunciado en los setos N-S que setos E-O y NE-SO o NO-SE. Las diferencias entre las orientaciones del seto N-S y E-O disminuyen anualmente 17, 9 y 4% a medida que aumenta la latitud de 25 a 35 y 45 °N, respectivamente. En comparación, las diferencias entre las orientaciones N-S y NE-SO o NO-SE son leves, disminuyendo 7, 3 y 0% para las latitudes 25, 35 y 45 °N, respectivamente. Cuando se expresa como intercepción de la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal, los setos orientados N-S, NE-SO o NO-SE y E-O interceptan anualmente 66, 63 y 60% en la latitud 25 °, aumentando a 71, 76 y 78% a una latitud de 45 °, respectivamente.

En la Fig. 1.1 se pueden apreciar las diferencias importantes a lo largo del año en la incidencia de radiación, en función de la orientación del seto. Setos orientados N-S y NE-SO o NO-SE, siguen la tendencia de la radiación solar incidente sobre la horizontal, que varía de forma sinusoidal desde un mínimo a un máximo en los solsticios de invierno y verano, respectivamente. En setos N-S, la intercepción de radiación diaria permanece aproximadamente constante durante todo el año, independientemente de la latitud, mientras que en setos orientados NE-SO o NO-SE, la intercepción incrementa hacia el invierno, a medida que aumenta la latitud. En contraste, la interceptación por setos E-O es máxima en invierno y mínima en verano. En estos setos, la interceptación se acerca al 100% en invierno y disminuye bruscamente próximo al verano, especialmente a baja latitud. La radiación interceptada diaria es mayor en setos orientados E-O que en setos con orientación N-S y NE-SO o NO-SE durante los días de año 285-45 (ca. 20%) a 25 °N, 285-75 (ca. 24%) a 35 °N, y por último entre los días 255-75 (ca. 23%) a 45 ° N, con tendencias opuestas durante el resto del año.

#### **1.4.2. Efecto de la orientación del seto y ancho de calle en la radiación interceptada a distintas alturas de la canopia**

La intercepción de radiación del seto por unidad de superficie de suelo incrementa con el aumento de la altura y el ancho de seto, pero disminuye con el aumento del ancho de calle libre (Cohen et al., 1987; Connor et al., 2014; Olesen et al., 2007). Palmer (1989) simuló el efecto de la orientación de filas sobre la intercepción de radiación en combinación con la altura seto (rango: 0,5 - 4 m) y el ancho de calle

---

(rango: 2-4 m), mostrando que la orientación de las filas no es importante en la determinación de la intercepción en setos menores de 1 m de altura, excepto en el otoño a alta latitud (51,3 °N) y que la orientación de las filas tiene menos efecto sobre la intercepción de radiación con menores (2,0 m) que con mayores (4,0 m) anchos de calle.

Con el objetivo de entender estos resultados se ha procedido a realizar una simulación con el modelo desarrollado por Connor (2006) y Connor et al. (2009) de los perfiles verticales de radiación (directa más difusa) en ambas caras de setos sólidos y rectangulares, orientados N-S, NE-SO y E-O. Las simulaciones se realizaron para setos de 4 m de altura, 1 m de ancho y 3 m de calle libre, para los solsticios de verano e invierno y el equinoccio de primavera a 35° de latitud N (Fig. 1.2). En este diagrama, el eje de abscisas se expresa como la profundidad desde la parte superior del seto, para resaltar que las respuestas pueden ser interpretadas como perfiles de radiación para cualquier rango intermedio de altura de la canopia, lo que permite evaluar también el efecto de la relación altura del seto/ancho de calle libre ( $Al/An$ ) sobre el perfil vertical de radiación. Por ejemplo, para un ancho de calle libre de 3 m, a los 2 m de profundidad, los perfiles corresponden a un seto diseñado con relación  $Al/An = 0,66$ , mientras que para una profundidad (y altura) de 4 m la relación  $Al/An$  es de 1,33.

En ambas caras de setos N-S, la radiación disminuye casi linealmente en los tres días reportados, para setos con una profundidad de 3 m (es decir, relación  $Al/An \leq 1$ ), pero más marcadamente en verano que en invierno y en los equinoccios. Por debajo de esa profundidad (relación  $Al/An > 1$ ), la radiación se mantiene en valores bajos. La radiación en la cara S de setos E-O muestra poca disminución con la profundidad en el solsticio de verano y el equinoccio de primavera, independientemente de la relación  $Al/An$ , aunque disminuye bruscamente en el solsticio de invierno. La cara N se ilumina sobre todo durante el verano, cuando recibe radiación directa por períodos cortos durante la mañana y por la tarde. En la cara SE de setos NE-SO, el patrón vertical de radiación varía según la estación. En invierno y en los equinoccios, la radiación en las paredes del seto disminuye linealmente con la profundidad de la canopia, pero en verano hay poca variación

---

hasta una profundidad de 2 m, (relación  $A_l/A_n \leq 0,66$ ), mientras disminuye linealmente por encima de esta profundidad. En contraste, en la cara NO la radiación disminuye gradualmente con la profundidad del seto, principalmente durante el verano y en los equinoccios y está poco iluminada en invierno.

En resumen, la Fig. 1.2 ilustra, (1) la disminución de la radiación desde el estrato más alto hacia la base de la canopia, más marcado en ambas caras de setos orientados N-S y NE-SO que en setos E-O, en correspondencia con los resultados obtenido por Palmer (1989) y Connor et al. (2014) y (2) las escasa radiación disponible en los estratos inferiores de la canopia en setos diseñados con  $A_l/A_n > 1$ , más evidente en setos orientados N-S y NE-SO, que en setos E-O (Connor et al., 2014).

#### **1.4.3. Efecto de la porosidad del seto en la radiación interceptada**

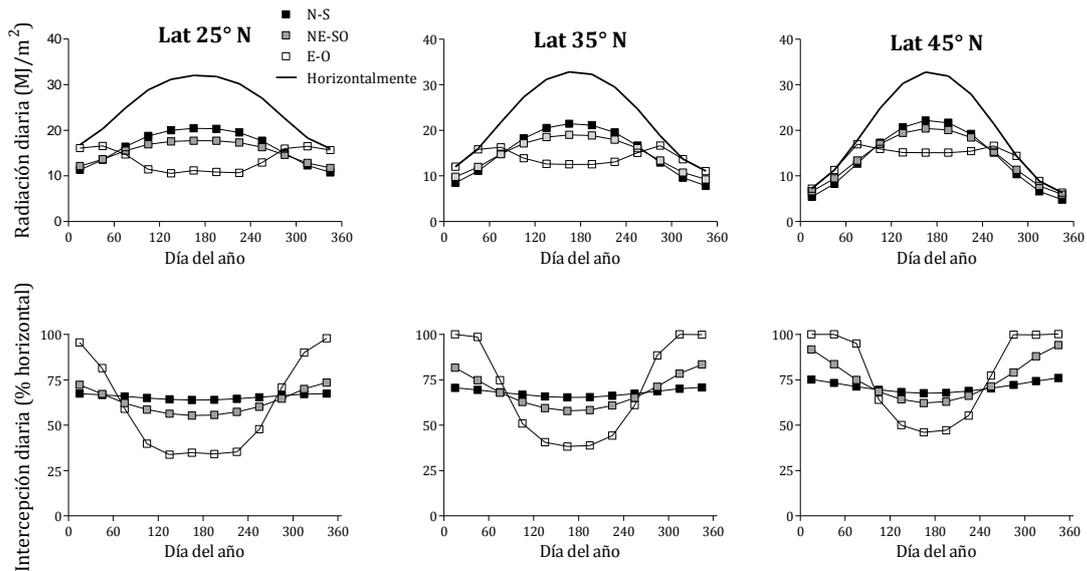
La porosidad del seto es importante en la ventilación y penetración de productos fitosanitarios (Lazzaro et al., 2008). La porosidad presenta también gran importancia por su efecto sobre la transmisión e iluminación dentro de la canopia de los setos. La transmisión de la radiación directa, producida por una elevada porosidad del seto, tiene el efecto de reducir las grandes diferencias observadas en los patrones de incidencia dentro de los setos (Fig. 1.2).

El efecto de la porosidad sobre la transmisión de la radiación es muy sensible a la orientación del seto. Para setos N-S, que reciben igual irradiancia diaria en ambas caras en cantidades determinadas por la estación del año y la latitud, la transmisión entre las caras es similar. Para setos E-O, por el contrario, el patrón anual de incidencia de la radiación difiere marcadamente entre las caras (Fig. 1.2). En el solsticio de invierno y en los equinoccios de primavera y otoño, toda la radiación directa incide en la cara S, con máximos en los equinoccios, mientras que la cara N sólo recibe radiación directa por cortos períodos durante el verano, por la mañana temprano y por la tarde. Durante el resto del año, la cara N es iluminada por la radiación difusa y reflejada en las calles, y la radiación transmitida a través del seto desde la cara S. Bajo estas condiciones, la transmisión entre las caras debe

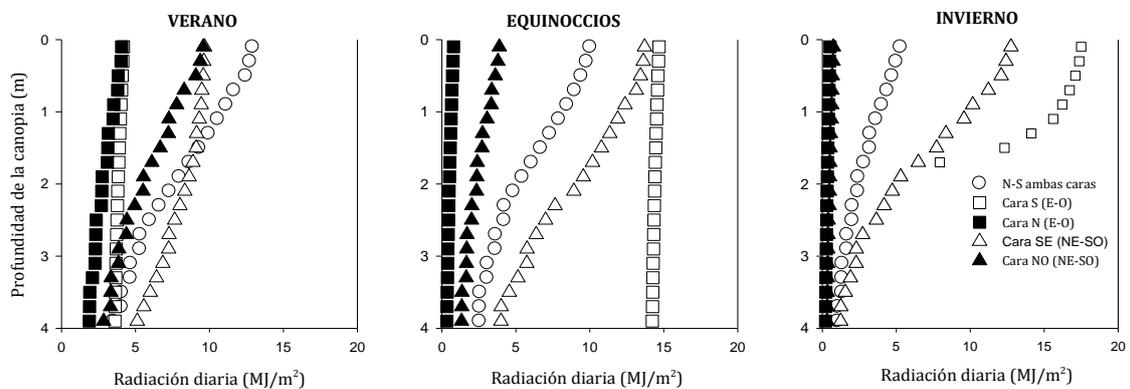
desempeñar un papel importante en la determinación de la radiación en el follaje interno dentro de los setos.

Connor et al. (2009) midieron la porosidad horizontal de olivares en seto con fotografía digital y evaluaron su efecto sobre la transmisión de radiación para así poder modificar el modelo original (Connor, 2006), desarrollado para setos sólidos. Las medidas de transmisión de radiación a través de setos N-S y E-O, revelaron que la porosidad horizontal, rango de 0-30%, tuvo poco efecto en los setos N-S porque la longitud del haz a través del seto es grande cuando la radiación también es alta (media-mañana a media-tarde), y la transmisión sólo alcanzó el 5% en verano. En cualquier caso, la contribución adicional a cada cara está balanceada sobre una base diaria. En contraste, el efecto de la porosidad es mucho mayor en los setos E-O a causa de la asimetría en la radiación y al hecho de que la mayor intensidad de radiación coincide con una corta longitud del haz de luz hacia las caras sombreadas del seto, principalmente alrededor de los equinoccios de primavera y otoño.

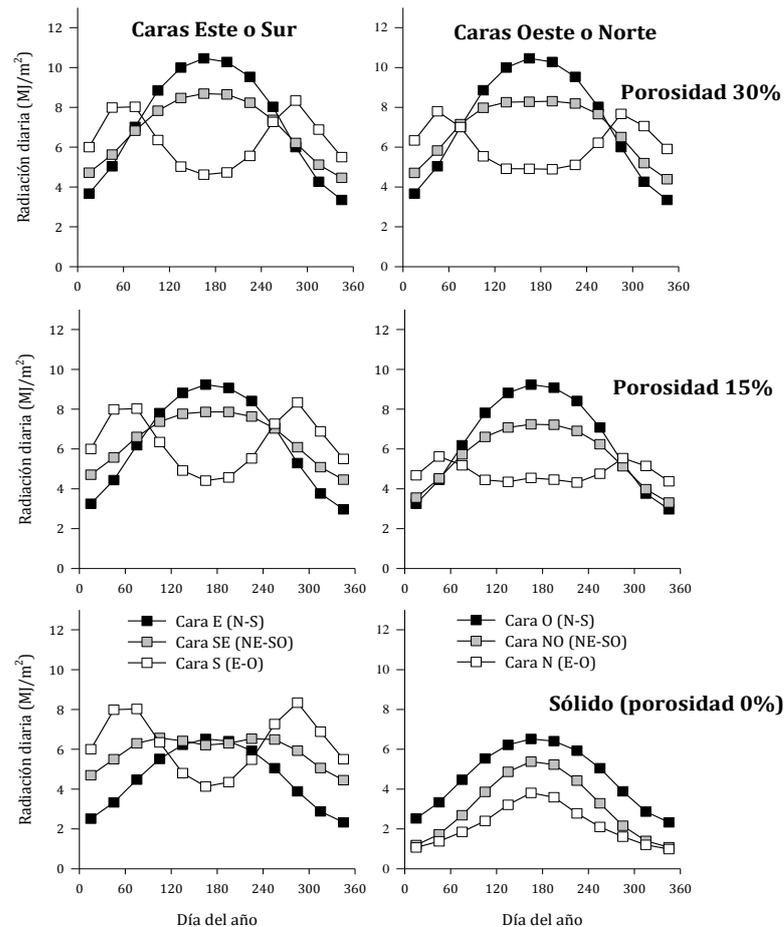
No se dispone de referencias en las que se estudie el efecto de setos con distintas porosidades y orientaciones en la radiación interceptada, por ello utilizamos el modelo de Connor et al. (2009) para comparar olivos en setos SAD (altura 2,5 m, ancho canopia 1,0 m y ancho calle 4 m) con variable porosidad horizontal de 15 y 30% sobre los patrones anuales de radiación, promedio de ambas caras de setos orientados N-S, E-O y NE-SO (Fig. 1.3). En estas simulaciones la radiación se calculó como la radiación media entre la superficie y el centro del seto. El análisis revela el gran impacto de la porosidad en todas las orientaciones, pero sobre todo en setos E-O, donde influye la marcada asimetría entre las caras S y N del seto. Sobre una base anual, la radiación media en la cara N de los setos E-O aumentó un 250% en respuesta a una porosidad del 30%.



**Fig. 1.1.** Variación anual de la radiación de onda corta (paneles superiores) simulada (Connor et al., 2009), en días totalmente despejados sobre una superficie horizontal (línea continua) y que incide en setos sólidos (0% porosidad horizontal) rectangulares (altura = 2,5 m, ancho = 1,0 m, calle libre = 3,0 m) orientados N-S, NE-SO y E-O en tres latitudes septentrionales. Los paneles inferiores son las proporciones de radiación interceptada respecto a la horizontal.



**Fig. 1.2.** Perfiles verticales diarios de radiación de onda corta simulada (Connor et al., 2009) en ambas caras de setos sólidos y rectangulares orientados N-S, NE-SO y E-O (altura = 4,0 m, ancho = 1 m, ancho de calle libre = 4,0 m) en días despejados para los solsticios de verano e invierno y el equinoccio de primavera en la latitud 35°N.



**Fig. 1.3.** Variación anual de la radiación de onda corta simulada (Connor et al., 2009), en días despejados dentro de las caras E o S (paneles de la izquierda) y caras O o N (paneles de la derecha) de setos rectangulares orientados N-S, NE-SO y E-O (altura = 2,5 m, ancho = 1,0 m, ancho de calle = 4,0 m) en respuesta a la porosidad horizontal de 15 y 30% en comparación con setos sólidos (porosidad 0%) a 35 °N. La radiación del seto NO-SE es simétricamente opuesta al seto NE-SO. La radiación interceptada por una cara es la media entre la radiación interceptada sobre la pared vertical y una línea trazada por la mitad del seto.

### 1.5. Radiación y temperatura

La radiación solar está relacionada con los procesos de incrementos o disminuciones de la temperatura del aire, del suelo y de las plantas. Los procesos bioquímicos son sensibles a la temperatura (Tarara et al., 2008), con tasas que se duplican por cada 10 °C de aumento (es decir  $Q_{10} = 2$ ). Los procesos individuales responden tanto a la radiación, como a la temperatura, por lo que resulta difícil separar los efectos individuales, para esto se requiere la manipulación directa de las dos variables (Sadras et al., 2012). En condiciones de campo es especialmente

difícil debido a que la temperatura varía diurnamente, incrementando gradualmente poco después de la salida del sol hasta un máximo pasado el mediodía solar, luego disminuye hasta el atardecer y toda la noche hasta registrar un mínimo poco después del amanecer del día siguiente. La temperatura máxima diaria se produce después del mediodía solar, es decir, después de la radiación máxima, debido al almacenamiento de calor en la atmósfera y en las capas superficiales del suelo (Chen et al., 1999).

La temperatura de los órganos de las plantas individuales fluctúa en función de la temperatura del aire, aunque las interacciones entre órganos vecinos y el microambiente que los rodea pueden crear grandes desviaciones con la temperatura del aire (Saudreau et al., 2011). Por ejemplo, la diferencia entre la temperatura de los órganos y la del aire aumenta con la radiación y disminuye con la velocidad del viento (Bergqvist et al., 2001; Dokoozlian y Kliewer, 1996). En plantas con estrés hídrico, esta diferencia aumenta como consecuencia de la reducción de la transpiración (Jones et al., 2002; Sepulcre-Cantó et al., 2006), principalmente de las hojas, pero también de otros órganos. Otros factores que determinan la temperatura de los órganos son las características de la conductancia de la superficie a la difusión de vapor de agua y la arquitectura global de los cultivos (Saudreau et al., 2011).

Como fue enfatizado en la sección 2, la orientación del seto y el ancho de calle modifican la radiación sobre el seto, y por lo tanto, proporcionan una buena oportunidad para manipular los procesos dependientes de la temperatura en ambientes limitados por temperatura. Por ejemplo, ambientes cálidos de Argentina y Australia pueden tener una influencia perjudicial sobre la floración y la calidad del aceite de oliva (Ayerza y Sibbett, 2001; Rondanini et al., 2011), mientras que en ambientes más fríos en el norte del Mediterráneo, las bajas temperaturas durante el otoño-primavera pueden dañar partes aéreas de las plantas (Barranco et al., 2005).

A continuación profundizaremos en el conocimiento actual sobre la variación en la temperatura de las hojas primero y de los frutos luego, en relación a su posición en la canopia y la influencia de la temperatura de estos órganos sobre los procesos

---

fisiológicos implicados en la productividad y calidad de los cultivos. El énfasis está puesto en los posibles efectos de la orientación y no en el ancho de calle, porque estas relaciones serán evaluadas experimentalmente en olivares setos con distintas orientaciones e igual ancho de calle.

### **1.5.1. Temperatura de las hojas**

La transpiración enfría las hojas y así su temperatura se correlaciona negativamente con la tasa de transpiración (Drake et al., 1970; Pallas et al., 1967). Bajo condiciones de alta radiación, velocidad de viento moderado y sin limitaciones de agua, la temperatura de las hojas de olivo es similar o ligeramente superior a la temperatura del aire (Sepulcre-Cantó et al., 2006). La diferencia entre la temperatura de las hojas y la del aire aumenta bajo estrés hídrico debido a que la pérdida de turgencia de las hojas produce el cierre de los estomas, reduciéndose la capacidad de enfriamiento de las hojas (Kramer, 1983). El incremento de la temperatura de las hojas respecto a la del aire por estrés hídrico, dependen a su vez de la temperatura del aire y la velocidad del viento (Agam et al., 2013; Tuzet et al., 2003).

La temperatura de la hoja tiene una influencia moderadora de la fotosíntesis. En olivo, la tasa máxima de fotosíntesis se mantiene en un amplio intervalo de temperaturas, 15-32 °C, pero disminuye rápidamente por encima de 40 °C, debido principalmente a la reducción de la conductancia de CO<sub>2</sub> del mesófilo (Bongi y Long, 1987; Higgins et al., 1992), aunque otros efectos como la organización estructural de las células (estabilidad de la membrana del tilacoide) también pueden estar involucrados (Angelopoulos et al., 1996; Gamon y Pearcy, 1990). En ausencia de información publicada, los modelos de radiación podrían ser utilizados como una primera aproximación para entender el efecto de la orientación del seto en la diferencia entre la temperatura del ambiente y la canopia. La complicación, sin embargo, es que tanto la tasa de transpiración, como la temperatura de la canopia son sensibles al déficit de presión de vapor (DPV) que es mayor después que antes del mediodía solar, a diferencia de la radiación solar incidente que es simétrico alrededor de un máximo al mediodía solar. La consecuencia es que las caras O de setos N-S experimentan mayor temperatura de la canopia durante la

---

tarde que las caras E durante la mañana, a pesar de recibir igual radiación solar. Ribeiro et al. (2005) y Greer y Weedon (2012) han medido esta respuesta en setos N-S de cítricos y vid, respectivamente. Sus mediciones revelaron temperaturas de las hojas más bajas que el aire (4,1 °C) en la cara E que el O durante las horas más calurosas del día (es decir, entre las 11 a 15 h de tiempo solar) bajo condiciones de alta radiación y DPV y elevada temperatura del aire. En consecuencia, la cara E presenta mayor capacidad disipativa de calor, probablemente debido a una mayor tasa de transpiración.

A pesar de esta limitación, las simulaciones de radiación sobre las paredes del seto sugieren la necesidad de atención sobre cuestiones tales como (i) el efecto de alta radiación y temperatura de la canopia en la cara iluminada por el sol de los setos E-O sobre la producción de asimilados y la partición hacia los frutos durante el periodo de síntesis de aceite, (ii) respecto a los perfiles verticales de radiación y temperatura en la distribución de los componentes del rendimiento (número de frutos, tamaño y contenido en aceite) (Gómez-del-Campo et al., 2009; Tanny y Cohen, 2003) y calidad del aceite (García-Inza et al., 2014) y (iii) aumento de la susceptibilidad al daño por heladas de las estructuras vegetativas en las caras sombreadas, i.e. cara N del setos E-O (en el hemisferio N) y los estratos inferiores de los setos en general, con especial atención a setos con reducido ancho de calle.

### **1.5.2. Temperatura del fruto**

Numerosos procesos biológicos implicados en el crecimiento y desarrollo de los frutos dependen de su temperatura. Efectos sobre la maduración y acumulación de azúcar, ácidos y antocianinas han sido demostrados en bayas de vid (Spayd et al., 2002) y frutos de manzano (Yamada et al., 1994). Además, la temperatura de los frutos se asocia con un aumento de lesiones por quemaduras en manzano (Glenn et al., 2002). En olivo se han reportado varias respuestas, la producción de aceite está inversamente relacionado con la duración del período de llenado de aceite de los frutos que es afectado por la temperatura (Trentacoste et al., 2012). La temperatura del fruto también afecta a la biosíntesis de aceite según lo revelaron Ramli et al. (2002) quienes utilizaron tejidos de aceitunas incubados a diversas temperaturas con acetato marcado ( $^{14}\text{C}$ ), precursor de la síntesis de ácidos grasos.

---

Los autores establecieron que el aumento de temperatura de 20 a 30 °C, duplicó, aproximadamente, los niveles del precursor de lípidos totales (es decir,  $Q_{10} = 2$ ). Además, en un experimento llevado a cabo con secciones de pulpa de aceituna, Sánchez et al. (1990) revelaron que la incorporación de [ $^{14}\text{C}$ ] acetato de etilo dentro de contenido del ácido glicérido se redujo fuertemente a temperaturas superiores a 40 °C.

Al igual que en las hojas, la transpiración es el proceso principal que regula la temperatura interna de los frutos. En frutos de olivo, la tasa de transpiración de los frutos es alta durante el crecimiento inicial (60 días después de plena floración), pero luego disminuye notablemente siendo baja hasta la cosecha. Esta disminución se asocia con la pérdida gradual de la funcionalidad de los estomas y por biosíntesis y acumulación de cera en la superficie (Proietti et al., 1999). Ambos efectos sirven para reducir en gran medida la conductancia de la epidermis de los frutos. Similares patrones se han observado en kiwi (Celano et al., 2009; Montanaro et al., 2006). Por el contrario, en manzana y melocotón, la transpiración de los frutos disminuye mucho más próximo a la madurez (Génard y Huguet, 1996; Morandi et al., 2007). Por lo tanto, se podría esperar que la temperatura de frutos de olivo, esté controlada principalmente por la radiación y el intercambio de calor sensible con el microambiente inmediato alrededor de ellos, debido a que los intercambios por evaporación resultan insignificantes (Saudreau et al., 2007).

Orlandini et al. (2005) estudiaron la evolución diurna y estacional de la temperatura de frutos expuestos en las caras E, O, S y N de olivos formados en vaso (hemisferio N). Los patrones diurnos revelaron que la temperatura del fruto supera la temperatura del aire al mediodía en condiciones de días despejados, pero fue menor durante la noche para todas las orientaciones. La temperatura del fruto respondió a la orientación durante el día, pero no durante la noche, cuando todos los frutos tuvieron menor temperatura que el aire. Comparando orientaciones durante el día, las temperaturas de los frutos en las caras E aumentaron más rápidamente en la mañana, mientras que los frutos sobre las caras O estuvieron más calientes en la tarde. Los frutos expuestos sobre las caras S fueron más calientes al mediodía que en las caras E, O y N. En días nublados, todos los frutos

---

presentaron similar temperatura, que fue próxima a la temperatura del aire a lo largo del día. En verano, las temperaturas máximas se registraron en los frutos sobre las caras O en la tarde, mientras que en otoño los frutos con mayor temperatura se observaron sobre las caras S al mediodía, en ambos casos, estrechamente relacionado con el patrón de radiación. Los frutos sobre las caras N y E experimentaron menor temperatura, consistentemente durante toda la estación de crecimiento. Orlandini et al. (2005) mostraron que las aceitunas expuestas sobre las caras S y O de los árboles excedieron durante todo el periodo de desarrollo de los frutos un umbral de temperatura de 36 °C, durante 93 y 151 h, respectivamente, mientras las aceitunas localizadas en las caras N y E, excedieron el umbral de 36 °C, en 57 y 30 h, respectivamente.

Estas observaciones en frutos de olivo concuerdan con experimentos realizados en vid, donde se estudiaron la calidad de las bayas y su temperatura. Spayd et al. (2002) reportaron un experimento llevado a cabo en el Estado de Washington (46,3 ° N) en viñas conducidas en cordón bilateral (cv. Merlot). La temperatura de las bayas se midió en racimos expuestos a la radiación solar o a la sombra en ambas caras (E y O) de la canopia. Los resultados revelaron que los frutos expuestos al E presentaban mayor temperatura temprano en el día y se mantuvo cerca de la temperatura del aire durante la tarde. La máxima diferencia diurna entre la temperatura de las bayas expuestas al E y las sombreadas varió entre 3,3 a 11,7 °C, generalmente entre las 8-10 h hora solar. Los frutos expuestos al O se mantuvieron cerca de la temperatura del aire antes del mediodía y aumentó considerablemente después. En otro estudio, Bergqvist et al. (2001) midió la temperatura de bayas, en viñas orientadas E-O en California, EE.UU. (36 ° 44' N), conducidas en cordón bilateral y podados para proporcionar diversos tratamientos de exposición del racimo. Los autores encontraron que a similar exposición solar, la temperatura del mediodía de los racimos en la cara N fueron 4,3 °C menor que los de la cara S.

Los setos orientados en la dirección de los vientos dominantes experimentan un mayor movimiento de aire entre las calles y también dentro de la canopia, generando menores diferencias entre las temperaturas de los órganos vegetativos,

---

reproductivos y el aire (Bergqvist et al., 2001). Orientar las filas en el sentido de los vientos predominantes también tienden a generar setos más simétricos alrededor del eje central de la fila (Tarara et al., 2005), menor transpiración de la canopia (Hicks, 1993 citado por Tarara et al., 2005), y favorecer el drenaje de aire frío fuera de la plantación (Snyder y de Melo-Abreu, 2005), pero con la desventaja de pérdida de suelo por erosión eólica.

## **1.6. Efecto de la radiación en la fisiología del árbol**

### **1.6.1. Radiación y fotosíntesis**

Diversos estudios en árboles aislados en frutales han revelado que la tasa de aumento de la fotosíntesis neta de las hojas se relaciona de forma casi lineal con la radiación, desde un valor mínimo (punto de compensación) hasta un nivel máximo en el que se satura. Por ejemplo, Higgins et al. (1992), compararon la respuesta a la radiación fotosintética de siete frutales (manzano, almendro, melocotonero, pera asiática, vid, higo y olivo). Los autores encontraron que la vid y el almendro tuvieron las mayores tasas de fotosíntesis máxima (mayor que  $20 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ), mientras el olivo y peral nashi el más baja (menos de  $15 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ). El olivo y melocotonero alcanzaron la saturación de la fotosíntesis con el menor valor de radiación (aproximadamente  $900 \mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ ) y valores más bajos para el punto de compensación de la fotosíntesis ( $50 \mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ ).

Sobre la base de estas respuestas de las hojas, podría esperarse que la respuesta fotosintética diaria de los setos a la radiación solar, todos en igualdad de condiciones, estaría estrechamente relacionado con los de la radiación de la canopia descrito en la Fig. 1.3, lo que sugiere que el suministro de fotoasimilados para el crecimiento vegetativo o de los frutos respondería en gran medida a los diferentes entornos de radiación causados por la orientación del seto y ancho de calle a nivel de hoja y de canopia entera.

Según nuestras simulaciones para el periodo de llenado de aceite de los frutos, que se produce a partir de Septiembre hasta principios de Noviembre en condiciones del Centro de España ( $39^\circ$  latitud N; Gómez-del-Campo et al., 2009), la radiación media en seto orientado E-O es un 11% mayor que en setos N-S (Fig. 1.1). Este

---

sencillo cálculo revela una ventaja potencial para setos de olivo E-O, con mayor producción total de asimilación para la biosíntesis de aceite, y sobre todo en las caras S.

Intrieri et al. (1998) realizaron el único estudio encontrado en seto, sobre la respuesta de la fotosíntesis de planta entera a la orientación de las filas, utilizando vides en macetas en un sistema de cámara transparente de flujo continuo de aire en Italia (44,5 °N). Las plantas fueron orientadas N-S o E-O para las mediciones diurnas de la fotosíntesis y la transpiración. Los resultados revelaron una disminución en la fotosíntesis al mediodía, aunque menor de lo esperado, en la orientación N-S pero no en E-O. Las respuestas de la transpiración fueron más marcadas, y ambos fueron consistentes con los patrones diurnos de intercepción de radiación simulados para estas canopias.

Los datos de Intrieri et al. (1998) también revelan histéresis en la respuesta de la fotosíntesis y la transpiración a la intercepción de radiación con tasas más altas de ambas por la mañana que por la tarde. El movimiento de las hojas que reduce la intercepción de radiación, pudo haber reducido la transpiración en la tarde (identificado por inferior conductancia de la canopia, i.e. cierre de los estomas, para la misma radiación), y entonces haber reducido la fotosíntesis. Esto es especialmente así, ya que las temperaturas más altas de la tarde también aumentan el DPV que tiende a aumentar la transpiración y la conductancia de la canopia. Hay evidencia en los datos, sin embargo, que a mayor demanda evaporativa, la fotosíntesis fue más limitada que la transpiración por el cierre estomático. El estudio de Intrieri et al. (1998) también incluyó algunas mediciones de la fotosíntesis en viñas orientadas N-S en condiciones de campo. Estos resultados son instructivos porque revelan el aumento de la respuesta de la fotosíntesis a nivel de canopia entera desde 14  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  hasta aproximadamente 1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$  y resaltan el hecho de que la radiación necesaria para maximizar la fotosíntesis a nivel de canopia entera es comprensiblemente mayor que para las hojas individuales.

En general, estos datos identifican las diferencias en el comportamiento fotosintético entre setos de orientaciones contrastantes y las mediciones

---

adicionales necesarias para identificar sus causas. Es evidente que hay una oportunidad para estudios fisiológicos detallados en olivares en seto que podrían ser más adecuados realizarlos en conjunto con mediciones micrometeorológicas del tipo reportado por Martínez-Cob y Faci (2010). Mediciones centradas en el microclima dentro de la canopia son más convenientes para entender el comportamiento a nivel de canopia que sólo utilizando mediciones de la fotosíntesis de hojas individuales (5-6 hojas por olivo que son utilizadas comúnmente en las mediciones de fotosíntesis, por ejemplo, Higgins et al., 1992; Proietti y Famiani, 2002) que proporcionan pistas difíciles de extrapolar, a las respuestas del seto entero, como ha sido sugerido en otros cultivos frutales (Giuliani et al., 1997).

### **1.6.2. Radiación y crecimiento vegetativo**

La orientación de los setos tiene un gran impacto en la radiación de la copa, tanto a nivel global como estacional y diario (Figs. 1.1, 1.2, 1.3). La actividad fotosintética depende directamente de la energía solar que reciben las hojas; los productos formados en la fotosíntesis son utilizados para la formación de órganos vegetativos y reproductivos. En ausencia de estudios previos, en esta sección utilizamos una simplificación para discutir el efecto de la orientación del seto sobre el crecimiento vegetativo. La radiación simulada durante el periodo de crecimiento vegetativo en olivo (primavera) en distintas orientaciones de seto (Fig. 1.3), fue comparada con los parámetros de la respuesta fotosintética de las hojas a la radiación. Proietti y Famiani, (2002) establecen como punto de compensación (fotosíntesis neta cero) en 3,3 mol RFA/m<sup>2</sup>/d incrementando linealmente hasta el punto de saturación (fotosíntesis máxima) en 20,5 mol RFA/m<sup>2</sup>/d. Según nuestras simulaciones, ambas caras de setos orientados N-S y las caras S y SE, de setos orientados E-O y NE-SO, respectivamente, interceptan aproximadamente 20,0 mol RFA/m<sup>2</sup>/d (promedio para toda la profundidad de la canopia de 2,5 m el 15 de Mayo), correspondiente a la máxima capacidad fotosintética de las hojas. Las caras NO (setos orientados NE-SO) y NE (setos orientados NO-SE) registran una reducción de la radiación interceptada a valores de 10 mol RFA/m<sup>2</sup>/d, mientras las hojas sobre la cara N

---

(seto E-0) están expuestas a niveles de radiación de 3,0 mol RFA/m<sup>2</sup>/d próximos al punto de compensación.

Consecuentemente, sería esperable que setos orientados E-0 presenten menor crecimiento vegetativo que otras orientaciones, por lo que se podría requerir menor intensidad de poda, lo que supone un menor coste y mejor balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo, siempre que se asegure la formación de un número suficiente de yemas potencialmente diferenciables a inflorescencias. Esta respuesta no ha sido evaluada ni confirmada experimentalmente.

Adicionalmente, en setos con calles muy estrechas o con alta relación altura del seto /ancho de calle libre, la penetración de la radiación hacia las capas inferiores de la canopia puede ser limitada, reduciendo el crecimiento vegetativo en esas posiciones. La consecuencia es una menor productividad de las plantas individuales dentro del seto (León et al., 2007), y una mayor concentración de la producción en las posiciones superiores de la canopia, como fue observado por Pastor et al. (2007) en olivares en setos con relación altura del seto/ancho de calle libre = 1,4.

### **1.6.3. Radiación y relaciones hídricas**

El método para estimar los requerimientos de agua de los cultivos para satisfacer la máxima demanda de agua utiliza la ecuación  $ET_c = ET_o \times K_c \times K_r$  (Allen et al., 1998; Steduto et al., 2012), donde  $ET_c$  es la evapotranspiración real del cultivo en condiciones de libre disponibilidad de agua,  $ET_o$  es la evapotranspiración de referencia,  $K_c$  es el coeficiente de cultivo y  $K_r$  es un coeficiente empírico que representa la reducción de la  $ET_c$  de plantaciones con cobertura incompleta (Steduto et al., 2012). El coeficiente  $K_r$  se ha estimado para copas de árboles aislados de diversos tamaños y formas (esféricas o cónicas). Sin embargo, no se ha prestado atención a los setos, a pesar de sus estructuras simples y el evidente impacto de la orientación sobre la interceptación de radiación. Sin embargo, estudios recientes en lisímetros establecen que las necesidades de agua de manzano (Auzmendi et al., 2011) y vid (Williams y Ayars, 2005) son directamente proporcionales a la radiación solar interceptada, proporcionando así un estimador robusto del requerimiento agua del cultivo. Dados los efectos simulados de

---

orientación filas sobre la intercepción de radiación (Fig. 1.1), hay razones suficientes para proponer un efecto significativo de la orientación de las filas sobre los requerimientos de agua de los cultivos en seto y la necesidad de experimentación para definir las relaciones para mejorar la gestión del riego.

### **1.6.3.1. Transpiración de la canopia**

La transpiración de la canopia es una función de la radiación interceptada, la conductancia de la canopia para el transporte de vapor de agua, el diferencial de déficit de presión de vapor (DPV) entre el aire y las plantas (Williams y Ayars, 2005) y la cobertura del cultivo (Goodwin et al., 2006). Cultivos en setos adultos con iguales dimensiones pero diferente orientación tienen similares fracciones de cobertura del suelo pero diferentes patrones de radiación interceptada. Por ejemplo, la fracción de cobertura del suelo para los setos modelados en la Fig. 1.3 (altura = 2,5 m; ancho = 1,0 m, ancho calle = 4,0 m y porosidad = 30%, a 35° de latitud N) es de 2500 m<sup>2</sup>/ha o 25%. Anualmente, estos setos N-S interceptan 3 y 9% más radiación que setos orientados NE-SO/NO-SE y E-O, respectivamente. Por otra parte, si sólo consideramos el período de riego para el centro de España (mayo a septiembre), la reducción relativa en setos orientados E-O es del 33% respecto a N-S y 6% para setos NE-SO o NO-SE. A partir de estos cálculos, sería esperable que los setos E-O tengan menores requerimientos hídricos que setos N-S, a igualdad de dimensiones y ancho de calles. Las simulaciones (Figs. 1.1 1.2) también muestran cómo las diferencias entre orientaciones disminuyen con el aumento de la latitud y el ancho de calle libre, sin embargo, en esta tesis las relaciones hídricas de olivos en setos sólo serán evaluadas en relación a la orientación de las filas con igual ancho de calle.

Estos simples cálculos, son apoyados por Annandale et al. (2003), quienes desarrollaron y validaron un modelo mecanístico bidimensional para simular las necesidades de riego de cultivos en setos, separando la ETc en transpiración del cultivo y la evaporación del suelo. Los autores evaluaron el efecto de la orientación de las filas en una plantación de cítricos conducidos en seto durante los meses de verano (1 Enero a 31 Marzo) en dos localidades sudafricanas situadas a 28,5 y 33,5 °S. La transpiración del cultivo con filas orientadas E-O fue 21 y 16% más bajas que en la orientación N-S, respectivamente para la primera y segunda localidad.

---

Connor et al. (2014) también estimaron menor demanda de agua en setos orientados E-O que N-S, en el orden de 20% durante el período de verano, basado en simulaciones de interceptación de radiación por setos con iguales dimensiones y orientaciones contrastantes.

La orientación del seto también podría modificar los mecanismos involucrados en las ganancias y pérdidas de agua a nivel del fruto. Las condiciones ambientales como la temperatura, la radiación y el DPV (Génard y Huguet, 1996; Morandi et al., 2007), y factores del manejo del cultivo, como la carga de frutos y el estado hídrico de la planta (Fishman y Génard, 1998; McFadyen et al., 1996) generan procesos diurnos de deshidratación y expansión de los frutos. Se ha demostrado en frutos de melocotón que la pérdida de agua por transpiración de los frutos, reduce el potencial osmótico y la presión de turgencia los frutos, lo que permite la importación pasiva de asimilados desde el floema y entrada de agua en el fruto desde el xilema (Morandi et al., 2007). Las aceitunas pueden verse también afectadas negativamente por deshidratación temporal o permanente, asociado con estrés hídrico durante la última parte de la maduración de los frutos. Dadas las características especiales de la cutícula y la escasa funcionalidad de los estomas en frutos de olivo durante su maduración (Proietti et al., 1999, ver sección 1.5), la deshidratación temporal de las aceitunas resulta menos probable ser explicada por transpiración de los frutos que por la existencia de flujo de agua desde los frutos hacia el árbol a través del xilema. Este último proceso ha sido identificado en vid cv. Shiraz (Sadras y McCarthy, 2007) y en kiwi (Morandi et al., 2010).

Por lo tanto, aplicar una estrategia de riego deficitario en setos de olivo con dimensiones de canopia similares, y sin considerar la orientación del seto, podría conducir en verano a un exceso de agua en setos orientados E-O en comparación con N-S, y en otoño a niveles de estrés más alto que los previstos en setos orientados E-O que N-S, con la consecuente deshidratación de los frutos (y reducción de la producción de frutos). La deshidratación de los frutos en otoño podría no ser reflejado en indicadores del estado hídrico de la planta, debido al flujo de agua desde los frutos hacia la planta.

### **1.6.3.2. Evaporación del suelo**

---

Las plantaciones en seto nunca cubren por completo la superficie del suelo, porque se requiere espacio entre los setos (ancho de calle libre) para llevar a cabo las prácticas necesarias de manejo (controles fitosanitarios, poda y cosecha). Así, dependiendo del ancho de calle y la orientación del seto, el suelo puede recibir una gran proporción de la radiación solar diurna, estacional y anualmente. Esta ganancia de energía ha sido relacionada linealmente con tasas de evaporación del suelo durante los dos primeros días después del humedecimiento del suelo por la lluvia o por el riego (i.e. "etapa 1" limitada por la radiación, Ritchie, 1972) para un amplio rango de condiciones ambientales de evaporación y también varios diseños de olivares (Bonachela et al., 1999). Por lo tanto, se puede esperar que la orientación seto y el ancho de calle afecten a la evaporación del suelo de manera diferente y requiera diferentes estrategias de riego para minimizarlo.

Según nuestras simulaciones (Fig. 1.1), setos orientados N-S y E-O muestran diferentes cantidades y patrones de radiación incidente sobre el suelo durante el año. En setos E-O, la radiación sobre el suelo es mayor que setos N-S durante la primavera-verano (media diaria para las dimensiones de setos simulado 15 vs. 10 MJ/día a 35 ° lat. N, respectivamente) y más baja durante el otoño-invierno (media diaria para las dimensiones de setos simulado 2 vs. 5 MJ/día a los 35 ° de latitud N, respectivamente). En setos N-S, la radiación solar directa alcanza la superficie del suelo en la cara E durante la mañana y la cara O durante la tarde, es decir, las calles se encuentran alternativamente al sol o la sombra. En los setos E-O, sin embargo, todas las calles se encuentran en similares condiciones de iluminación o sombra durante todo el día, dependiendo de las dimensiones, el ancho de calle, la latitud y el día del año. El sombreado es, sin embargo, más profundo cerca de la cara N de los setos (hemisferio N) de tal manera que la instalación de líneas de goteo sobre esta cara pueden minimizar las pérdidas de agua por evaporación directa, según lo determinado por Annandale et al. (2003).

#### **1.6.4. Radiación y productividad**

La producción de frutos está altamente correlacionada con la interceptación de radiación durante la estación de crecimiento. En manzanos, la mayor parte de la variación en rendimiento atribuida a los sistemas de conducción se debe a

---

diferencias en radiación (Robinson y Lakso, 1991). Wünsche y Lakso (2000), también en manzano, encontraron que la fracción de RFA interceptada se relaciona curvilíneamente con el rendimiento de frutos, y que el rendimiento máximo se alcanza a 60% de intercepción. Canopias con mayor intercepción del 60% sufren de sombreado que reduce tanto el número de frutos como su tamaño. Los efectos perjudiciales de la sombra sobre la formación de las yemas reproductivas, cuajado y calidad de la fruta han sido reportados en varios frutales (Ferree et al., 2001; Hampson et al., 1996; Marini y Sowers, 1990). En este sentido, Cherbiy-Hoffmann et al. (2013) establecieron una estrecha relación entre la radiación fotosintéticamente activa y la producción de aceite en un estudio de sombreado artificial en olivares en seto.

Aunque la radiación sobre la canopia de setos ha sido modelada ampliamente, considerando la orientación de filas y ancho de calle, pocos estudios han examinado su impacto en la producción de frutos en condiciones de campo. En este capítulo hemos tratado de identificar todos los artículos científicos publicados que evaluaron el efecto de la orientación de seto sobre la productividad de los cultivos. Nos centramos sólo en el efecto de la orientación del seto, debido a que la respuesta productiva al ancho de calle, es difícil comparar entre especies, porque el ancho de calle varía ampliamente en respuesta a las características propias en el manejo de los cultivos y la maquinaria disponible.

El resultado de esta búsqueda, con un total de sólo 11 trabajos, se presenta en la Tabla 1.1, junto con una breve descripción de las comparaciones reportadas. Los datos cubren seis especies evaluadas en un amplio rango de latitudes (17,3 – 55,3°). La revisión muestra que las orientaciones N-S presentan generalmente mayores rendimientos que las orientaciones E-O, aunque hay algunas excepciones. De las 11 comparaciones, setos N-S produjeron más que setos E-O en 8 trabajos, con ventajas comparativas en el orden del 20%. De los tres trabajos restantes, en uno realizado en café (# 1) no hubo diferencias significativas entre orientaciones de filas. En los otros dos restantes, sin embargo, setos orientados E-O superaron la productividad de setos orientados N-S, uno fue en olivo (# 4) y el otro en manzano (# 10). Sin embargo, otros estudios en las mismas especies (manzano y olivo) registraron mayor productividad en setos N-S que E-O a similar latitud. La

---

revisión también revela la escasa consideración que se ha dado a la orientación del seto en la gran cantidad de especies frutales donde este tipo de sistema de conducción es utilizado, por ejemplo encontramos sólo dos comparaciones para vid y ninguno para *Citrus* sp.

En principio, la respuesta de los cultivos a la radiación será influenciada por el momento, la duración y la sensibilidad de los períodos que determinan la productividad del cultivo. Hemos visto que los cambios significativos en la cantidad y la distribución de radiación se producen alrededor de los equinoccios de primavera y otoño (Fig. 1.1 y 1.3). Las distintas especies difieren en sus respuestas a la radiación durante este periodo. Por ejemplo, el cuajado y crecimiento de los frutos en peral, manzano y vid ocurre durante la primavera-verano, mientras que el desarrollo de los frutos de olivo, que dura desde la antesis a finales de primavera hasta la plena madurez con máxima acumulación de aceite a mediados de otoño es uno de los períodos más largos de crecimiento de fruto, entre los frutales comerciales. Por esta razón, la respuesta de la producción de aceite en función de la orientación de los setos en olivo, podría variar a lo reportado para otras especies frutales debido a una mayor diferencia en la intensidad de radiación en setos E-O v N-S durante el periodo de síntesis de aceite en los meses de otoño (Figs. 1.1 y 1.3).

El tamaño y contenido de aceite de los frutos dependen de la disponibilidad de asimilados y de la competencia entre sumideros para su uso, en el que la radiación también tiene un papel clave. En primer lugar, la radiación interceptada por la canopia conduce al aumento de la síntesis de asimilados por las hojas (ej. Corelli-Grpadelli y Lakso, 2004) y en segundo lugar, la radiación influye sobre el número de frutos por afectar la inducción floral y floración (Fabbri y Benelli, 2000; Tombesi y Cartechini, 1986). Estudios previos indican una variación significativa del número de frutos, tamaño y contenido de aceite en relación con la distribución heterogénea de la radiación entre posiciones de canopia en olivar en plantaciones en seto (Gómez-del-Campo et al., 2009) y tradicional (Acebedo et al., 2000; Bartolini et al., 2014), así como entre diferentes niveles de radiación en olivos sombreados experimentalmente (Cherbiy-Hoffman et al., 2012; Tombesi et al.,

1998). Mayor información sobre la compleja respuesta del desarrollo de los frutos y su composición a diferentes niveles de radiación dentro de la canopia es querida para minimizar esta variabilidad y mejorar el diseño de los setos.

Connor et al. (2009) estudiaron olivares en seto (2,5 m de altura, 1 m ancho) orientados N-S y E-O ubicados en Toledo, España 39,9 °N. Relacionaron los componentes del rendimiento a diferentes alturas y a ambas caras de setos con la radiación interceptada simulada para cada altura. En Catamarca, Argentina (28,4 ° S), Cherbiy-Hoffmann et al. (2012) relacionaron la variación de los componentes del rendimiento dentro de grandes setos de olivo orientados N-S (5,5 m de altura, 4,6 m de ancho) con la radiación medida dentro de los setos. Ambos estudios, obtuvieron funciones lineales-plateau entre la densidad de frutos y la radiación diaria interceptada. La densidad máxima de frutos se logró a 15 mol RFA/m<sup>2</sup>/día en el primer estudio y 8 mol RFA/m<sup>2</sup>/día en el segundo. En otro estudio en olivares en seto orientados N-S en varios sitios del Sur y Centro de España (37,5 a 39,9 ° N), Connor et al. (2012) observaron una función lineal entre la densidad frutos y la radiación diaria durante el otoño en el rango de 3,7 a 12,3 mol RFA/m<sup>2</sup>/día. La comparación directa entre estos estudios es difícil porque Cherbiy-Hoffmann et al. (2012) midieron la variación horizontal de la RFA en el seto, mientras Connor et al. (2009; 2012) estimaron los gradientes verticales de radiación fotosintéticamente activa. Sin embargo, ambos estudios revelan la existencia de límites superiores de fructificación en niveles moderados de RFA.

Los otros componentes del rendimiento, peso del fruto y el contenido de aceite también muestran una fuerte relación con la radiación durante el periodo de crecimiento del fruto y síntesis de aceite según lo observado por Connor et al. (2009). Estos componentes del rendimiento se relacionaron con la radiación en las paredes de setos orientados N-S en España y Australia (39,9 °N y 34,5 °S). Ambos parámetro, ajustaron con la radiación estimada (Octubre en España, Marzo en Australia) por funciones lineales-plateau donde los valores máximos de peso de fruto y contenido de aceite fueron alcanzados con 25 y 22 mol RFA/m<sup>2</sup>/día, respectivamente. En otro estudio, Cherbiy-Hoffmann et al. (2013), utilizando cuatro niveles de sombreado artificial durante el período de crecimiento del fruto

---

en setos N-S en La Rioja, Argentina (28,5 °S), también encontraron una asociación lineal-plateau entre el tamaño del fruto y la concentración de aceite de los frutos con la radiación, con máximos entre 15-17 mol RFA/m<sup>2</sup>/día.

Las relaciones propuestas por Connor et al. (2009) para setos de olivos orientados N-S, fueron también evaluadas con datos adquiridos en ambas caras y diferentes alturas de setos orientados E-O. Entre sus principales conclusiones, los autores detectaron que el peso seco del fruto y la concentración de aceite en la cara S fueron consistentes con la respuesta lineal-plateau obtenida para setos N-S. Los frutos sobre la cara N, sin embargo, llegaron a tamaños más grandes y con mayor concentración de aceite a bajos niveles de radiación simulada. La falta de ajuste entre el peso seco del fruto y la concentración de aceite con la radiación en la cara N pudo ser consecuencia, (i) del tratamiento inadecuado de la porosidad en la transmisión de la radiación en la cara N de setos E-O (Connor et al., 2009); (ii) baja densidad de frutos en la cara N; existe una compensación parcial entre el número de frutos, peso de los frutos y el contenido de aceite, descrito anteriormente en olivo (Trentacoste et al., 2010); (iii) la translocación de asimilados dentro del árbol a posiciones de poca iluminación; (iv) alta variabilidad en la radiación del seto, tanto diurna como estacionalmente de los setos orientados E-O, de tal manera que los frutos en la cara N son iluminadas por la mañana temprano y por la tarde durante el verano, pero sombreados durante el otoño. En vid, por ejemplo Dokoozlian y Kliewer (1996) encontraron que las bayas expuestas a la radiación solar durante las etapas de crecimiento I y II y sombreadas en la etapa III, alcanzaron un peso similar a bayas que fueron expuestas constantemente a la radiación durante las tres etapas. Otros experimentos con sombreado artificial durante la fase de inducción floral en la mitad del verano previo (Tombesi y Cartechini, 1986) han mostrado reducciones severas en el número de frutos. Tomados en conjunto, estos estudios revelan cierto éxito, pero también oportunidades para mejorar las respuestas del tamaño del fruto y el contenido de aceite en oliva a la radiación interceptada resultantes de la orientación del seto.

**Tabla 1.1.** Descripción de artículos publicados que estudian el efecto de la orientación de las filas sobre el rendimiento de los cultivos frutales conducidos en seto. Trabajos presentados en forma creciente según la latitud del sitio.

Referencia	Localidad (latitud)	Cultivo	Principales tratamientos	Principales conclusiones
#1 Oliveira et al., 2012	Pirapora, Brasil (17,3°S)	Café	Con diseño experimental. Setos E-O, NO-SE, N-S y NO-SE.	Setos NO-SE, N-S y E-O mostraron similar producción y alrededor de 50% más que setos NE-SO.
#2 Wood y Stahmann, 2004	Nueva Gales del Sur, Australia (29°S)	Pecán	Con diseño experimental. N-S v E-O y 2 cultivares. Producción acumulada 5 años	Promedio de los cultivares, seto N-S produjo 39% más que E-O.
#3 Middleton et al., 2002	Sur de Australia (34,6°S)	Manzano	Comparando parcelas separadas. Parcela 1. Setos E-O Red Fuji/M26. Parcela 1. Setos N-S Pink Lady/M26.	N-S produjo 24% más que E-O.
#4 Gómez-del-Campo et al., 2009	Toledo, España (39,9°N)	Olivo	Comparando parcelas separadas. Producción de aceite acumulada 2 años	Seto E-O produjo 10% más que N-S.
#5 Tous et al., 2012	Tarragona, España (41,1°N)	Olivo	Comparando parcelas separadas. Producción acumulada 4 años	N-S produjo 41% más que E-O.
#6 Naylor et al., 2000	Marlborough, Nueva Zelanda (41,5°S)	Vid	Con diseño experimental. N-S v E-O. Producción acumulada 2 años	N-S produjo 23% más que E-O.
#7 Lombard y Westwood, 1977	Medford, USA (42°N)	Pera	Con diseño experimental. N-S v E-O y 2 cultivares. Producción acumulada 3 años	Promedio de los cultivares, seto N-S produjo 43% más que E-O.
#8 Khemira et al., 1993	Medford, USA (42°N)	Pera	Continuación del experimento anterior N-S v E-O. Producción acumulada 11 años.	N-S produjo 21% más que E-O.
#9 Intrieri et al., 1996	Boloña, Italia (44,5°N)	Vid	Con diseño experimental. Setos E-O, NE-SO, N-S y NO-SE. Producción acumulada 4 años	NO-SE produjo 30% más que E-O. Setos N-S y NE-SO produjeron 20% más que E-O.
#10 Devyatov y Gorny, 1978	Minsk, Bielorusia (53°N)	Manzano	Con diseño experimental. N-S v E-O y 3 cultivares. Producción acumulada 7 años.	E-O produjo 16-35% más que N-S.
#11 Christensen, 1979	Dinamarca (55,3°N)	Manzano	Con diseño experimental. N-S v E-O x 2 cv. x 2 patrones. Producción acumulada 8 años.	Promedio cv. y patrones, N-S produjo 17% más que E-O.

### **1.6.5. Radiación y calidad**

Las características de la calidad de los frutos, generalmente dependen de su posición en la canopia, porque esto influye en la radiación sobre los frutos y las hojas alrededor de los frutos (Lopresti et al., 2014). Una mayor exposición a la luz aumenta la distribución de asimilados a los frutos. He et al. (2008) cosecharon frutos de melocotón de varias posiciones de la canopia y encontraron una correlación positiva de sólidos solubles con la radiación de la canopia. Del mismo modo, Marini et al. (1991) en melocotonero; Rojas-Lara y Morrison (1989); Dokoozlian y Kliewer (1996), Hummell y Ferree (1998) en vid; Jifon y Syvertsen (2001) en pomelo; y Campbell y Marini (1992) en manzano, todos han demostrado que los frutos con mayor exposición a la radiación solar durante su última etapa de crecimiento, aumentaron el contenido de sólidos solubles, con un ligero descenso o sin cambios en la acidez del zumo. El desarrollo del color rojo en la piel de las manzanas (Awad et al., 2001; González-Talice et al., 2013) y la acumulación de flavonoides en la piel de la uva (Cortell y Kennedy, 2006) también han sido fuertemente correlacionado con la radiación incidente.

La exposición a altos niveles de radiación también aumenta la temperatura de los frutos (ver sección 1.5) que a su vez aumenta las tasas de transpiración y respiración y también la actividad del fruto como sumidero, es decir, mayor translocación de carbono y otros asimilados hacia los frutos (Génard y Bruchou, 1993), así como la actividad enzimática (Marini et al., 1991). De esta manera, la temperatura del fruto está asociada comúnmente con una mayor concentración de sólidos solubles (CSS) (p. ej., Reynolds et al., 1986), sin embargo un excesivo aumento de la temperatura de la fruta tiene el potencial de reducir la CSS (Bonora et al., 2013) y antocianinas (Bergqvist et al., 2001) por retraso en la formación de estos compuestos, disminución de sus concentraciones y/o conducir a desequilibrios en las relaciones entre azúcar/ácidos y antocianinas/azúcar (Reynolds et al., 1986; Spayd et al., 2002, en uva). Además, excesiva temperatura o radiación se ha relacionado con un aumento de las quemaduras frutos de manzana y pera, reduciendo la calidad de los frutos (Khemira et al., 1993).

Basados en los patrones de radiación sobre la canopia de los setos (Figs. 1.1, 1.2 y 1.3) es esperable que las características de calidad de los frutos respondan a la orientación de las filas y al ancho de calle. Para abordar esta cuestión, hemos revisado la literatura en los cultivos frutales, donde datos de calidad estaban disponibles para frutos en las distintas caras de los setos (Tabla 1.2). Esta búsqueda revela características generalmente similares de calidad de los frutos en la concentración de sólidos solubles (CSS), acidez titulable (AT) y el color de la piel en ambas caras de setos orientados N-S, en correspondencia con los iguales patrones diarios de radiación (Fig. 1.2), aunque en algunos casos con el efecto adicional de la temperatura. Así, la temperatura diurna más alta experimentada por las caras O de setos N-S puede provocar ligeros aumentos en la CSS (# 4, # 5 y # 10), daño por insolación (# 9) y también una disminución del contenido de antocianinas (# 11) en comparación con los frutos sobre la cara E.

Por el contrario, la diferencia en las características de calidad de los frutos es más evidente entre las caras de setos orientados E-O donde los frutos sobre las caras iluminadas S o N (para los hemisferios N y S, respectivamente), experimentan mayor radiación y temperatura diurna que la cara opuesta (Fig. 1.2 y 1.3). La búsqueda bibliográfica revela que los frutos en las caras más iluminadas de setos E-O tienen mayor CSS, daños por quemadura y menor AT respecto a los frutos sobre las caras menos iluminadas. Adicionalmente, un perjudicial efecto de altas temperaturas sobre la síntesis de antocianinas y sobre el color de la piel de los frutos también se informó en vid (# 3) y manzano (# 2). La excepción a esta tendencia general es el trabajo de Khemira et al. (1993), quienes observaron similar CSS en frutos de ambas caras de setos E-O.

La orientación del seto también puede esperarse que modifique la composición del aceite de los frutos como consecuencia de diferencias en los patrones de temperatura y radiación. La composición de los ácidos grasos de los cultivos oleaginosos es principalmente controlado genéticamente pero también responde a la temperatura dentro de rangos específicos (Aguirrezábal et al., 2009; García-Inza et al., 2014). Es ampliamente reconocido que el aumento de la temperatura aumenta el contenido de ácido oleico en varios cultivos de semillas oleaginosas (Aguirrezábal et al., 2009). Observaciones de campo son limitadas en olivo y no

---

confirman esta relación positiva del contenido de ácido oleico con la temperatura. Rondanini et al. (2011) encontraron que el contenido de ácido oleico de muestras de aceite de la variedad 'Arbequina' del NO de Argentina disminuyó un 2% por cada grado centígrado de aumento en la temperatura ambiente, en el rango de 23-27 °C. Recientemente, García-Inza et al. (2014) confirmaron la relación lineal negativa entre la concentración de ácido oleico y la temperatura media (pendiente = 0,7%/°C), en experimentos donde olivos cv. Arauco fueron sometidos a regímenes manipulados de la temperatura.

Estudios sobre la relación radiación-calidad del aceite en olivo son aún más limitados que para la relación temperatura-calidad. Hernández et al. (2008) evaluaron los efectos de dos niveles de radiación sobre el metabolismo lipídico en callos de frutos de olivo. Los autores observaron una reducción en la desaturación de oleico a linoleico a bajos niveles de radiación, lo que sugiere un efecto directo sobre la actividad de las enzimas microsomal oleato-desaturasa, responsable de convertir el ácido oleico a linoleico. Gómez-del-Campo y García (2012) (Tabla 1.2), evaluaron los perfiles verticales de la composición del aceite en cada cara de setos orientados N-S y E-O en olivo cultivar 'Arbequina' en el sur y centro de España (latitudes 37,5-39,9° N). Los autores establecieron correlaciones significativas de la composición de aceite con la radiación, aunque puede en parte haber estado asociado a las diferencias en la temperatura de los frutos. Sus observaciones revelaron, (i) el aceite extraído de frutos expuestos sobre las caras E y N de setos orientados N-S y E-O, respectivamente, tuvieron significativamente mayor contenido de ácido oleico y palmítico, y menor contenido de ácido linoleico que los frutos de las caras opuestas, (ii) la concentración de ácido oleico fue mayor en la posición más baja de la canopia mientras que el contenido de ácido linoleico fue mayor en posición superiores de la canopia, y (iii) el contenido en fenoles del aceite de setos N-S fue significativamente mayor que en setos E-O. Estos resultados revelan efectos posiblemente separados de la temperatura y la radiación sobre la modulación de la composición de ácidos grasos entre las caras del seto N-S caracterizados por igual irradiancia diaria, pero diferentes regímenes de temperatura.

Otro, e importante, aspecto de la calidad del aceite en la que puede actuar la orientación de los setos es la sincronización de la madurez del fruto. En este sentido, algunos autores que compararon orientaciones de setos observaron que los frutos de setos N-S mostraron una mayor uniformidad entre caras en atributos como el color de los frutos, respecto a setos orientados E-O (Gómez-del-Campo et al., 2009; Khemira et al., 1993; Naylor et al., 2000). Específicamente en olivo, Gómez-de-Campo et al. (2009) encontraron más rápida coloración de frutos de 'Arbequina' en setos E-O que un seto próximo orientado N-S. Cuando los frutos del setos E-O tenían menos de la mitad de su superficie negra (índice de madurez = 2,2) los de N-S setos todavía eran de color amarillo (índice de madurez = 1,8). Así, la orientación de los setos parece ofrecer una manera aún inexplorada para controlar la maduración de los frutos de olivo que podría ser ventajoso para la calidad del aceite y la programación de la cosecha en grandes plantaciones.

**Tabla 1.2.** Descripción de artículos publicados que estudian el efecto de la orientación de las filas sobre la calidad del fruto en las caras opuestas de cultivos frutales en seto. Presentación ordenada por el incremento de latitud. CSS es la concentración de sólidos solubles y AT es acidez titulable.

Referencia	Localidad (latitud)	Cultivo	Principales tratamientos	Principales conclusiones
#1 Verreyne et al., 2004	Sud África (32 y 34°S)	Mandarina	Setos N-S y E-O. Parcelas en diferentes localidades.	En setos N-S, frutos de la cara O presentaron similar color, CSS y AT que frutos de la cara E. En seto E-O, frutos de la cara N (hemisferio S) presentaron color verde, CSS y menor AT que frutos en la cara S.
#2 Fouché et al., 2010	Sud África (34°S)	Manzano	Setos N-S y E-O. Parcelas en diferentes localidades.	Frutos en ambas caras de seto N-S presentaron similar asoleado y color de piel. En seto E-O, frutos del N (hemisferio S) presentaron mayor color y asoleado que frutos de la cara S.
#3 Bergqvist et al., 2001	California, USA (36,7°N)	Vid	Seto E-O.	Alta CSS y bajo contenido de antocianinas y polifenoles totales en frutos de la cara S que N.
#4 Dussi et al., 2005	Río Negro, Argentina (38 °S)	Manzano	Seto N-S.	Alta CSS en frutos de la cara O que E, con similar coloración de frutos a ambas caras.
# 5 Drogoudi y Pantelidis, 2011	Imathia, Macedonia (38.9°N)	Manzano	Seto N-S.	Mayor CSS en frutos de la cara E en posiciones media de la canopia, y mayor CSS in frutos de la cara O en posiciones bajas.
#6 Gómez-del-Campo y García, 2012	Toledo, España (39,9°N)	Olivo	Setos N-S y E-O.	Contenido de fenoles del aceite mayor en seto N-S que E-O. Aceite extraído de frutos cosechados de la cara E (N-S) y N (E-O) mostraron contenido de ácido oleico que las caras O y S.
#7 Naylor et al., 2000	Marlborough, New Zeland(41,5°S)	Vid	Setos N-S y E-O	En N-S, la composición del jugo fue similar entre caras. En E-O, jugo de la cara N (hemisferio S) presentó mayor CSS y menor AT que la cara S, pero similar pH.
#8 Lombard y Westwood, 1977	Medford, USA (42°N)	Peral	Setos N-S y E-O	La orientación no influyó marcadamente sobre la calidad de los frutos excepto que frutos de la cara S (E-O) mostraron más asoleado.
#9 Khemira et al., 1993	Medford, USA (42°N)	Peral	Continuación del experimento anterior. Setos N-S y E-O	En N-S, frutos de la cara O mostraron más asoleado que la cara E pero similar CSS. En E-O, frutos de la cara S mostraron mayor asoleado y similar CSS que la cara N.
#10 Reynolds et al., 1986	Geneva, USA (42,5°N)	Vid	Seto N-S	Mayor CSS en frutos de la cara O que E.
#11 Spayd et al., 2002	Washington, USA (46,3°N)	Vid	Seto N-S	Frutos de la cara O mostraron similar CSS pero menor color y AT que frutos de la cara E.

### **1.6.6. Radiación y características de hojas y tejidos del fruto**

En contraste con los árboles muy espaciados y distribuidos relativamente uniformemente en las plantaciones tradicionales, en el olivar en seto hay una marcada variabilidad espacial y temporal de la radiación disponible para el crecimiento vegetativo y reproductivo en función del diseño (principalmente orientación y ancho de calle) y manejo de la canopia (ancho, altura y pendiente del seto) (Connor et al., 2014). Por lo tanto, los frutos y las hojas de alrededor, que constituyen su principal fuente de suministro de asimilados (Proietti et al., 1999) están expuestos a muy diferentes microclimas de radiación dependiendo del diseño de la plantación y la posición de las hojas y frutos (altura y orientación) en el seto.

Diferentes ambientes lumínicos en la canopia asociados a la estructura del seto inducen a cambios morfológicos y fisiológicos de las hojas en un amplio rango de especies frutales (Gonçalves et al., 2008; Hampson et al., 2006; Lombardini et al., 2009). Específicamente en olivo, las hojas expuestas a largos periodos de sombreado incrementan su área foliar y disminuyen su grosor, esto último debido a la presencia de sólo 1 o 2 capas de células parenquimatosas en empalizada, comparado a 3 capas observadas en hojas totalmente expuestas a la radiación solar (Gregoriou et al., 2007; Larbi et al., 2014). El sombreado, por el contrario, disminuye la capacidad fotosintética de las hojas (Bongi et al., 1987; Larbi et al., 2014), la conductancia estomática, y densidad de estomas y tricomas (Gregoriou et al., 2007). Estos cambios pueden ser permanentes, particularmente en hojas que han emergido bajo condiciones de sombreado (Proietti et al., 1988), o presentar un leve incremento de la fotosíntesis cuando las hojas son transferidas a condiciones de iluminación (Gregoriou et al., 2007). Reducida fotosíntesis de hojas en posiciones poco iluminadas de la canopia, conduce a una menor acumulación de carbohidratos en esas hojas, afectando la iniciación de la yema axilar y el crecimiento de los frutos cercanos (Gregoriou et al., 2007).

Un enfoque a distintos niveles de organización (órgano, tejidos y células) puede proporcionar conocimientos esenciales para la comprensión de la influencia del diseño del seto sobre la variabilidad del tamaño y composición de los frutos dentro

---

de la canopia. En otros frutales como melocotonero (Lopresti et al., 2014), el tomate (Fanwoua et al., 2013; Liu et al., 2007), mango (Léchaudel et al., 2007) y vid (Dai et al., 2009; Prudent et al., 2014), un enfoque jerárquico ha sido útil en la comprensión y la modelización de los efectos de las condiciones genéticas, de manejo y ambientales sobre el tamaño y composición del fruto, incorporando su heterogeneidad dentro de la canopia, como consecuencia de arquitectura de las plantas. Las relaciones entre los niveles y procesos exploradas y modeladas por estos autores, sin embargo, se limitan a frutales, donde el tamaño del fruto y el almacenamiento de azúcar son los criterios dominantes en el desarrollo del fruto y en su comercialización (Génard et al., 2009), y pueden diferir en los cultivos oleaginosos como el olivo (Martre et al., 2011).

A nivel del tejido del fruto, el tamaño y composición final del fruto, es el resultado de las contribuciones combinadas del endocarpo (hueso) y mesocarpo (pulpa), que difieren en sus patrones morfogénéticos y el momento de desarrollo (Gucci et al., 2009). El tamaño del endocarpo aumenta rápidamente desde el cuajado hasta aproximadamente 2 meses después de la floración, luego el crecimiento continúa por acumulación de peso seco debido a la gran diferenciación de las células del endocarpo por esclerificación, proceso de gran demanda metabólica, deposición de lignina y sustancias relacionadas (Hammami et al., 2013; Rapoport et al., 2013). El crecimiento del mesocarpo también inicia en el cuajado, pero continúa mucho después que la expansión del endocarpo cesa y hasta poco antes de la maduración (Hammami et al., 2011). El mesocarpo está formado por células parenquimatosas en las que la biosíntesis y almacenamiento de aceite tiene lugar, proceso que también presenta una alta demanda metabólica (Connor y Fereres, 2005). Aunque la mayor parte de la acumulación de aceite en el mesocarpo ocurra tarde (Rondanini et al., 2014), inicialmente la biosíntesis es simultánea con la esclerificación del endocarpo, y así la competencia entre endocarpo y mesocarpo por asimilados ha sido sugerida (Matteucci et al., 2011; Rapoport et al., 2004). Como consecuencia, es probable que la variabilidad en los patrones temporales y espaciales de radiación influya sobre la contribución absoluta y relativa de mesocarpo y endocarpo al tamaño del fruto y en su composición.

El mesocarpo es el tejido de mayor tamaño del fruto y económicamente más importante para la productividad del olivar. El tamaño del mesocarpo es determinado por la división celular y la expansión celular. Ambos procesos se producen a lo largo de la expansión del fruto, pero difieren notablemente en el tiempo de su actividad. Para un amplio rango de variedades de olivo que diferían en tamaño del fruto, Hammami et al. (2011) encontraron que a las 8 semanas después de la floración se alcanzó el 65% del número final de células del mesocarpo y 25% del tamaño de final de las células, mientras que el otro aumento de 35% y 75% en número y tamaño de las células, respectivamente, se produjo durante el resto del desarrollo del fruto (8-32 semanas). Más allá del control genético en los procesos celulares, el número y tamaño de células del mesocarpo, también se ven afectados por el estado hídrico de las plantas (Gucci et al., 2009; Rapoport et al., 2004) y la disponibilidad de asimilados como consecuencia de las variaciones de carga de frutal (Fanwoua et al., 2012; Prudent et al., 2010) y la radiación solar interceptada por la canopia (Jackson y Coombe, 1966; Okello et al., 2014).

Además de la división celular y la expansión, una visión integrada del crecimiento de tejidos y frutos también debe incluir la diferenciación y el almacenamiento de metabolitos de las células (Sinnott, 1960). Sin embargo, existe poca información cuantitativa disponible sobre las relaciones entre el tamaño, número y composición de las células, aunque Conde et al. (2008) mostraron que el contenido de aceite de las células del mesocarpo determinado durante el desarrollo de los frutos está relacionado con el suministro de asimilados hacia el fruto, las transformaciones metabólicas y la dilución, debido a la expansión de células.

Por lo tanto, el microambiente que rodea a las hojas y frutos afecta sus características morfológicas, fisiológicas y composición. El microambiente puede ser manipulado a través del diseño del seto (orientación de fila y ancho de calle), pero para alcanzar un diseño adecuado, primero es necesario entender los efectos de la radiación en distintas posiciones del seto sobre el desarrollo de hojas y frutos y la composición elemental de los frutos.

## II. Objetivos y desarrollo de la tesis

### 2.1. Objetivos

Los objetivos principales de esta tesis fueron:

1. Evaluar el impacto de la orientación del seto sobre el estado hídrico del cultivo, producción y calidad del aceite, a través de mediciones de los procesos determinantes del potencial hídrico de tallo, crecimiento de brotes, componentes del rendimiento (número, tamaño y contenido de aceite), características del fruto (temperatura, contenido de agua y madurez), y perfil de ácidos grasos del aceite, en caras opuestas de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones de filas: N-S, NE-SO, NO-SE y E-O.
2. Evaluar el impacto de tres anchos de calle (5,0, 4,0 y 2,5 m) sobre la producción y calidad del aceite a través de mediciones de los componentes del rendimiento (número, tamaño y contenido de aceite), características del fruto (contenido de agua y madurez) y del aceite (ácidos grasos mayoritarios, polifenoles totales y estabilidad oxidativa) en distintas alturas y en ambas caras de olivares en seto orientados N-S y E-O.
3. Validar un modelo para estimar la irradiancia incidente en la canopia de olivares en seto, y analizar las relaciones entre irradiancia, componentes del rendimiento y de la calidad del aceite de olivares en seto diseñados con un amplio rango de estructuras (orientaciones de filas y anchos de calle).
4. Cuantificar la variabilidad en las características de las hojas (morfológicas y fisiológicas) y en los tejidos del fruto (tamaño y composición) en diferentes posiciones (caras y alturas) de la canopia de olivares en seto.

## 2.2. Desarrollo de la tesis y financiación

En Junio 2012, llegué desde Argentina para iniciar mi estancia de investigación en España financiada por el programa ERASMUS-Mundus; dicha estancia finalizará en Abril del 2015. Los trabajos en las parcelas experimentales de olivos en seto de cuatro años de edad, ubicados en la provincia de Toledo, fueron iniciados en Junio 2012 y se extendieron hasta Junio 2014. Durante ese tiempo estuve principalmente abocado al trabajo de campo, procesamiento de muestras en laboratorio y en la almazara experimental de la EUITA (UPM). Parte del trabajo de tesis fue también desarrollado en el laboratorio del Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba, perteneciente al CSIC, bajo la dirección de la Dr. Hava Rapoport, donde he realizado estancias por un periodo total de 4 meses. También he colaborado en la evaluación de un modelo matemático de radiación, desarrollado por el Dr. David J. Connor y que será presentado en esta tesis. La tesis estuvo inicialmente diseñada para poder finalizar mis estudios de doctorado en el periodo de estancia en España (Junio 2012-Abril 2015), aunque consciente que mi trabajo con la información obtenida en esta investigación, deberá continuar en el futuro con la publicación de los resultados obtenidos.

## 2.3. Publicaciones relacionadas con la Tesis

Parte de la información presentada en el Capítulo I fue publicada en:

Trentacoste, E.R., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., 2015. Row orientation: applications to productivity and design of hedgerows in horticultural and olive orchards. *Scientia Horticulturae*, *in press*.

Los artículos en los que se recoge la información de los Capítulos III y IV han sido enviados para su publicación en *Agriculture, Environment and Ecosystems*

Trentacoste, E.R., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M. Effect of olive hedgerow orientation on vegetative growth, fruit characteristics and productivity.

Trentacoste, E.R., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M. Effect of olive row spacing on vegetative structure, fruit characteristics and productivity of N-S and E-W oriented hedgerows.

---

Un artículo en el que se recoge la información del Capítulo V se encuentra en su fase final de redacción.

Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Trentacoste, E.R. Modeling solar irradiance within olive hedgerows and its relation to oil yield and oil quality in response to row orientation and spacing.

Un artículo en el que se recoge la información del Capítulo VI fue enviado a Journal of Experimental Botany.

Trentacoste, E.R., Gómez-del-Campo, M., Rapoport, H.F., 2014. Olive fruit growth, tissue development and composition as affected by irradiance received in different hedgerow positions and orientations.

### **Otras publicaciones y participación en congresos**

Gómez-del-Campo, M., Trentacoste, E.R., Connor, D.J., 2012. Design and management of olive hedgerow orchards: effect on oil productivity and quality. *Olea* 118, 22–31.

Gómez-del-Campo, M., Trentacoste, E.R., Connor, D.J., 2012. Diseño y manejo del olivar en seto: efecto en la producción y calidad de aceite. *Fruticultura Profesional* 24, 4–12.

Trentacoste, E.R., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., 2013. Preliminary study of influence of olive hedgerow orientation on fruit yield. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. España.

Trentacoste, E.R., Connor, D., Gómez-del-Campo, M., Moreno-Alías, I., Rapoport, H.F., 2014. Efecto de la radiación sobre el desarrollo de flores e inflorescencias en diferentes posiciones de la copa en setos de olivo. IV Jornadas Nacionales del grupo de olivicultura de la SECH. España

Trentacoste, E.R., Gómez-del-Campo, M., Moreno-Alías, I., Rapoport, H.F., 2014. Relationships of irradiance to inflorescence and flower development in different olive hedgerow canopy positions (cv. Arbequina). International Conference for Olive Tree and Olive Products. Jordania.

---

### **III. Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto a la orientación de filas**

#### **3.1. Introducción**

La orientación de los setos es uno de los aspectos más importantes en el diseño de estas plantaciones y sin embargo, su influencia en la producción y calidad no ha sido estudiada adecuadamente. En la práctica, los setos N-S dominan en gran medida en las plantaciones del olivar, lo cual puede ser explicado porque ambas caras de dichos setos reciben igual radiación solar directa diaria. Setos con otras orientaciones distintas a N-S son en su mayoría adaptaciones de la forma o tamaño del terreno, donde otra orientación permite un uso más eficiente del terreno o de la maquinaria, o donde la erosión del suelo o el peligro de heladas son críticos. Pero en ausencia de estas limitaciones ambientales y del terreno, la pregunta sigue siendo si la orientación del seto podría ser una estrategia para manejar la producción y la calidad del aceite de oliva.

El objetivo de este capítulo es evaluar el impacto de la orientación del seto sobre la productividad, calidad del aceite y estado hídrico del cultivo a través de mediciones de los procesos determinantes del potencial hídrico de tallo, crecimiento de brotes, componentes del rendimiento (número, tamaño y contenido de aceite), características del fruto (temperatura, contenido de agua y madurez), y perfil de ácidos grasos del aceite, en caras opuestas de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones de filas: N-S, NE-SO, NO-SE y E-O.

#### **3.2. Materiales y métodos**

##### **3.2.1. Características del ensayo**

El ensayo se realizó en una parcela experimental de olivares en seto (cv. Arbequina) establecida en la primavera de 2008, dentro de una finca comercial en el municipio de La

---

Puebla de Montalbán (39° 53' N, 4° 27' O, 479 msnm), Toledo. Cuatro orientaciones de setos, N-S, NE-SO, NO-SE y E-O se establecieron en cuatro bloques por orientación, cada uno con 4 filas de 11 árboles espaciados 4,0 x 1,3 m (1923 árboles/ha), en los que las dos filas centrales fueron utilizadas para este estudio. En esta tesis nos referiremos a esta parcela como "Ensayo 1".

El ensayo fue manejado siguiendo las prácticas de cultivo estándares para este tipo de plantaciones. Los setos se regaron siguiendo la programación utilizada en el resto de la finca desde Marzo hasta mediados de Octubre usando una línea de goteo por fila con emisores separados a 0,5 m y caudal de 3,0 L/h. La fertirrigación fue utilizada aplicando la cantidad de nutrientes necesarios determinados previamente por análisis foliar. La poda consistió en la eliminación de las ramas que se extendían hacia la calle y un "topping" mecánico a una altura de 2,5 m en el invierno de 2013.

#### **3.2.2. Clima y suelo**

El clima de la región es semiárido caracterizado por una precipitación anual de 359 mm, concentrada durante la estación otoño-primavera, y temperatura media anual de 16,0 °C. Datos meteorológicos diarios, fueron registrados en una estación meteorológica automática situada cerca del sitio experimental, incluyendo mediciones de temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, precipitación, radiación solar, déficit de presión de vapor y velocidad del viento.

El suelo es franco-arcilloso con dos horizontes superficiales (Ap y Bt), cada uno aproximadamente de 0,30 m de profundidad, con contenido de grava y materia orgánica de 10% y 1,35%, respectivamente, en el horizonte superior. Un horizonte C, también de textura franco-arcillosa y muy alto contenido de carbonatos (81%), se observó entre 0,5 y 0,6 m de profundidad donde el crecimiento y penetración de raíces era limitado.

El desarrollo fenológico fue estudiado durante los años 2012 y 2013, registrando las etapas de brotación, floración, fin de la caída de frutos y endurecimiento del hueso.

### **3.2.3. Parámetros evaluados**

#### **3.2.3.1. Estructura vegetativa del seto**

La altura de los árboles se midió anualmente durante los años 2008-2011 en 3 árboles por bloque, con el fin de determinar cuándo los árboles alcanzaban la altura final predeterminada para el buen funcionamiento de la máquina recolectora (es decir, 2,5 m). La estructura de los setos se describió detalladamente en 2 árboles por bloque inmediatamente después de la cosecha 2012 y 2013. Para ello, se midió la altura superior e inferior de la canopia en 3 posiciones por árbol, cerca del tronco y a 0,5 m a cada lado. El ancho del seto se midió a 0,5, 1,0 y 1,5 m de altura y en 3 posiciones de los mismos árboles. Se calculó el área de superficie externa y volumen de canopia considerando una forma rectangular del seto. La porosidad horizontal se estimó por el paso del haz de luz de un puntero láser (potencia máxima <300 mW; longitud de onda de 532 nm  $\pm$ 10) posicionado horizontal a la canopia y sobre un panel blanco ubicado en la cara opuesta y normal al seto. En cada orientación de seto, 150 repeticiones se tomaron al azar en la mitad de la canopia (1,0 - 1,7 m de altura). La porosidad horizontal (%) se calculó como la proporción de haces de luz que atravesaron el seto.

#### **3.2.3.2. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento**

El crecimiento de brotes y los componentes del rendimiento se registraron durante los años 2013 y 2014 en dos árboles por bloque (en los árboles que la estructura de la canopia y la cosecha fueron controlados en 2012 y 2013). Tres brotes fueron seleccionados aleatoriamente y etiquetados para la medición de la longitud del tallo y número de yemas. Los brotes fueron seleccionados del estrato medio del seto (0,8 a 1,2 m sobre el suelo) y en cada cara de los árboles seleccionados. El número de inflorescencias por brote fue cuantificado en Mayo, el número de frutos por brote y las inflorescencias que presentaba al menos un fruto se determinaron en Junio, y, finalmente, se midieron las longitudes totales de nuevos brotes en Octubre. Estas observaciones se utilizaron para calcular el crecimiento anual de brotes, el total de yemas desarrolladas en brotes de 1 año de edad, el porcentaje de yemas que se desarrolló en inflorescencia (yemas iniciadas), el porcentaje de inflorescencia con al

menos un fruto (porcentaje de inflorescencia fértiles), el número de frutos por inflorescencia fértil y el número medio de frutos por yema desarrollada.

### 3.2.3.3. Relaciones hídricas

El **contenido de agua del suelo** ( $\theta$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) fue medido cada hora desde Septiembre a cosecha en el año 2012 y desde Junio a cosecha en el año 2013, en cada orientación y a cuatro profundidades del suelo 0,10; 0,20; 0,40 y 0,70 m usando sondas de capacitancia (Enviroscan, Sentek PTY LTA, Australia). Dos tubos de 1,0 m de largo fueron instalados en cada orientación a 0,3m de distancia de un gotero y del tronco de un árbol. En cada medición, el contenido de agua del suelo a 0,8 m de profundidad fue calculado considerando la altura de cada sensor. El contenido relativo de agua (CRA) del suelo fue estimado como  $(\theta - \theta_{\min})/(\theta_{\max} - \theta)$ , donde  $\theta_{\min}$  y  $\theta_{\max}$  son los contenido de agua mínimo y máximo, respectivamente, medidos durante todo el experimento en cada una de los tubos.

El **potencial hídrico de tallo** (PHT) al mediodía se midió a intervalos de 7-20 días desde Junio a cosecha en los años 2012 y 2013. Las mediciones se realizaron entre las 13:30 y 14:30 h en el día previo a la aplicación de un riego y en condiciones de cielo despejado. Adicionalmente, la evolución diaria del potencial hídrico de tallo fue también medida en días despejados durante el periodo de acumulación de aceite en los frutos en los años 2012 y 2013. En este caso, el PHT se midió cada dos horas desde la mañana temprano hasta el atardecer: 8:00–10:00 h, 11:00–12:00 h, 14:00–15:00 h, 15:00–16:00 h y 17:00–18:30 h. Las mediciones se realizaron, el 8 de Agosto, 13 de Septiembre y 3 de Octubre del año 2012, y 17 de Julio, 11 de Septiembre y 10 de Octubre del año 2013.

El potencial hídrico de tallo se midió con cámara de presión tipo Scholander (Santa Bárbara, CA, EE.UU) en cuatro árboles (uno por bloque) por orientación. En cada árbol se seleccionaron brotes en la cara sombreada del seto y cerca del tronco. Los brotes fueron cubiertos con papel aluminio durante 1 h previo a la medición, para permitir que el potencial hídrico de las hojas se equilibrara con el potencial hídrico de tallo (McCutchan y Shackel, 1992). Los brotes con al menos dos pares de hojas se cortaron y

se colocaron inmediatamente con el envoltorio de papel aluminio en el interior de la cámara para su medición.

### 3.2.3.4. Fotosíntesis

El efecto de la orientación del seto sobre la evolución diaria de la tasa de fotosíntesis neta (Pn) en hojas expuestas fue medida en los mismos días y horas, que la evolución diaria del potencial hídrico de tallo. La Pn se midió con un sistema portátil de análisis de gases infrarrojo (CIRAS 2, PPSystems, Hitchin, Reino Unido). Las mediciones se realizaron en cinco hojas totalmente expandidas de la parte media de brotes del año, ubicadas en la cara del seto expuesta al sol y a una altura aproximada de 1,2 m desde el suelo. Las principales condiciones meteorológicas durante los días de medición de la evolución diaria de la fotosíntesis y también del PHT se resumen en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.1.** Temperatura, radiación y déficit de presión de vapor medio (DPV) para los días de medición de la evolución diaria de la fotosíntesis y del potencial hídrico de tallo en los años 2012 y 2013.

Fecha	Temperatura (°C)			Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )	DPV (KPa)
	Mínima	Media	Máxima		
8-Ago-2012	19,0	27,8	37,1	27,0	2,69
13-Sep-2012	14,8	21,3	28,3	19,9	1,71
3-Oct-2012	9,6	17,5	25,2	19,7	0,90
17-Jul-2013	18,3	27,0	35,1	27,5	2,64
11-Sep-2013	15,7	20,6	27,0	21,9	1,50
10-Oct-2013	8,0	16,9	26,4	17,3	1,26

### 3.2.3.5. Temperatura del fruto

La temperatura interna de frutos ubicados en ambas caras del seto, fue medida en las cuatro orientaciones en los años 2012 y 2013. Seis frutos ubicados en la parte externa del seto fueron seleccionados a 1,2 m de altura desde el suelo. La temperatura de los frutos fue medida insertando en la pulpa el filamento de un termistor (6 mm de largo x 1 mm diámetro) conectado a un datalogger (Phywe, Alemania). La temperatura del aire alrededor de los frutos fue registrada inmediatamente antes de insertar el filamento en la pulpa, evitando que el sensor quede expuesto a la radiación directa. La medición de la temperatura de frutos, fue realizada en tres momentos del día: 10:00, 14:00 y 17:00 h. y

en tres días despejados del año 2012 (13 y 20 de Septiembre, y 2 Octubre) y 2013 (16 Julio, 11 Septiembre, y 16 Octubre). Las principales condiciones meteorológicas durante los días de medición se resumen en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.2.** Temperatura del aire en los días y horas de medición de la temperatura del fruto en los años 2012 y 2013. La radiación diaria también es incluida.

Fecha	Temperatura (°C)			Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )
	10:00	14:00	17:00	
13-Sep-2012	21,3	--	27,5	19,9
20-Sep-2012	21,4	28,7	28,2	17,5
2-Oct-2012	12,5	24,1	23,8	18,3
16-Jul-2013	28,8	--	34,0	27,9
11-Sep-2013	21,4	28,7	27,3	21,9
16-Oct-2013	16,2	20,0	23,1	17,3

### 3.2.3.6. Seguimiento de maduración

Las dinámicas de peso seco, aceite y agua en los frutos fueron estudiadas en muestras extraídas a intervalos regulares desde 21 Agosto hasta 29 Octubre en el año 2012 y desde 7 Agosto hasta 22 Octubre en el 2013. Cuatro muestras de frutos (25 g), una por bloque, fueron recolectadas de cada cara de los setos y en las cuatro orientaciones evaluadas. Los frutos fueron extraídos a 1,2 m de altura, evitando los árboles previamente seleccionados para la cosecha. Los frutos fueron embolsados y colocados en una nevera portátil hasta su procesamiento. En cada muestra se contó el número de frutos, se pesó en fresco, y luego el índice de madurez (IM) fue determinado basado en color de la piel y la pulpa (Uceda y Frías, 1975). Los frutos se secaron en una estufa con aire forzado a 105 °C durante 42 h con el fin de determinar el peso seco del fruto y el contenido de agua. El contenido de aceite de los frutos se midió en las muestras secas por resonancia magnética nuclear (Minispec MQ-10; Bruker, Madison, WI, EE.UU.) utilizando el método descrito por del Río y Romero (1999).

### 3.2.3.7. Producción, número de frutos y característica de los frutos

Los frutos se cosecharon individualmente de 12 árboles (3 por bloque) en las cuatro orientaciones estudiadas, el 19 y 28 de Octubre de 2010 y 2011, respectivamente. Cuatro muestras de 25 g de cada árbol se pesaron en fresco y el IM, peso seco, contenido de

aceite y contenido de agua fueron determinados siguiendo el protocolo explicado anteriormente. El número de frutos por metro lineal de seto se estimó como el cociente del peso total de la cosecha y el peso medio fresco del fruto. La producción de aceite se estimó como el producto del número de frutos y el contenido de aceite de los frutos.

El 29 y 22 de Octubre del 2012 y 2013, respectivamente, los frutos de un árbol por bloque y en las 4 orientaciones de seto, se cosecharon por separado de cada cara de los setos y en 5 estratos: 0-0,4, 0,4-0,8, 0,8-1,2, 1,2-1,6 y 1,6-2,0 m altura sobre el suelo. Por encima de 2,0 m, donde el seto era discontinuo, los frutos fueron cosechados de ambas caras y agrupados en una misma muestra. La producción total de los frutos cosechados en cada estrato se pesó inmediatamente. El peso seco de los frutos, el contenido de aceite, contenido de agua, IM y el número de frutos se determinó a partir de 3 muestras de 25 g de cada estrato, siguiendo los procedimientos descritos anteriormente. En el estrato más alto del seto (> 2,0 m), la producción de aceite y el número de frutos en cada cara, se obtuvo dividiendo en partes iguales el valor obtenido de estos parámetros para todo el estrato. Para obtener para cada cara u orientación, el valor promedio del peso seco del fruto, contenido de aceite, contenido de agua e IM, los valores determinados en cada estrato fueron ponderados por el número de frutos de ese mismo estrato y luego se obtuvo la suma de los estratos por cara u orientación.

#### **3.2.3.8. Calidad del aceite**

En la cosecha 2012, los frutos de dos árboles contiguos de cada orientación y en los cuatro bloques, fueron cosechados separadamente de cada cara del seto. Una muestra de 2 kg fue extraída luego de homogenizar adecuadamente todos los frutos recolectados. El aceite se extrajo y analizó proporcionando 4 mediciones por cara para las cuatro orientaciones de setos estudiadas.

El aceite de cada muestra se extrajo utilizando el sistema Abencor (Comercial Abengoa SA, Sevilla, España). El sistema de extracción simula el proceso industrial de producción de aceite de oliva virgen en una escala de laboratorio (Martínez et al., 1975) y consta de tres elementos básicos, un molino de martillo, una termobatidora, y una centrífuga. Las muestras se trituraron con el molino de martillos (radio de 47,5 mm y criba de 5,0 mm

diámetro) a 3000 rpm. La pasta de aceitunas resultante se colocó en recipientes de 1 L de acero inoxidable y luego batidas durante 60 min en la termobatidora a 28° C, usando dos recipientes por muestra. Posteriormente, la pasta de los dos recipientes fue centrifugada durante 1 min a 3500 rpm para separar la fase líquida (aceite y agua vegetal) de los residuos sólidos. A continuación, la fase líquida se decantó en probetas de 1 L. El aceite fue extraído con la ayuda de una venencia y trasvasado previo filtrado a pequeños recipientes de vidrio, mantenidos en frío hasta el análisis de los aceites.

Los aceites fueron enviados a un laboratorio para la determinación el contenido de ácidos grasos, siguiendo los protocolos incluidos en la normativa de la Unión Europea. Los datos presentados aquí son para los ácidos grasos mayoritarios (número de carbonos : insaturaciones) palmítico (16:0), palmitoleico (16:1), esteárico (18:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2).

#### **3.2.4. Análisis estadístico**

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza usando el software Infostat versión 1.5. El efecto de las orientaciones sobre los parámetros medidos se evaluó utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizados, mientras que el efecto de las caras del seto se analizó mediante un diseño de parcelas divididas. La comparación de medias fue realizada a través del test de mínima diferencia significativa (MDS) para un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ . La asociación entre la altura media de cada estrato y los parámetros cuantificados fueron analizadas por regresión lineal o lineal-plateau (software TableCurve 2D versión 5.01.02). El mejor ajuste y la igualdad entre los conjuntos de coeficientes de las regresiones para cada cara de los setos se probaron utilizando el software GraphPad Prism versión 5.01. Cuando las regresiones para las caras opuestas de cada orientación no fueron significativamente diferentes a  $p < 0,05$ , se combinaron en un sólo ajuste.

### **3.3. Resultados**

#### **3.3.1. Desarrollo fenológico y condiciones meteorológicas**

La brotación ocurrió el 19 y 28 de Marzo, plena floración el 26 de Mayo y 4 de Junio, caída natural de los frutos finalizó el 23 y 29 de Junio y el endurecimiento del hueso, el 10 y 20 de Julio en los años 2012 y 2013, respectivamente.

Las condiciones meteorológicas durante las estaciones 2012 y 2013 se muestran en las Tablas 3.1 y 3.2, respectivamente. La temperatura media diaria y la radiación total media diaria desde brotación a cosecha fueron ligeramente mayor en el año 2012 (21,0 °C y 23,4 MJ/m<sup>2</sup>) que en 2013 (20,3 °C y 22,9 MJ/m<sup>2</sup>). Las diferencias entre los años incrementaron desde brotación a plena floración cuando los registros meteorológicos revelaron temperatura media diaria y radiación total media de 15,4 °C y 20,9 MJ/m<sup>2</sup> en 2012 y 13,9 °C y 22,8 MJ/m<sup>2</sup> en el 2013. Durante el periodo de síntesis de aceite de los frutos (desde el endurecimiento de hueso a cosecha), la temperatura media diaria fue similar en ambos años, pero la radiación media diaria registrada fue mayor en el 2012 (22,6 °C y 21,8 MJ/m<sup>2</sup>) que en 2013 (22,6 °C y 20,7 MJ/m<sup>2</sup>). Febrero fue el mes más frío con una temperatura media de 5,1 °C y 6,7 °C en 2012 y 2013, respectivamente. Las temperaturas mínimas absolutas se registraron el 12 de Febrero de 2012 (-8,5 °C) y 29 de Noviembre 2013 (-5,6 °C). La precipitaciones previas a la brotación en 2012 (131 mm) fueron menores que en 2013 (284 mm), mientras que durante el período de síntesis y acumulación de aceite en los frutos, la precipitación fue levemente mayor en el 2012 (96 mm) que 2013 (83 mm).

**Tabla 3.3.** Medias mensuales de variables meteorológicas registradas durante el año 2012 por una estación automática ubicada cerca de la parcela experimental.

Año 2012	Temperatura (°C)					Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)		Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )	Precipitación (mm)	ETo (mm)
	Media	Mínima media	Mínima absoluta	Máxima media	Mínima absoluta		Media	Máxima			
Mes											
Enero	5,5	-0,7	-4,2	13,1	18,7	82,6	1,5	4,6	302,0	3,0	24,0
Febrero	5,1	-2,7	-8,5	13,2	21,3	56,9	2,3	5,9	420,0	3,0	48,7
Marzo	10,8	3,1	-1,5	18,8	26,3	59,0	1,5	3,8	559,8	26,0	83,4
Abril	11,4	6,4	1,8	17,3	24,5	71,9	3,6	7,2	558,0	65,0	93,9
Mayo	19,3	11,5	4,8	26,5	36,3	54,9	2,7	5,0	787,7	29,0	150,4
Junio	24,3	16,2	10,0	31,2	41,0	39,7	3,2	6,3	852,5	0,0	193,1
Julio	26,3	17,5	11,6	33,9	38,9	34,4	2,7	5,3	917,3	3,0	204,8
Agosto	27,1	18,2	13,2	34,9	43,0	34,0	2,8	4,4	801,9	0,0	179,9
Septiembre	21,2	14,0	9,2	28,5	34,3	50,8	2,0	4,6	561,5	95,0	106,6
Octubre	15,1	9,2	-0,8	21,7	29,6	75,0	2,2	5,2	449,7	38,0	67,4
Noviembre	9,9	5,4	-1,2	14,7	19,3	85,8	2,1	5,5	244,8	82,0	29,7
Diciembre	6,6	2,3	-3,5	11,7	15,3	87,4	1,9	5,2	198,4	20,0	19,0
Total										364	1201

**Tabla 3.4.** Medias mensuales de variables meteorológicas registradas durante el año 2013 por una estación automática ubicada cerca de la parcela experimental.

Año 2013	Temperatura (°C)					Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)		Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )	Precipitación (mm)	ETo (mm)
	Media	Mínima media	Mínima absoluta	Máxima media	Mínima absoluta		Media	Máxima			
Mes											
Enero	6,5	2,0	-3,9	11,5	17,7	85,8	3,1	6,6	251,5	47,0	29,1
Febrero	6,7	1,5	-3,0	12,3	16,9	76,5	3,4	6,9	322,3	44,0	39,5
Marzo	9,5	5,4	-3,1	14,4	19,3	83,1	3,7	6,4	416,7	134,0	61,7
Abril	12,4	6,2	-0,5	18,8	28,9	72,9	2,9	5,7	622,4	66,0	92,9
Mayo	14,9	7,8	3,0	21,9	28,3	65,4	1,1	4,4	771,0	33,0	128,8
Junio	21,2	12,8	7,7	29,3	35,3	51,3	1,5	4,0	828,8	5,0	164,7
Julio	26,9	17,8	12,6	35,1	38,7	39,3	1,7	4,2	850,8	2,0	182,6
Agosto	26,2	17,2	13,3	34,7	40,2	38,9	1,1	3,4	773,6	0,0	162,0
Septiembre	22,1	13,9	9,7	30,4	34,7	47,1	1,2	3,3	584,1	19,4	106,4
Octubre	15,8	10,1	0,8	22,6	27,0	77,7	1,2	3,2	395,1	64,0	61,0
Noviembre	8,4	2,4	-5,6	15,0	22,9	72,4	1,5	5,4	290,2	3,1	36,5
Diciembre	6,5	2,4	-3,9	11,5	15,3	87,9	2,2	6,6	201,1	15,0	21,2
Total										432	1086

### 3.3.2. Estructura vegetativa del seto

La altura de los árboles aumentó notablemente desde la plantación en 2008 (valor medio  $\pm$  error estándar) desde  $0,71 \pm 0,13$  m, a  $1,72 \pm 0,29$  m en 2009,  $2,12 \pm 0,32$  m en 2010 y  $2,43 \pm 0,12$  m en 2011 cuando los árboles alcanzaron la altura prevista (i.e.  $\sim 2,5$  m) compatible con las cosechadoras vendimiadoras. Es importante destacar que la canopia de los árboles formaron un seto continuo a partir de la primavera de 2012 (4 años después de la plantación).

En 2012 y 2013, las dimensiones de los setos: altura, ancho, y porosidad horizontal no se vieron significativamente afectados por la orientación de filas o el año (Tabla 3. 5). El ancho, altura y la porosidad media ( $\pm$ e.e.) fueron  $1,25 \pm 0,01$  m,  $2,36 \pm 0,03$  m y  $20,1 \pm 1,2\%$ , respectivamente. La relación altura del seto /ancho de calle libre tampoco fue significativamente diferente entre orientaciones o años, con un valor medio para todas las orientaciones de  $0,72 \pm 0,01$ . Además, el valor medio de la superficie externa de seto y de volumen de canopia para todas las orientaciones fueron  $13015 \pm 92,7$  m<sup>2</sup>/ha y  $6194 \pm 67,1$  m<sup>3</sup>/ha, respectivamente.

**Tabla 3.5.** Estructura del seto de olivares plantados en cuatro orientaciones durante los años 2012 y 2013.

Orientación del seto Año	N-S		NE-SO		NO-SE		E-O	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Altura del seto (m)	2,34±0,09	2,37±0,22	2,25±0,16	2,30±0,23	2,38±0,16	2,39±0,18	2,49±0,19	2,39±0,25
Base del seto (m)	0,37±0,09	0,39±0,19	0,35±0,08	0,39±0,18	0,41±0,13	0,39±0,15	0,42±0,12	0,37±0,11
Ancho del seto (m)	1,21±0,09	1,25±0,14	1,24±0,20	1,32±0,17	1,25±0,19	1,28±0,20	1,21±0,11	1,27±0,14
Altura seto/ancho calle libre	0,71±0,06	0,72±0,04	0,69±0,08	0,71±0,03	0,72±0,05	0,73±0,04	0,74±0,03	0,74±0,09
Superficie externa (m <sup>2</sup> /m pared)	5,16±0,29	5,21±0,20	5,02±0,38	5,14±0,12	5,19±0,26	5,27±0,21	5,35±0,17	5,31±0,50
Volumen canopia (m <sup>3</sup> /m pared)	2,39±0,37	2,48±0,26	2,35±0,46	2,52±0,24	2,46±0,24	2,55±0,24	2,50±0,17	2,57±0,37
Porosidad horizontal (%)	23±5,12	18±3,12	22±4,15	16±2,03	22±4,25	17±2,30	25±5,00	18±2,45

Cada punto es la media de 8 repeticiones ± error estándar. El análisis estadístico para comparar orientaciones de seto en cada uno de los años fue no significativo para todos los parámetros medidos, basado en el test MDS a un  $p \leq 0,05$ .

### 3.3.3. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento

Las observaciones de crecimiento y desarrollo de los brotes de 1 año medidos en el estrato de 0,8-1,2 m de altura en cada cara de los setos se presentan en la Tabla 3.6. En el promedio de los dos años, los brotes sobre las caras S y SE (media 8,9 cm) crecieron significativamente más que los brotes en las caras O y N (media 4,4 cm), en consecuencia, más yemas se desarrollaron sobre las caras S y SE. El porcentaje de yemas invernales que desarrollaron inflorescencias fue similar entre todas las caras, pero el porcentaje de inflorescencias que cuajó y desarrolló al menos un fruto se vio afectado significativamente por la orientación de la cara del seto, con mayor porcentaje en la cara S (55%) que en las caras NO, E y O (media 37%). El número de frutos por inflorescencia fértil no varió significativamente entre las caras. Como resultado final, promedio de los 2 años, el número de frutos por yema fue significativamente mayor en las caras SE y SO (media 0,47) en comparación a las caras E y NE (media 0,33).

**Tabla 3.6.** Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento en las caras de setos de olivares plantados con cuatro orientaciones, durante los años 2013 y 2014.

Fuente de variación		Longitud	Yemas	Yemas	Inf. <sup>a</sup>	Frutos/	Fruto/yema	
Año	Orientación	Caras	brote	desarrollada/ brote	iniciada	inf.	desarrollada	
			(cm)		(%)	(%)	fértiles	
2013	N-S	E	3,8bc	14,7	83,5	50,6cd	1,4	0,56bc
		O	3,2c	14,3	86,7	45,8d	1,3	0,55bc
	NE-SO	SE	5,7ab	15,9	84,1	67,4a	1,5	0,82a
		NO	3,1c	16,1	82,1	50,9bcd	1,4	0,57b
	NO-SE	SO	3,5bc	14,2	92,4	61,0ab	1,3	0,73a
		NE	4,6abc	14,7	82,0	53,8bcd	1,3	0,56bc
	E-O	S	6,8a	15,6	85,5	60,0abc	1,4	0,72a
		N	2,7c	15,0	81,0	45,0d	1,3	0,42c
2014	N-S	E	9,0ab	15,2a	28,0bcd	26,9c	1,0	0,13
		O	7,9ab	12,2b	27,7cd	18,4c	1,3	0,11
	NE-SO	SE	11,6a	15,7a	19,7d	32,0abc	1,3	0,13
		NO	9,1ab	12,0b	31,0abc	28,3bc	1,3	0,15
	NO-SE	SO	8,4ab	12,4b	45,4a	32,2abc	1,2	0,20
		NE	6,8ab	12,5b	29,2bcd	33,0bc	1,0	0,10
	E-O	S	11,6a	14,8a	26,8bcd	49,6a	1,0	0,19
		N	4,1b	11,5b	41,4ab	45,2ab	1,1	0,25
Media	N-S	E	6,4abc	15,0abc	55,8	38,8bc	1,2	0,35ab
		O	5,5cd	13,3d	57,2	32,1c	1,3	0,33b
	NE-SO	SE	8,6ab	15,8a	51,9	49,7ab	1,4	0,48a
		NO	6,1bcd	14,1bcd	56,6	39,6bc	1,4	0,36ab
	NO-SE	SO	5,9bcd	13,3d	68,9	46,6ab	1,3	0,47a
		NE	5,7bcd	13,6cd	55,6	43,4abc	1,2	0,33b
	E-O	S	9,2a	15,2ab	56,2	54,8a	1,2	0,46ab
		N	3,4d	13,3d	61,2	45,1ab	1,2	0,34ab

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras en un mismo año por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ . ns: no significativo. <sup>a</sup>Inflorescencia.

#### 3.3.4. Relaciones hídricas

Aunque en todos los setos se aplicó, a través del riego, igual cantidad de agua, el contenido relativo de agua del suelo (CRA) fue diferente entre orientaciones (Tabla 3.7). En otoño 2012 y 2013 los setos orientados E-O presentaron CRA significativamente mayor, en el orden del 11%, que los setos orientados N-S y NE-SO, y significativamente superior que los setos NO-SE, sólo en otoño 2013. En verano 2013, los setos orientados NO-SE y E-O presentaron CRA significativamente mayor (12%) que los setos orientados N-S. A su vez, los setos NO-SE presentaron mayor CRA que los setos NE-SO. Estacionalmente el CRA se mantuvo en valores cercanos a 0,45, disminuyendo al progresar el verano y aumentando nuevamente al inicio del otoño (Fig. 3.1), en correspondencia con la ocurrencia de precipitaciones durante los meses de Septiembre-Octubre (Tablas 3.1 y 3.2).

La evolución del potencial hídrico de tallo (PHT) a mediodía, en el día antes del riego, durante el periodo verano-otoño 2012 y 2013 se presenta en las Figs. 3.2A y B, respectivamente. En ambos años, el PHT a mediodía fue solamente afectado por la orientación del seto en dos días de medición. En 2012, la evolución estacional del PHT a mediodía, reveló valores inferiores a -2,0 MPa desde Julio a fines de Septiembre y valores de -1,0 MPa, próximos a la cosecha de los frutos a finales de Octubre (Fig. 3.2A). En 2013, el PHT mediodía se mantuvo con valores cercanos a -1,5 MPa desde Julio a cosecha (Fig. 3.2B). Los cambios estacionales en el PHT a mediodía estuvieron negativamente correlacionado con la variación del DPV, siendo más estrecha la asociación en el año 2012 ( $r = -0,88$ ,  $p < 0,001$ ) que en el 2013 ( $r = -0,67$ ,  $p = 0,032$ ).

En la Fig. 3.3 se presenta la evolución diurna del potencial hídrico de tallo en tres días despejados de los años 2012 y 2013. La evolución diurna del PHT tampoco presentó diferencias evidentes entre orientaciones de los setos. En el **año 2012** las únicas diferencias significativas entre orientaciones ocurrieron a las 17:00 h en la medición de Septiembre, indicando menor PHT en setos orientados N-S y NO-SE respecto a E-O y NE-SO. En el **año 2013**, el PHT mostró algunas diferencias entre orientaciones en la medición de Septiembre y Octubre, pero sin un patrón claro. En

---

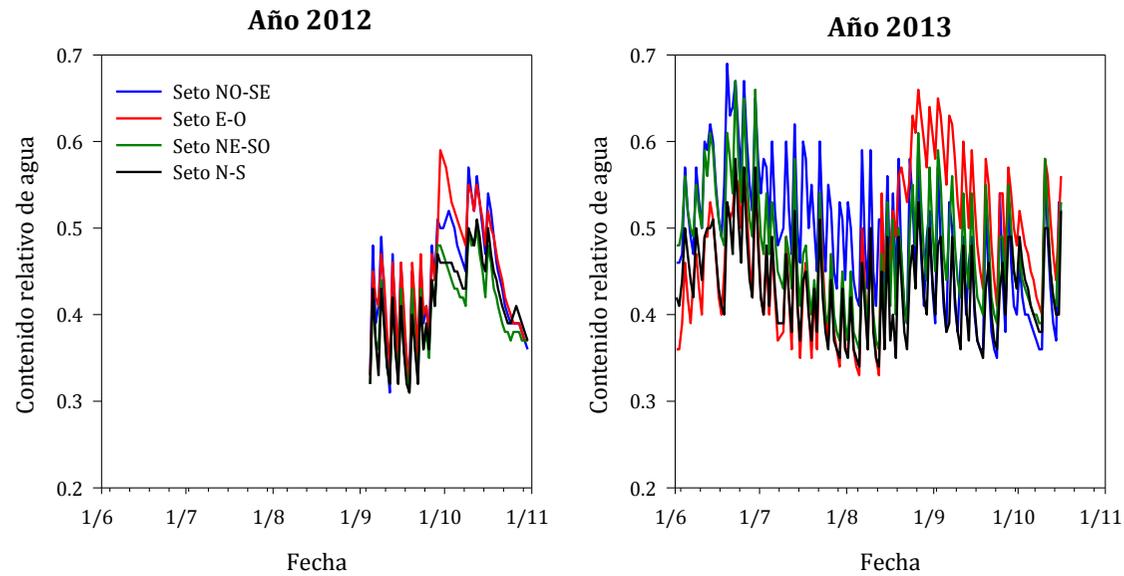
Septiembre los setos orientados NE-SO y E-O presentaron mayor (menos negativo) PHT a última hora de la tarde. En Octubre los setos E-O presentaron significativamente menor PHT que el resto de las orientaciones a la mañana temprano, pero sin diferencias el resto del día.

La evolución del PHT siguió un patrón general similar, independiente de la orientación del seto y del mes del año. El PHT fue alto (menos negativo) a la mañana temprano, disminuyendo gradualmente hacia el mediodía solar, luego permaneció estable o aumentó hacia el final del día. En correspondencia con las mediciones de PHT al mediodía, en el año 2012 el PHT diurno registró valores mínimos de -2,7 MPa en Agosto y Septiembre, mientras en el 2013, el PHT fue siempre superior a -2,0 MPa para todos los días de medición.

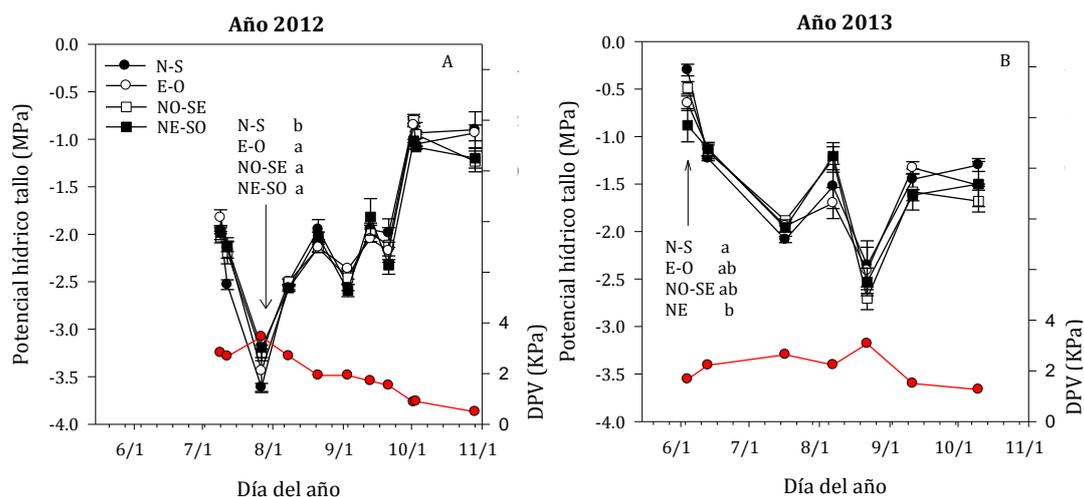
**Tabla 3.7.** Contenido relativo de agua promedio del suelo a 0,8 m de profundidad y 0,30 m del gotero de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante otoño 2012 y verano-otoño 2013.

Orientación	Contenido relativo de agua		
	2012	2013	
	Otoño	Verano	Otoño
N-S	0,43b	0,42c	0,43b
NE-SO	0,42b	0,47b	0,45b
NO-SE	0,46a	0,50a	0,43b
E-O	0,47a	0,48ab	0,49a

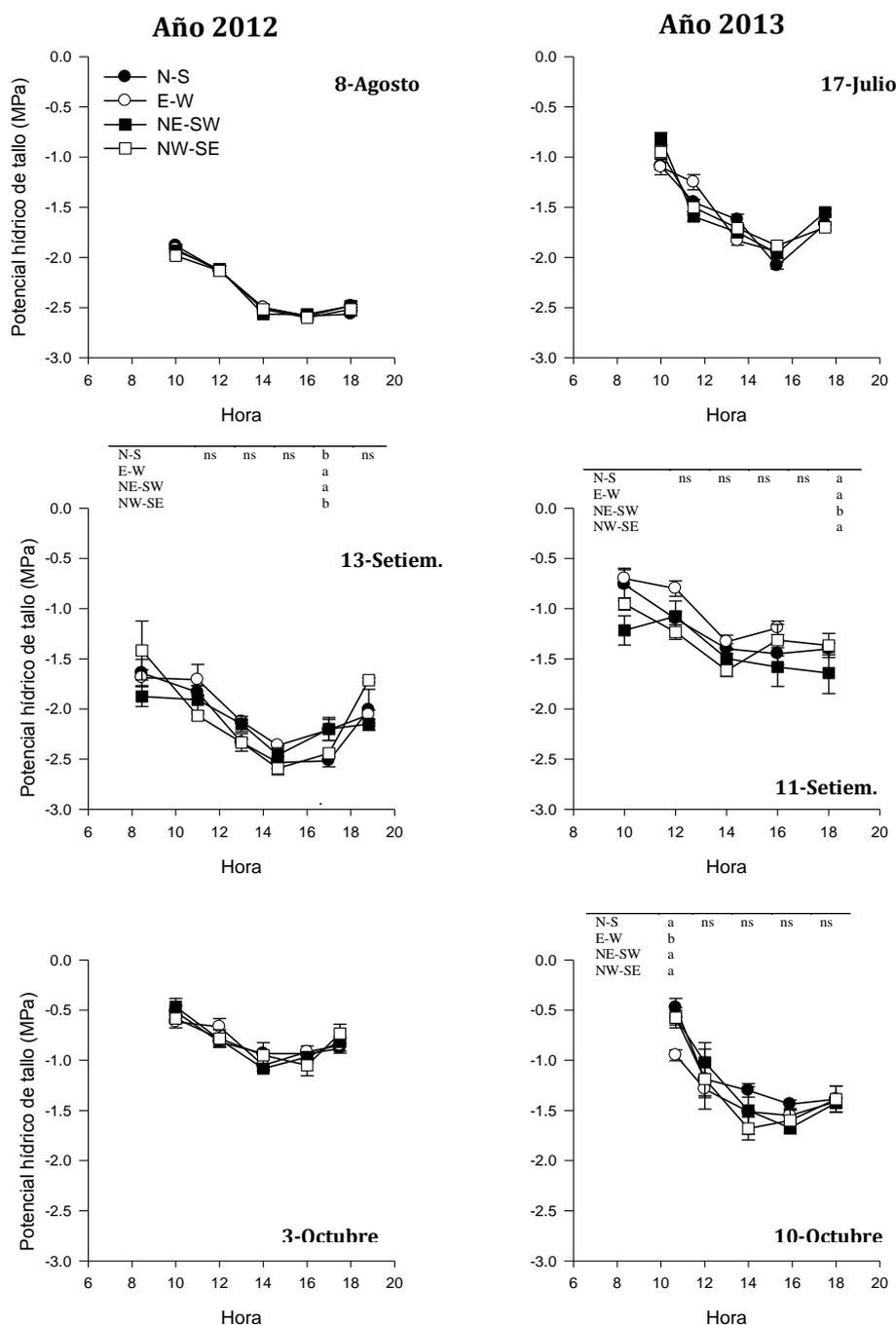
Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre orientaciones de seto dentro de cada estación por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ .



**Fig. 3.1.** Contenido relativo de agua del suelo a 0,8 m de profundidad y 0,30 m del gotero de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante otoño del año 2012 y verano-otoño del año 2013.



**Fig. 3.2.** Evolución del potencial hídrico de tallo a mediodía en olivares en seto plantados en cuatro orientaciones durante el periodo de acumulación de aceite de los frutos en los años 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Las flechas indican efecto significativo de la orientación del seto a  $p < 0,05$ . En línea y círculos rojos se muestra el déficit de presión de vapor (DPV) medio diario.



**Fig. 3.3.** Evolución diaria del potencial hídrico de tallo en olivares en seto plantados con cuatro orientaciones, en tres días del periodo de acumulación de aceite de los frutos en el año 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Tablas se presentan cuando hubo efecto significativo de la orientación del seto a  $p < 0,05$ . Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas a  $p < 0,05$ .

### 3.3.5. Fotosíntesis

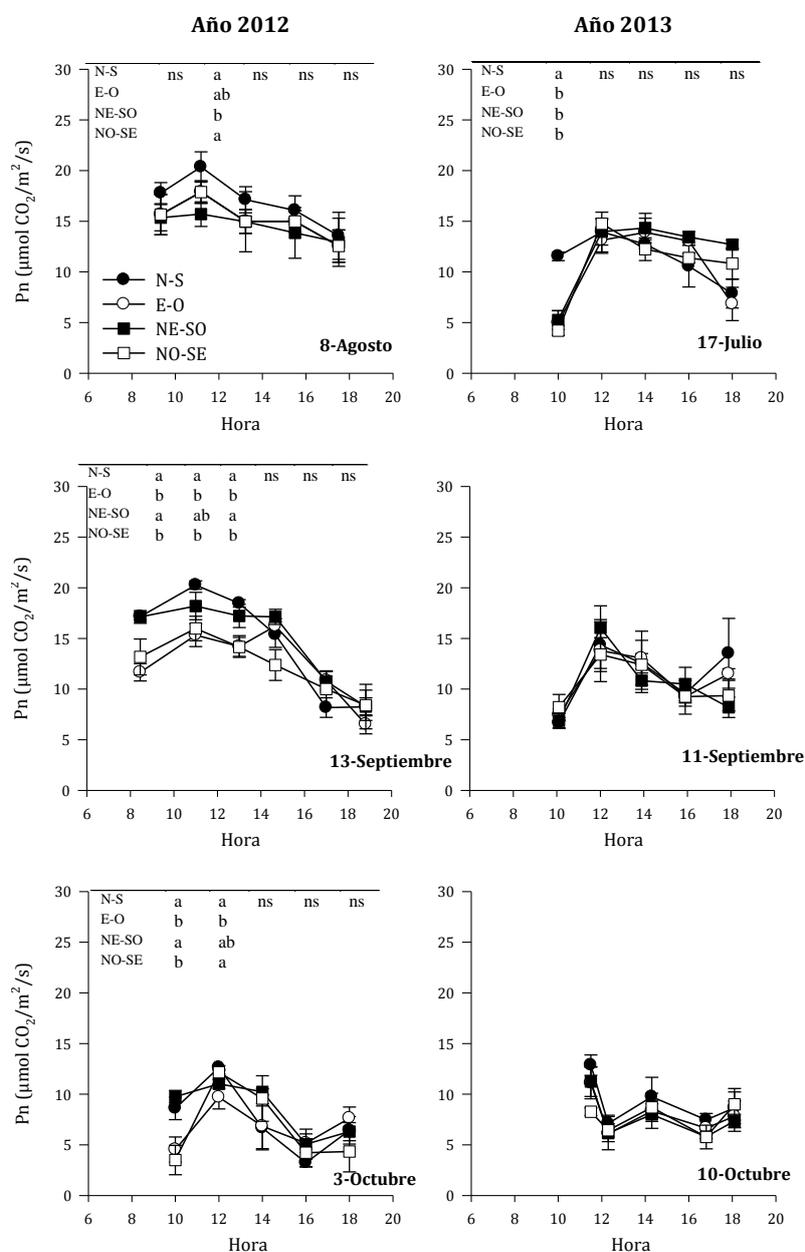
La evolución diaria de la fotosíntesis neta ( $P_n$ ) durante el periodo de acumulación de aceite en los frutos, en los años 2012 y 2013 se presenta en la Fig. 3.4. En el **año 2012**, la  $P_n$  de hojas expuestas exhibió variaciones significativas en respuesta a la

orientación del seto, previo al mediodía y en los tres días de medición. En Agosto, las hojas expuestas de los setos orientados N-S y NO-SE, presentaron mayor Pn que las de los setos orientados NE-SO a las 10:00 h. En Septiembre, las hojas de los setos orientados N-S y NE-SO registraron mayor Pn que en los setos orientados E-O y NO-SE entre las 8:30 y 12:30 h. Mientras que en Octubre, la Pn fue significativamente más alta en las hojas de los setos N-S que E-O entre las 10:30 y 12:30 h. En el **año 2013**, las diferencias en la evolución diurna de la Pn en respuesta a la orientación del seto fueron menos evidentes. En este año, sólo las hojas expuestas de los setos orientados N-S exhibieron mayor Pn que el resto de las orientaciones a las 8:30 h en Julio, mientras que no hubo diferencias estadísticas en el resto de horas de ese día y tampoco en las mediciones de Septiembre y Octubre. En resumen, las diferencias en la fotosíntesis de las hojas localizadas en las caras iluminadas de setos con distintas orientaciones, solo se manifestaron durante la mañana temprano, cuando los valores son máximos, siendo las hojas de la cara E del seto N-S, las que alcanzaron valores superiores.

El patrón diurno de Pn, fue similar entre las orientaciones, en ambos años 2012 y 2013. La Pn de las hojas expuestas incrementó marcadamente desde temprano a la mañana hasta alcanzar un máximo entre las 10:30 y 11:00 h, luego descendió durante el resto del día, excepto en Octubre, 2012 donde presentó un ligero aumento hacia el final de la tarde. En el **año 2012**, la máxima Pn de las hojas ocurrió en la medición de Agosto (media entre orientaciones  $18,6 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ), disminuyendo en Septiembre (media  $16,7 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) y Octubre (media  $11,4 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ). En el **año 2013**, los valores de máxima Pn fueron inferiores a los observados en 2012, registrándose máximos en Julio (media  $13,9 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) y Septiembre (media  $14,8 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ), disminuyendo notablemente en Octubre (media  $10,7 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ).

En el promedio para las distintas horas en cada día y en los seis días de medición (3 días por año), la fotosíntesis de las hojas iluminadas fue significativamente afectada por la orientación del seto. La Pn de las hojas en la cara iluminada de los setos orientados N-S ( $12,3 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) fue significativamente más alta que las hojas en las orientaciones NE-SO ( $11,5 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ), NO-SE ( $11,1 \mu\text{mol}$

CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s) y E-O (11,0 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s), sin diferencias estadísticas entre las tres últimas orientaciones.



**Fig. 3. 4.** Evolución diaria de la tasa de fotosíntesis neta (Pn) en hojas ubicadas en las caras iluminadas de olivares en seto, plantados con cuatro orientaciones. Las mediciones corresponden a tres días despejados durante el periodo de acumulación de aceite de los frutos en el año 2012 (paneles de la izquierda) y 2013 (paneles de la derecha). Tablas se presentan cuando hubo efecto significativo de la orientación del seto a  $p < 0,05$ . Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas a  $p < 0,05$ .

### 3.3.6. Temperatura interna del fruto

La temperatura interna de los frutos durante el periodo comprendido entre fin de endurecimiento de hueso y cosecha se presenta para el año 2012 en las Tablas 3.8, 3.9 y 3.10 y para el año 2013 en las Tablas 3.11, 3.12 y 3.13. Las mediciones se realizaron en tres momentos del día (10:00, 14:00 y 17:00 h) con excepción de la primera medición de Septiembre 2012 y 2013, donde la presencia de nubes al mediodía, impidió realizar determinaciones adecuadas. La diferencia entre la temperatura interna del fruto y la temperatura del aire alrededor de los frutos, es también incluida para cara hora y día de medición.

En el **año 2012**, la temperatura de los frutos en los dos días evaluados del mes de Septiembre, estuvo en el rango de 21-23 °C a la mañana y 26,5-30,0 °C por la tarde. A principio de Septiembre y a las 10:00 h, las máximas temperatura se registraron en los frutos sobre la cara S (23,6 °C), que fueron significativamente mayor a la temperatura de los frutos en las caras N, NE, E y O (media 21,6 °C). Por la tarde, los frutos en las caras S, NE, NO y O (media 29,6 °C) exhibieron temperaturas significativamente mayores que los frutos en el resto de las caras (media 27,0 °C). Similar patrón fue observado a finales de Septiembre, por la mañana los frutos en las caras S, NE y SE (media 27,1 °C) tuvieron la mayor temperatura y los frutos en las caras O, NO, N y SO (media 23,6 °C) las más bajas. Al mediodía, los frutos en las caras S y SO tuvieron las máximas temperatura, mientras que por la tarde los frutos más calientes estuvieron en las caras NO (31,7 °C) y los más fríos en las caras E y NE (media 28,9 °C). En la medición de Octubre, la temperatura de los frutos varió entre 12,5 y 13,6 °C a la mañana y entre 23,0 y 28,0 °C al mediodía y por la tarde. Los frutos en la cara S presentaron las temperaturas más altas por la mañana (13,6 °C), al mediodía (27,9 °C) y por la tarde (26,1 °C), mientras que las mínimas temperatura la exhibieron los frutos en las caras SO, O y N por la mañana (media 12,5 °C), los frutos en las caras E, NO, NE y N al mediodía (media 23,3 °C), mientras que por la tarde la menor temperatura la exhibieron los frutos en las caras N, NE y E (media 23,5 °C).

En el **año 2013**, la temperatura de los frutos varió entre 27 y 38 °C en Julio, 23 y 34 °C en Septiembre y entre 18 y 30 °C en Octubre. La temperatura de los frutos

---

presentó similar patrón diario que en 2012. Los frutos en la cara S y los ubicados en las caras tendientes hacia el Este (E, SE y NE) presentaron las mayores temperatura por la mañana, mientras que al mediodía, y más marcado por la tarde, los frutos en las caras S, SO y O registraron la mayor temperatura. Los frutos con menor temperaturas se observaron en las caras O, SO y N por la mañana y en las caras E, SE, NE y N por la tarde. En este año los frutos de la cara S también tuvieron mayor temperatura interna que los frutos de la cara N, consistentemente durante todo el día. Los frutos de la cara E tuvieron mayor temperatura que la cara O por la mañana, y lo contrario al mediodía y por la tarde.

La temperatura de los frutos fue mayor que la temperatura del aire, aunque se observaron algunas excepciones en Septiembre y Octubre del 2012 y en Julio del 2013. La diferencia entre la temperatura de los frutos y la del aire incrementó desde la mañana (media 1,6 para el 2012 y 1,9 °C en 2013), al mediodía (media 1,7 para el 2012 y 3,4- °C en 2013) y hasta la tarde (media 1,8 para el 2012 y 3,4 °C en 2013). La temperatura interna de los frutos y la de aire de alrededor de los frutos estuvieron positivamente relacionados, independientemente de la hora de medición (10:00 h  $R^2 = 0,91$ ,  $p < 0,001$ ; 14:00  $R^2 = 0,73$ ,  $p = 0,01$  y 17:00  $R^2 = 0,64$ ,  $P = 0,02$ ).

A modo de resumen, en la Fig. 3.5 se muestra la temperatura interna de los frutos promedio general para los seis días de medición en los años 2012 y 2013. Comparando las distintas caras de los setos, la temperatura media diaria de los frutos siguió la secuencia (de mayor a menor temperatura): caras S (28,2 °C), SO (27,4 °C), O (26,7 °C), SE (26,5 °C), E (25,6 °C), NO (25,5 °C), NE (25,4 °C) y N (25,3 °C). Sólo la temperatura de los frutos en la cara S y N difirieron significativamente. A su vez, comparando el promedio para las cuatro orientaciones, la temperatura de los frutos no fue significativamente diferente entre orientaciones y siguió la secuencia: setos orientados E-O (26,5 °C), NO-SE (26,1 °C), N-S (25,8 °C) y NE-SO (25,7 °C).

**Tabla 3.8.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (13 Septiembre 2012).

Fuente de variación		Temperatura			
		10:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	21,8c	0,42cd	27,1b	-1,22c
	O	21,5c	-0,75e	30,2a	2,75a
NE-SO	NO	21,7c	-0,02de	29,6a	0,83b
	SE	22,2ab	1,40ab	26,6b	-1,35c
NO-SE	NE	21,6c	0,03de	29,3a	0,90b
	SO	22,7ab	0,88bc	27,7b	1,38ab
E-O	N	21,5c	0,52cd	26,5b	0,02bc
	S	23,1a	2,15a	29,3a	0,92c

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.

**Tabla 3.9.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (20 Septiembre 2012).

Fuente de variación		Temperatura					
		10:00 h		14:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	26,1b	4,88b	30,0c	2,5c	28,9e	5,17a
	O	24,0c	2,28a	32,8b	4,0b	31,0b	3,37c
NE-SO	NO	23,6c	1,95c	30,3c	0,1d	31,7a	1,43f
	SE	27,4a	6,38a	31,0c	2,4c	29,7c	3,67bc
NO-SE	NE	26,0a	5,30a	30,0c	2,4c	28,9e	3,18cd
	SO	23,3c	2,23c	34,8a	5,8a	30,5b	2,68de
E-O	N	23,5c	1,92c	30,8c	0,7d	29,1cd	4,05b
	S	27,8a	6,10a	34,2a	4,9ab	29,2cd	2,50e

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.

**Tabla 3.10.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (2 Octubre 2012).

Fuente de variación		Temperatura					
		10:00 h		14:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	13,1b	0,68b	23,3d	0,00bc	23,3d	-0,44c
	O	12,5c	0,44bc	24,6c	0,84ab	25,6b	2,02b
NE-SO	NO	12,8bc	-0,06d	23,5d	-1,32d	25,1bc	-0,22c
	SE	12,9bc	0,20cd	24,5c	-0,28c	23,9cd	3,56a
NO-SE	NE	13,2ab	0,74b	23,0d	0,98a	23,4d	-0,06c
	SO	12,5c	0,42bc	25,5b	1,24a	27,1a	3,16ab
E-O	N	12,6c	0,22cd	23,4d	0,00bc	23,7d	0,34c
	S	13,6a	1,44a	27,9a	4,14a	26,1ab	2,26b

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.

### III. Respuesta del olivar en seto a la orientación de filas

**Tabla 3.11.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (16 Julio 2013).

Fuente de variación		Temperatura			
		10:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	29,9ab	2,55a	33,6de	-0,20cd
	O	27,4c	-0,01b	35,6b	0,06bcd
NE-SO	NO	25,6d	-2,74c	34,9bcd	1,10bc
	SE	31,4a	2,43a	34,2cde	-0,37d
NO-SE	NE	29,7ab	0,92ab	33,5e	0,38bcd
	SO	27,3cd	-0,01b	35,0bc	1,35ab
E-O	N	28,8bc	0,89ab	34,7bcde	0,69bcd
	S	30,9a	-0,03b	37,6a	2,62a

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.

**Tabla 3.12.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (11 Septiembre 2013).

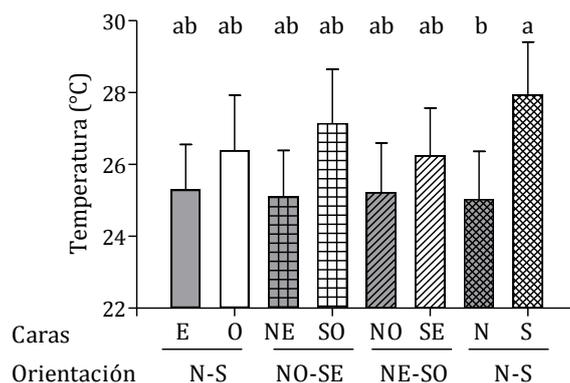
Fuente de variación		Temperatura					
		10:00 h		14:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	24,8ab	4,70ns	30,0c	2,46c	26,9b	4,10cde
	O	23,4bc	3,76	32,8b	3,96b	31,8a	6,72ab
NE-SO	NO	23,0c	2,02	30,3c	0,10d	27,9b	1,30f
	SE	24,5abc	3,44	31,0c	2,38c	28,3b	2,92ef
NO-SE	NE	23,0c	3,76	30,0c	2,42c	26,7b	3,80de
	SO	25,9a	4,37	34,8a	5,80a	32,4a	7,68a
E-O	N	23,5bc	4,10	30,8c	0,68d	27,7b	4,96bcd
	S	25,9a	6,10	34,2a	4,93ab	31,8a	5,88abc

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.

**Tabla 3.13.** Temperatura interna de los frutos situados en las caras de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones y diferencia con la temperatura del aire (16 Octubre 2013).

Fuente de variación		Temperatura					
		10:00 h		14:00 h		17:00 h	
Orientación	Cara	Fruto	Fruto - aire <sup>a</sup>	Fruto	Fruto - aire	Fruto	Fruto - aire
N-S	E	17,9c	1,02ns	22,1c	4,78ab	23,4c	3,46bcd
	O	18,0c	0,78	22,2c	1,86c	28,9a	5,12b
NE-SO	NO	17,9c	0,16	21,1c	1,62c	24,3c	2,38d
	SE	18,2bc	0,94	27,1a	6,86a	27,0b	4,66bc
NO-SE	NE	18,3abc	1,36	21,5c	2,86bc	23,4c	3,26bcd
	SO	18,7ab	1,82	26,6ab	6,00a	29,4a	7,68a
E-O	N	18,7ab	1,10	21,7c	2,91bc	23,3c	2,70cd
	S	18,8a	1,34	26,7a	5,62ab	29,8a	8,14a

<sup>a</sup>Temperatura media del fruto - temperatura media del aire cerca del fruto. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto.



**Fig. 3.5.** Temperatura interna de frutos expuestos en ambas caras de olivares en setos plantados con cuatro orientaciones, promedio 2012 y 2013. Las líneas verticales rematadas representan un error estándar. Barras con las mismas letras son no significativamente diferentes entre caras.

### 3.3.7. Producción y característica de los frutos

#### 3.3.7.1. Producción y características de los frutos de los setos

La producción y características de los frutos (contenido de agua e índice de madurez) durante el período 2010-2013 se presentan en las Tablas 3.14 y 3.15.

El primer año de producción fue en 2010, dos años después de la plantación. La primera cosecha (valor medio de todas las orientaciones  $2,4 \pm 0,6$  t frutos/ha) se caracterizó por una gran variabilidad dentro de cada orientación como se refleja en un alto coeficiente de variación (CV) para la producción de frutos (CV = 105%), como resultado de que muchos árboles no entraron en producción. En el 2011 hubo un notable incremento de la producción de frutos (media para todas las orientaciones  $10,9 \pm 0,3$  t frutos/ha) y de aceite (media  $2,3 \pm 0,05$  t de aceite/ha) y reducción de la variabilidad dentro de cada orientación (CV para la producción de frutos 23%). En este año, los frutos se cosecharon con el índice de madurez (IM) más alto (media =  $1,8 \pm 0,2$ ), consistente con el mayor contenido de aceite (media  $21,2 \pm 0,4\%$  peso fresco) y menor concentración de agua de los frutos (media  $51,9 \pm 0,3\%$ ) en comparación con los otros años. La producción expresada en frutos o en aceite no respondió significativamente a la orientación de los setos hasta la cosecha 2012.

La producción continuó aumentando hasta el 2013, cuando la producción de frutos y de aceite fue 31 y 13%, mayor que en 2012, respectivamente. Aunque las

cosechas en 2012 y 2013 se llevaron a cabo en fechas similares, el IM y contenido de aceite fueron menores en el 2013. En 2012, los frutos se recogieron en el envero (menos de la mitad de la superficie del fruto color violeta, IM = 1,27) y con alto contenido de aceite ( $18,9 \pm 0,4\%$  peso fresco), mientras que en 2013, los frutos cosechados tenían el color de su piel amarillo-verdoso (media IM = 0,65) y menor contenido de aceite ( $14,8 \pm 0,2\%$  peso fresco).

El promedio de las cosechas en 2012 y 2013, con setos bien formados, la producción de frutos y aceite y la concentración de agua de los frutos, fueron significativamente afectadas por la orientación del seto. La producción de frutos de los setos orientados NE-SO y NO-SE fue 16 y 13% mayor que los setos orientados E-O, respectivamente, pero sólo los setos NE-SO presentaron producción de aceite significativamente mayor que E-O (17%). La ventaja del 13% de los setos NO-SE en la producción de aceite no fue significativa a pesar de la diferencia significativa en la producción de frutos. La producción media de frutos y aceite de los setos orientados N-S no fue significativamente diferente a las otras orientaciones. La concentración de agua de los frutos, fue la única característica significativamente afectada por la orientación del seto, los frutos del seto orientado N-S tuvieron consistentemente mayor concentración de agua que el resto de las orientaciones, pero sin diferencias significativas en el contenido de aceite y en el IM.

**Tabla 3.14.** Producción de frutos y aceite de olivares en seto plantados en cuatro orientaciones durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013 y promedio de 2012-2013 cuando los setos formaban una pared continua.

Producción de frutos (t frutos/ha)					
Orientación	Anual				Promedio 2012-13
	2010	2011	2012	2013	
N-S	0,59	10,1	11,8b	18,3ns	15,1ab
NE-SO	2,96	10,7	14,0a	17,7	15,9a
NO-SE	3,15	11,5	12,1ab	18,8	15,5a
E-O	2,93	11,1	11,0b	16,4	13,7b

Producción de aceite (t aceite/ha)					
Orientación	Anual				Promedio 2012-13
	2010	2011	2012	2013	
N-S	0,10	2,2	2,1b	2,8ns	2,5ab
NE-SO	0,51	2,2	2,7a	2,6	2,7a
NO-SE	0,54	2,4	2,4ab	2,8	2,6ab
E-O	0,49	2,3	2,1b	2,5	2,3b

Valores con la misma letra son no significativamente diferente entre orientaciones de seto por el test de MDS's a  $p \leq 0,05$ . ns: no significativo.

**Tabla 3.15.** Característica de los frutos de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013 y promedio de 2012-2013 cuando los setos formaban una pared continua.

Contenido de aceite (% peso fresco)					
Orientación	2010	2011	2012	2013	Promedio 2012-13
N-S	17,4	22,4	18,0b	14,9ns	15,7 ns
NE-SO	17,6	21,4	18,9ab	14,4	15,6
NO-SE	16,8	20,9	19,9a	14,6	16,0
E-O	16,8	20,3	18,9ab	15,4	16,3

Contenido de agua (%)					
Orientación	2010	2011	2012	2013	Promedio 2012-13
N-S	59,9	52,7	60,6 ns	61,6 a	61,1a
NE-SO	58,8	51,4	59,2	59,4 b	59,3b
NO-SE	59,5	51,3	58,6	60,8 a	59,7b
E-O	58,7	52,3	59,2	59,1 b	59,2b

Índice de Madurez					
Orientación	2010	2011	2012	2013	Promedio 2012-13
N-S	2,05	1,94	1,48 ns	0,65 ns	1,07
NE-SO	1,51	1,17	1,16	0,61	0,89
NO-SE	1,33	1,96	1,14	0,67	0,91
E-O	1,21	2,09	1,28	0,68	0,98

Valores con la misma letra son no significativamente diferente entre orientaciones de seto por el test de MDS's a  $p \leq 0,05$ . ns: no significativo.

### 3.3.7.2. Producción y características de los frutos en las caras de los seto

La producción de aceite, sus componentes y las características de los frutos de las caras de los setos en los años 2012 y 2013 se presentan en la Tabla 3.16. En promedio para los años 2012 y 2013, las caras de los setos variaron significativamente en la producción de aceite y el contenido de agua de los frutos, pero no en número de frutos, peso seco del fruto, contenido de aceite del fruto o índice de madurez. La producción de aceite en las caras SE y S fue un 30% mayor que en las caras NO y N, en respuesta a un mayor número de frutos (media 21%). El peso seco del fruto y el contenido de aceite (% peso seco) fueron más altos en los frutos en la cara SO, y los más bajos en la cara N. Los frutos en las caras E y O tuvieron el mayor contenido de agua (media 61,1%) e IM (media de 1,06), en relación a las otras caras de las diferentes orientaciones (media contenido de agua = 59,4% y IM = 0,92).

**Tabla 3.16.** Producción de aceite, componentes y características del fruto en las caras de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones en los años 2012 y 2013.

Fuente de variación			Producción	Nº	Peso	Contenido	Contenido	Índice
Año	Orientación	Cara	aceite (kg/m)	frutos (frutos/m)	seco (g/fruto)	aceite (g/fruto)	agua (%)	Madurez
2012	N-S	E	0,58bc	2150bc	0,59c	0,27b	60,3	1,43
		O	0,52cd	1888bcd	0,61bc	0,28b	60,9	1,52
	NE-SO	SE	0,86a	2852a	0,65ab	0,31ab	59,1	1,16
		NO	0,52cd	1772bcd	0,64abc	0,29ab	59,3	1,15
	NO-SE	SO	0,54cd	1655cd	0,69a	0,33a	59,0	1,27
		NE	0,72ab	2217bc	0,66ab	0,32a	58,2	1,02
	E-O	S	0,70ab	2338ab	0,64abc	0,30ab	59,3	1,33
		N	0,40d	1418d	0,62bc	0,29ab	59,2	1,22
2013	N-S	E	0,69	3901	0,45a	0,18a	61,4ab	0,70
		O	0,74	4305	0,44a	0,17a	61,8a	0,60
	NE-SO	SE	0,75	5136	0,41b	0,15b	59,2d	0,65
		NO	0,58	4236	0,40b	0,14b	59,3d	0,56
	NO-SE	SO	0,77	5088	0,40b	0,15b	60,9bc	0,71
		NE	0,68	4447	0,40b	0,15b	60,8c	0,62
	E-O	S	0,70	4482	0,41b	0,15b	59,0d	0,77
		N	0,62	4152	0,40b	0,15b	59,1d	0,58
Media	N-S	E	0,64bcd	3026	0,52	0,23	60,9ab	1,07
		O	0,63bcd	3097	0,53	0,23	61,4a	1,06
	NE-SO	SE	0,81a	3994	0,53	0,23	59,2c	0,91
		NO	0,55cd	3004	0,52	0,22	59,3c	0,86
	NO-SE	SO	0,66bc	3372	0,55	0,24	60,0bc	0,99
		NE	0,70ab	3332	0,53	0,24	59,5c	0,82
	E-O	S	0,70ab	3410	0,53	0,23	59,2c	1,05
		N	0,51d	2785	0,51	0,22	59,2c	0,90

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras por test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

### 3.3.7.3. Producción y características de los frutos de los estratos de los setos

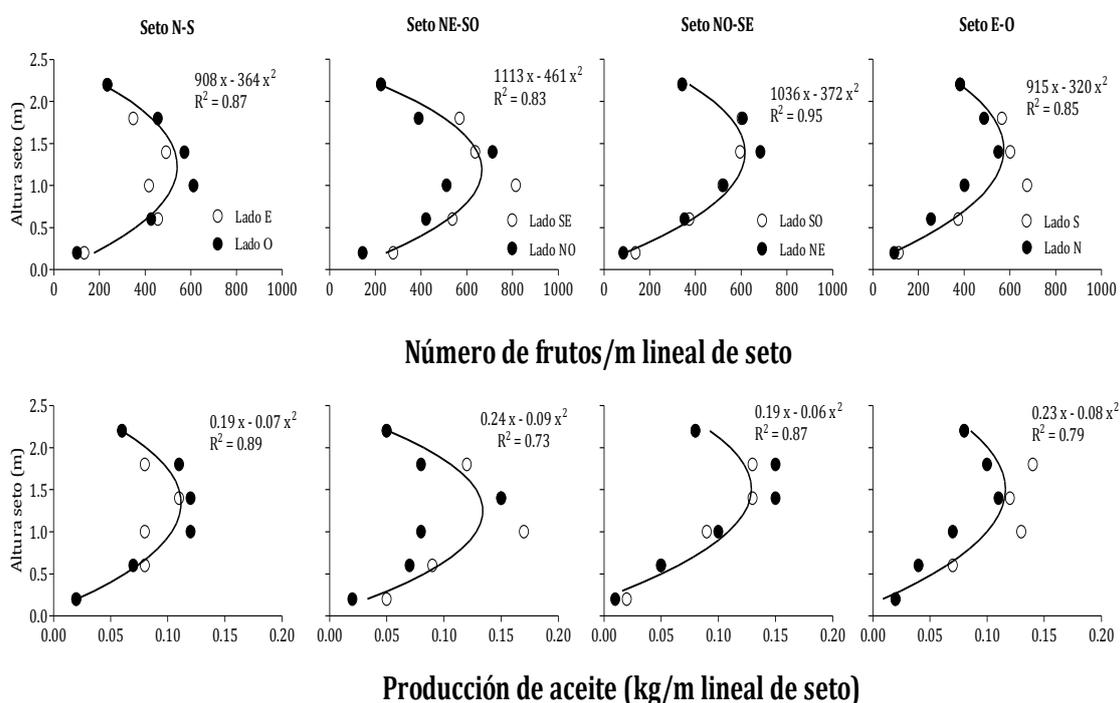
La producción de aceite y número de frutos en cada estrato de los setos se presentan en la Fig. 3.6. La producción de aceite y el número de frutos por estrato de la canopia siguieron tendencias cuadráticas, similar en todas las orientaciones (Fig. 3.6) y un único modelo cuadrático ajustó adecuadamente la variabilidad observada en ambas caras de los setos en cada orientación ( $R^2$  varió entre 0,83 - 0,95 para el número de frutos y  $R^2$  entre 0,73 - 0,89 para la producción de aceite). En los setos orientados N-S y NE-SO el 46 y 51% de la producción total de aceite, respectivamente, se concentró entre 0,8 a 1,6 m de altura de la canopia, mientras que en las orientaciones NO-SE y E-O, el 54 y el 48% estuvo concentrado entre 1,2 y 2,0 m de altura de la canopia, respectivamente. No apreciándose diferencias claras en esta tendencia entre las caras de los setos.

Las características de los frutos relativos a su posición vertical en los setos se presentan en la Fig. 3.7. El peso seco y contenido de aceite de los frutos fueron más altos en el estrato más alto del seto y más bajos en la base pero el patrón difirió entre orientaciones. En la orientación N-S, el peso seco y el contenido de aceite disminuyó linealmente desde el estrato superior hacia la base de la canopia. En los setos NE-SO y NO-SE, sin embargo, la disminución lineal fue desde el estrato más alto hasta 1,2 y 0,95 m de altura, respectivamente, luego se mantuvieron bajos y estables por debajo de esas alturas. Los setos E-O requirieron regresiones separadas para cada cara, el peso seco del fruto y el contenido de aceite disminuyeron desde el estrato más alto en ambas caras, mientras en las caras N continuaron disminuyendo hacia la base, sobre las caras S permanecieron estables por debajo de 1,4 m de altura.

El índice de madurez disminuyó linealmente desde el estrato más alto del seto hasta la base en todas las orientaciones de los setos (Fig. 3.7). Ambas caras de los N-S y NE-SO mostraron valores y tendencias similares (seto N-S: pendiente = 0,62;  $R^2 = 0,95$  y seto NE-SO: pendiente = 0,51;  $R^2 = 0,86$ ), mientras que en los setos orientados NO-SE y E-O, el IM de los frutos en las caras SO y S, respectivamente, disminuyó menos rápidamente con la profundidad de la canopia

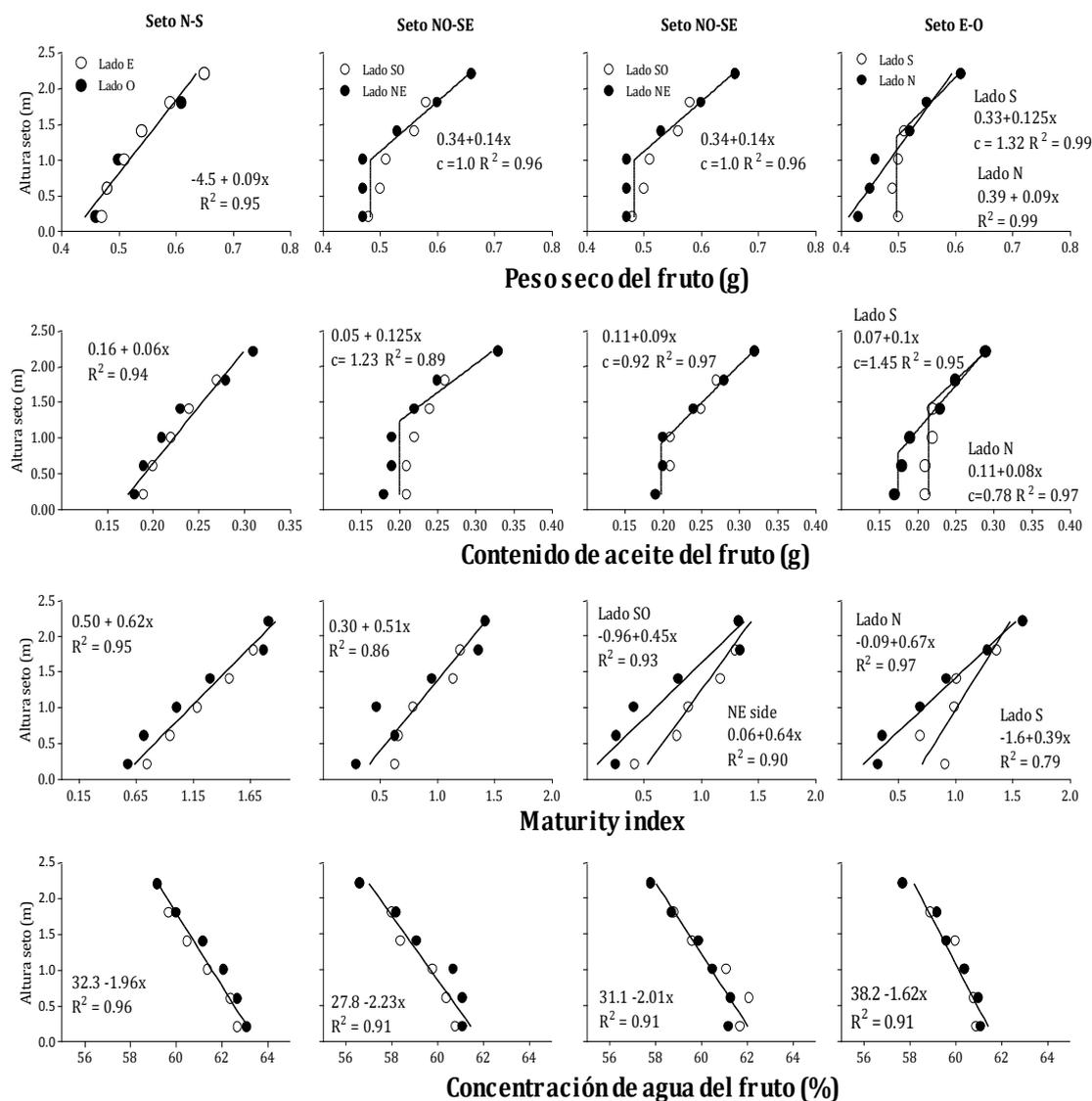
---

(pendientes = 0,45 y 0,39, respectivamente) que los frutos en las caras NE y N (pendientes = 0,64 y 0,67). En contraste con el resto de las características del fruto, la concentración de agua incrementó linealmente desde el estrato más alto a la base del seto, sin diferencias entre las caras en cada orientación de seto (Fig. 3.7). La concentración de agua de los frutos aumentó 1,6% por cada metro de descenso en la canopia de los setos E-O, y 2,0 - 2,2% por metro de descenso en la canopia de los setos orientados N-S, NO-SE y NE-SO.



**Fig. 3.6.** Distribuciones verticales del número de frutos y producción de aceite por m lineal de pared en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O). Los valores son medias de los años 2012 y 2013. En todos los casos, se muestra una única regresión para ambas caras del seto porque los coeficientes de regresión de las distintas caras no fueron significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

### III. Respuesta del olivar en seto a la orientación de filas



**Fig. 3.7.** Características del fruto en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O). Los valores son medias de los años 2012 y 2013. Una sola regresión ajustada a ambas caras del seto se muestra cuando los coeficientes individuales de regresión no fueron significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

#### 3.3.8. Seguimiento de maduración

Las dinámicas de peso seco, contenidos de aceite y de agua en los frutos en cada cara de los setos desde el 21-Agosto a cosecha en el 2012, y desde el 7-Agosto a cosecha en el 2013, se presentan en las Tablas 3.15 y 3.16, respectivamente. La acumulación de peso seco y contenido de aceite durante el periodo de muestreo representó el 41% y 78% del peso seco y contenido de aceite total medido en

cosecha, respectivamente para el año 2012, y el 47% y 93% de la acumulación total de peso seco y contenido de aceite en el 2013.

En el **año 2012**, los frutos sobre las caras SE y NO registraron significativamente más peso seco que los frutos sobre las caras O y N, durante todo el periodo de crecimiento estudiado. Los frutos en la cara S fueron más pesados que sobre la cara N en Agosto, pero no en los meses restantes. El contenido de aceite varió significativamente entre las caras de los setos a partir de Septiembre y hasta cosecha, cuando los frutos en las caras SE, NO y NE presentaron mayor contenido de aceite que los frutos en las caras O y N. La concentración de agua de los frutos presentó escasas diferencias significativas entre las caras de los setos durante el desarrollo de los frutos y sin un patrón claro.

En **2013**, el peso seco de los frutos en ambas caras de los setos no fue afectado por la orientación de las filas durante todo el periodo de crecimiento estudiado. El contenido de aceite de los frutos, en contraste, fue significativamente más alto en las caras NE y N que en las caras O, NO y SO desde finales-Agosto a finales-Septiembre, después el contenido de aceite de los frutos no varió entre caras hasta cosecha. La mayor concentración de agua de los frutos se observó en las caras E, O y NO, pero fue significativamente distinto que ciertas caras, sólo en dos muestreos intermedios.

**Tabla 3.17.** Peso seco, contenido de aceite y contenido de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones desde Agosto a cosecha en el año 2012.

Fuente de variación		Peso seco medio del fruto (g)			
Orientación	Cara	21/8	13/9	2/10	29/10
N-S	E	0,39ab	0,48	0,53b	0,65bc
	O	0,37bc	0,46	0,52b	0,62c
NE-SO	SE	0,40ab	0,52	0,63a	0,72a
	NO	0,42a	0,52	0,58ab	0,68ab
NO-SE	SO	0,38ab	0,48	0,52b	0,64bc
	NE	0,40ab	0,49	0,58ab	0,66bc
E-O	S	0,38ab	0,49	0,53b	0,63bc
	N	0,34c	0,46	0,53b	0,60c
		Contenido de aceite (g/fruto)			
N-S	E	0,07	0,14cd	0,19d	0,31bc
	O	0,06	0,12d	0,18d	0,28c
NE-SO	SE	0,07	0,16a	0,24a	0,35a
	NO	0,07	0,16ab	0,22bc	0,32ab
NO-SE	SO	0,08	0,13cd	0,18d	0,29bc
	NE	0,06	0,16a	0,22ab	0,32ab
E-O	S	0,06	0,14bcd	0,19cd	0,30bc
	N	0,07	0,14abc	0,20bcd	0,28c
		Contenido de agua (%)			
N-S	E	55,8	56,4ab	59,1	60,2
	O	56,2	57,3a	60,0	60,1
NE-SO	SE	56,7	55,7abc	58,0	57,6
	NO	56,9	55,5bc	59,0	58,0
NO-SE	SO	56,3	55,2bcd	59,4	58,3
	NE	55,4	53,7d	57,7	57,5
E-O	S	56,1	55,0bcd	59,3	58,5
	N	55,7	54,4cd	58,6	58,8

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cara parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

**Tabla 3.18.** Peso seco, contenido de aceite y contenido de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientaciones desde Agosto a cosecha en el año 2013.

Fuente de variación		Peso seco medio del fruto (g)					
Orientación	Cara	7/8	22/8	5/9	19/9	8/10	22/10
N-S	E	0,23	0,27	0,30	0,37	0,40	0,39
	O	0,22	0,24	0,29	0,33	0,38	0,43
NE-SO	SE	0,24	0,28	0,31	0,35	0,40	0,44
	NO	0,20	0,25	0,28	0,33	0,38	0,41
NO-SE	SO	0,22	0,24	0,29	0,32	0,37	0,43
	NE	0,22	0,27	0,30	0,35	0,41	0,43
E-O	S	0,22	0,25	0,29	0,32	0,38	0,41
	N	0,21	0,25	0,29	0,32	0,37	0,39
		Contenido de aceite (g/fruto)					
N-S	E	0,01	0,03ab	0,05abc	0,09ab	0,14	0,16
	O	0,01	0,02c	0,04c	0,07cd	0,11	0,16
NE-SO	SE	0,01	0,03a	0,05abc	0,09abc	0,13	0,17
	NO	0,01	0,02bc	0,04c	0,07cd	0,11	0,15
NO-SE	SO	0,01	0,02c	0,04c	0,07d	0,11	0,16
	NE	0,01	0,03a	0,06a	0,09a	0,14	0,17
E-O	S	0,02	0,02bc	0,05bc	0,07cd	0,12	0,16
	N	0,01	0,03a	0,06ab	0,08bcd	0,12	0,15
		Contenido de agua (%)					
N-S	E	60,3	56,4	57,5ab	52,0	54,6ab	61,6
	O	59,8	57,2	58,2a	50,7	55,3a	60,5
NE-SO	SE	59,8	53,6	56,1c	51,6	52,8bc	58,0
	NO	60,1	54,2	56,9abc	51,1	54,5ab	59,6
NO-SE	SO	59,6	54,0	57,0abc	49,3	55,5a	60,1
	NE	59,5	52,6	55,7c	47,2	53,2bc	58,5
E-O	S	59,2	54,4	56,8bc	48,2	52,7bc	59,6
	N	60,6	53,9	56,3bc	47,1	51,9c	59,8

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cara parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

### 3.3.9. Calidad del aceite

El perfil de ácidos grasos mayoritarios de los aceites extraídos en ambas caras de los setos en 2012 es presentado en la Tabla 3.17. Los otros ácidos grasos, incluyendo margárico (17:0), margaroleico (17:1), linoleico (18:3), araquídico (20:0), gadoleico (20:1) y behénico (22:0) fueron determinados, pero no se presentan porque mostraron valores inferiores a 0,5%, y consecuentemente no tienen un papel importante en la calidad de los aceites.

En promedio para todas las orientaciones de setos estudiadas, el contenido de ácido palmítico (16:0, media 15,0%), palmitoleico (16:1, media 1,4%), esteárico (18:0, media 1,8%), oleico (18:1, media 68,9%) y linoleico (18:2, media 9,4%)

representaron alrededor del 96% del total de ácidos grasos. El contenido de estos ácidos grasos mayoritarios no fue afectado significativamente por la posición de los frutos en los setos orientados N-S, NE-SO, NO-SE y E-O. En el caso específico del contenido en oleico, ácido graso de mayor importancia relativa sólo varió un 2,2% entre el valor máximo obtenido del aceite de frutos sobre la cara NE (69,6%) del seto orientado NO-SE y el mínimo obtenido de frutos de la cara S (68,1%) del seto orientado E-O.

**Tabla 3.19.** Perfil de ácidos grasos mayoritarios de los aceites extraídos de fruto en cada cara de setos con varias orientaciones en el estación 2012. Cada valor corresponde a 4 repeticiones  $\pm$  error estándar.

Fuente variación		Ácidos grasos mayoritarios (%)				
Orientación	Cara	16:0	16:1	18:00	18:1	18:2
N-S	E	15,1 $\pm$ 0,01	1,5 $\pm$ 0,07	1,8 $\pm$ 0,05	69,0 $\pm$ 0,50	9,2 $\pm$ 0,38
	O	14,8 $\pm$ 0,24	1,5 $\pm$ 0,07	1,7 $\pm$ 0,05	69,3 $\pm$ 0,09	9,5 $\pm$ 0,25
NE-SO	SE	15,0 $\pm$ 0,08	1,4 $\pm$ 0,05	1,8 $\pm$ 0,03	69,0 $\pm$ 0,39	9,3 $\pm$ 0,09
	NO	14,7 $\pm$ 0,11	1,4 $\pm$ 0,09	1,8 $\pm$ 0,03	69,0 $\pm$ 0,18	9,5 $\pm$ 0,10
NO-SE	SO	15,0 $\pm$ 0,14	1,3 $\pm$ 0,06	1,8 $\pm$ 0,03	68,5 $\pm$ 0,45	9,8 $\pm$ 0,08
	NE	14,9 $\pm$ 0,09	1,3 $\pm$ 0,05	1,9 $\pm$ 0,03	69,6 $\pm$ 0,39	9,1 $\pm$ 0,12
E-O	S	15,3 $\pm$ 0,10	1,4 $\pm$ 0,04	1,8 $\pm$ 0,02	68,1 $\pm$ 0,43	9,8 $\pm$ 0,24
	N	14,8 $\pm$ 0,18	1,4 $\pm$ 0,04	1,8 $\pm$ 0,02	68,8 $\pm$ 0,42	9,5 $\pm$ 0,17

El análisis de la varianza indicó efecto no significativo entre caras para todos los parámetros evaluados a un  $p < 0,05$ .

### 3.4. Discusión

#### 3.4.1. Estructura vegetativa del seto

En la implantación del experimento (primavera 2008), los árboles tenían una altura promedio de 0,71 m y alcanzaron la altura de 2,5 m apropiada para la cosechadora, en el invierno del 4to año de crecimiento. Durante la primavera del año 2012, los árboles llenaron el espacio asignado y formaron una pared continua, sin diferencia en las dimensiones de los setos entre orientaciones de filas (altura, ancho) (Tabla 3.5). El tamaño de los setos fue luego mantenido con poda lateral y del estrato superior del seto en los inviernos de 2012 y 2013.

La relación entre la altura del seto/ancho de calle libre no fue afectada por la orientación del seto y en promedio fue de 0,72. La relación determina la penetración de la radiación a los estratos inferiores de la canopia, y permaneció inferior a 1, sugerido en un amplio rango de especies conducidas en seto, para

lograr adecuada iluminación en todos los estratos de la canopia (Smart et al., 1990 en vid, Robinson, 2011 en manzano, Hadari, 2004, aguacate, Connor y Gómez-del-Campo, 2013 en olivo). En consecuencia, el ancho de calle y altura de seto utilizado en el diseño de los olivares experimentales, nos permitió evaluar el efecto de la orientación de filas, en condiciones de adecuada iluminación en todos los estratos de la canopia.

#### **3.4.2. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento**

Las mediciones en los brotes laterales revelaron, crecimiento significativamente mayor, del orden de 4,0 cm, en las caras S y SE respecto a sus caras opuestas, N y NO de los setos orientados E-O y NE-SO, respectivamente (Tabla 3.6). En contraposición, el crecimiento de brotes fue similar, en ambos lados de los setos orientados NO-SE y N-S. En consecuencia, se podría esperar que sin una poda cuidadosa, los setos orientados E-O y NE-SO desarrollen una arquitectura asimétrica de la canopia, indeseable para el manejo y la eficiencia de cosecha mecánica (Tarara et al., 2005). A pesar de estas diferencias, la porosidad y estructura de los setos fueron similares en las cuatro orientaciones de filas estudiadas.

La porosidad horizontal observada en los setos experimentales (23% en 2012 y 17% en 2013, Tabla 3.3) no difirió entre orientaciones y estuvieron en el rango reportado previamente para olivares en setos estrechos (15-40%, Gómez-del-Campo, et al., 2009). El efecto de la porosidad sobre la transmisión de la radiación a través de los setos varía en función de la orientación. La porosidad del seto tiene el potencial de minimizar las diferencias en productividad y características de los frutos entre caras opuestas, principalmente entre las caras N y S del seto orientado E-O. Por ejemplo, Connor et al. (2009) simuló la radiación interceptada en setos N-S y E-O con incrementos de la porosidad horizontal 0 - 30% y reveló que la porosidad horizontal tuvo poco efecto sobre la intercepción de radiación en setos N-S con 30% de porosidad, disminuyendo la intercepción de verano sólo el 5% con respecto a setos sólidos. En cambio, en los setos orientados E-O, el efecto de la porosidad fue mucho mayor, sobre todo durante el otoño, invierno y primavera. Por ejemplo, en invierno, la radiación disponible en la cara sombreada (i.e. cara N,

hemisferio N) aumentó en un 200% en un seto con 30% de porosidad, en relación con un seto sólido.

### 3.4.3. Relaciones hídricas

La programación de riego de olivares en seto, basada en mediciones del contenido de agua del suelo o con el método de balance de agua, implica un alto grado de incertidumbre en relación con las diferencias climáticas, las características del suelo, material vegetal (Reynolds y Naylor 1994) y la estructura de los setos (Fernández et al., 2013; Martínez-Cob y Faci, 2010), incluida la orientación de filas; mientras que los métodos basados en mediciones del estado hídrico de las plantas son más adecuados por tener en cuenta estos factores (Fernández y Cuevas 2010; Girona et al., 2006). El potencial hídrico de tallo a mediodía es ampliamente reconocido como un indicador fiable del estado hídrico en olivo (Goldhamer et al. 1999; Moriana et al., 2003).

Los setos orientados E-O presentaron consistentemente durante el verano-otoño mayor contenido relativo de agua en el suelo que los setos orientados N-S, en el orden del 12% (Tabla 3.7), a pesar de presentar similar estructura vegetativa y agua aplicada. Menos evidentes fueron las diferencias entre los setos orientados N-S y los setos orientados NO-SE y NE-SO, 9 y 5%, respectivamente. La ventaja comparativa del contenido relativo de agua del suelo de los setos E-O, respecto a los setos N-S, fue similar a las diferencias en transpiración estimada (16%) por Annandale et al. (2003), e inferior (20%) a lo obtenido por Connor et al. (2014), quienes estimaron la demanda de agua de setos orientados E-O y N-S por medio de simulaciones de la intercepción de la radiación.

Las diferencias en el contenido de agua del suelo entre orientaciones, sin embargo, no se vieron reflejadas en diferencias del estado hídrico del cultivo, evaluado aquí a través del PHT a mediodía y su evolución diurna (Figs. 3.2 y 3.3). El menor contenido relativo de agua del suelo en los setos orientados N-S, respecto a los setos orientados E-O y NO-SE, durante la estación de riego, no fue suficiente para afectar al estado hídrico de las plantas. Gómez-del-Campo (2013b) evaluó estrategias de riego deficitario en un olivar en seto con el mismo cultivar

Arbequina y similar estructura vegetativa y condiciones edafo-climática a los olivares evaluados en este trabajo. La autora observó que el PHT medido al mediodía fue similar entre tratamientos, a pesar que el CRA promedio disminuyó significativamente desde 0,63 a 0,39 en verano y desde 0,59 a 0,48 en otoño, entre tratamientos.

Similar PHT al mediodía entre orientaciones fue consistente en condiciones de ausencia (PHT al mediodía  $< -1,5$  MPa) o moderado estrés hídrico (PHT al mediodía  $-1,5$  a  $-2,5$  MPa) según los umbrales sugeridos en olivo por Moriana et al. (2002). El olivo ha sido ampliamente reconocido como una especie isohídrica (Díaz-Espejo et al., 2007; Fernández et al., 1997), que le permite mantener el estado hídrico en un estrecho rango frente a condiciones variables en el estado hídrico del suelo y de las condiciones ambientales. La evolución diurna del PHT también mostró similar patrón entre orientaciones de setos y a lo observado en un amplio rango de frutales de hoja caduca (Kleper, 1968) y también en olivo (Centritto et al., 2005). Desde el amanecer, hay un aumento en el déficit de presión de vapor, temperatura ambiente e iluminación, generando una mayor apertura estomática, lo cual conduce a un aumento en la pérdida de agua de las plantas y consecuentemente una disminución de su potencial hídrico (Olivo et al., 2009).

#### **3.4.4. Fotosíntesis**

La evolución diurna de la tasa de fotosíntesis neta durante el periodo de síntesis de aceite de los frutos mostró similar patrón entre orientaciones y estuvo cercanamente asociado a la evolución diurna del PHT, similar a lo observado en árboles de olivo aislados (Angelopoulos et al., 1996; Díaz-Espejo et al., 2007). La  $P_n$  de las hojas en las caras iluminadas de los setos, incrementó rápidamente después del amanecer con el aumento en la radiación solar, alcanzando un máximo aproximadamente a las 10:00 h. A partir de entonces, la  $P_n$  de las hojas disminuyó ligeramente hasta pasado el mediodía solar (mediciones realizadas a las 16:00 h, i.e. dos horas después del mediodía solar), debido al aumento de la temperatura y la disminución de la humedad ambiente (aumento del déficit de presión de vapor; Díaz-Espejo et al., 2007). Sin embargo, es importante considerar que las mediciones de fotosíntesis de hojas (5 hojas por seto) realizadas en este trabajo

---

presentan una alta variabilidad y podrían diferir de conclusiones obtenidas a nivel de toda la canopia (Giuliani et al., 1997; Pérez-Priego et al., 2010;).

Las hojas expuestas al sol de los setos orientados N-S, exhibieron mayor Pn que en los setos orientados E-O en la mañana, pero las diferencias entre orientaciones se redujeron durante el resto del día. A su vez, los setos orientados N-S presentaron mayor fotosíntesis media diaria ( $12,3 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$ ), seguida por los setos orientados NE-SO ( $11,5 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$ ), mientras que los setos NO-SE ( $11,0 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$ ) y E-O ( $11,0 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$ ), registraron los valores más bajos. Consistente con nuestros resultados, Intrieri (1998) también observó similar patrón diurno de la fotosíntesis de la canopia en plantas de vid que crecían en macetas orientadas N-S y E-O, y con valores levemente inferiores en filas E-O que N-S, como consecuencia del efecto negativo sobre la fotosíntesis de largos periodos de exposición a la radiación de las hojas expuestas en la cara S. El efecto negativo de largos periodos de exposición sobre la fotosíntesis podría explicar los valores más altos de Pn a la mañana temprano, en hojas sobre las caras E y SE de los setos orientados N-S y NE-SO, las cuales estuvieron expuestas a bajos niveles de radiación durante la tarde del día anterior.

#### **3.4.5. Temperatura de los frutos**

En los setos orientados N-S, si bien ambas caras están expuestas a iguales niveles diarios de radiación, los frutos en la cara O presentaron mayor temperatura al mediodía (temperatura frutos caras O vs. E: rango  $0,1-2,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y por la tarde (temperatura frutos caras O vs. E: rango  $2,1-5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), que los frutos en la cara E. El desacople entre radiación (igual entre caras E y O) y la temperatura (mayor temperatura de los frutos sobre la cara O que la E), es explicado por la capacidad de almacenamiento de “calor” que presentan la atmósfera y las capas superficiales del suelo (Chen et al., 1999).

El mismo desacople entre radiación y temperatura observado en los setos N-S explica las diferencias entre caras iluminadas y sombreadas en las orientaciones intermedias. Las caras SE (seto NE-SO) y SO (seto NO-SE) son iluminados durante dos tercios del día (Fig. 1.2 capítulo 1). Sin embargo, la cara SE (seto NE-SO) es

iluminada desde el amanecer hasta pasado el mediodía, presentando los frutos mayor temperatura que la cara opuesta durante este periodo (temperatura de frutos SE vs NO en el rango de 2,0-2,2 °C). Mientras, la cara SO (seto NO-SE) es iluminada desde antes del mediodía y durante toda la tarde, y así los frutos presentaron mayor temperatura que sobre la cara opuesta (NE), pero en un rango más elevado (SO v NE 2,8-4,3 °C) que el observado entre caras opuestas de los setos orientados NE-SO. Como se esperaba, en el seto E-O los frutos sobre la cara iluminada (S) presentaron mayor temperatura que la cara sombreada (N) durante todo el día, incrementando la diferencia desde la mañana hacia la tarde.

Considerando todas las caras de los setos, desde fines de verano a principios de otoño, la temperatura máxima se observó en frutos de la cara O en la tarde, mientras desde principios de otoño a cosecha, los frutos con mayor temperatura se registraron en las caras S y SO al mediodía y por la tarde, en correspondencia con la evolución de la radiación. Los frutos sobre la cara N presentaron las temperaturas más bajas durante toda la estación. Similar patrón estacional fue observado por Orlandini et al. (2005), quienes estudiaron la evolución diaria de la temperatura de frutos expuestos en los cuatro puntos cardinales (E, O, S y N) de árboles de olivo conducidos en vaso.

Las diferencias en la temperatura interna de los frutos entre las caras iluminadas S, SE y SO (promedio 27,4 °C) y las caras sombreadas N, NO y NE (promedio 25,4 °C), de los setos orientados E-O, NE-SO y NO-SE, respectivamente y entre las caras O (26,7 °C) y E (25,6 °C) del seto N-S, no estuvieron asociadas con la variación (no significativa) del peso seco ( $r=0,66$ ;  $p =0,07$ ), ni con el contenido de aceite ( $r = 0,35$ ;  $p = 0,39$ ), e IM ( $r= 0,50$ ;  $p = 0,13$ ) de los frutos en las caras de los setos. En contraste, García-Inza et al. (2014) en un experimento en olivo donde la temperatura del aire fue manipulada artificialmente, observaron que el peso seco del fruto disminuyó linealmente con el incremento de la temperatura del aire media diaria por encima de 25 °C, y que la concentración de aceite también disminuyó linealmente con el incremento de la temperatura entre 16 a 32 °C. Sin embargo, el estrecho rango de variación (2-3 °C) entre caras de distintas orientaciones, pudo no ser suficiente para afectar la tasa de crecimiento o la

duración de la fase de llenado de los frutos (Rondanini et al., 2014; Trentacoste et al., 2012). El estrecho rango de variación en la temperatura del fruto entre orientaciones, puede explicar también porque la calidad del aceite fue similar entre las caras de los setos, a pesar del demostrado efecto de la temperatura sobre el contenido de ácidos grasos del aceite (García-Inza et al., 2014; Ramli et al., 2002).

La temperatura de los frutos fue generalmente mayor que la temperatura del aire alrededor de ellos, y ambas estuvieron a su vez altamente correlacionadas. En olivo, la transpiración de los frutos es baja o nula durante la última etapa de crecimiento de los frutos, asociado a la disfuncionalidad de los estomas y a la acumulación de cera en la superficie de los frutos (Proietti et al., 1999). Así, la temperatura de los frutos próximo a cosecha parece estar principalmente controlada por la temperatura del aire durante la última etapa del desarrollo de los frutos.

#### **3.4.6. Producción, número de frutos y características de los frutos**

La producción promedio de aceite de los setos para todas las orientaciones aumentó de 0,33 t aceite/ha en la primera cosecha (2do año de crecimiento después de la plantación), a 2,27 t de aceite/ha en el tercer año, y 2,33 y 2,67 en el cuarto (2012) y quinto (2013) año de crecimiento, respectivamente (Tabla 3.14). La productividad de los setos en los últimos dos años cuando la estructura vegetativa estaba completa, estuvo dentro del rango reportado en setos de olivo en similares condiciones de crecimiento y manejo (1,8 a 2,3 t aceite/ha, Gómez-del-Campo et al., 2009; 2,2 a 3,3 t aceite/ha, Gómez-del-Campo, 2013a). En comparación con el 2012, las suaves heladas de invierno y las mayores precipitaciones en primavera en 2013, probablemente expliquen, en parte, la mayor productividad de aceite en esa temporada.

La productividad promedio de frutos durante los años 2012 y 2013 fue significativamente afectada por la orientación del seto, y dos aspectos importantes merecen especial comentario. El primero es que las orientaciones NE-SO y NO-SE (15,5 t/ha) tuvieron mayor producción de frutos que la orientación E-O (13,7 t/ha), similar a la respuesta observada en la vid por Intrieri et al. (1996) durante

---

cuatro campañas. Cuando se expresó en términos de producción de aceite, sin embargo, sólo los setos NE-SO (2,7 t aceite/ha) fueron significativamente más productivos que los setos E-O (2,3 t aceite/ha). El segundo aspecto es que la producción de frutos fue similar entre los setos N-S (15 t frutos/ha) y E-O (14 t frutos/ha), en contraste con muchos estudios en otros frutales formados en seto que reportan mayor productividad, en el orden del 20% (dependiendo de las especies y latitud, ver introducción) en setos N-S que E-O (Naylor et al., 2000; Intrieri et al., 1996 en vid; Khemira et al., 1993 en peral, Christensen et al., 1979 en manzano). En el caso específico del olivo, sólo encontramos una comparación de setos N-S y E-O por Gómez del Campo et al. (2009). Estos autores también encontraron similar producción promedio de frutos (durante dos campañas) entre setos N-S (10,4 t frutos/ha) y E-O (9,4 t frutos/ha). Pero ese estudio, aunque utilizaron similar separación (4 x 1,5 m) y cultivar 'Arbequina' a nuestro trabajo, no fue un experimento adecuadamente estructurado para la comparación estadística entre orientaciones de setos.

Los resultados contradictorios observados entre olivo y frutales en plantaciones en seto pueden ser explicados por la diferencia entre especies en el momento, la duración y la sensibilidad a la radiación de los períodos que determinan la producción. En términos de interceptación de radiación, los setos orientados N-S muestran superioridad durante el verano, y setos E-O, alrededor de los equinoccios de primavera y otoño (Annandale et al., 2004; Connor et al., 2014; Olesen et al., 2007). El cuaje y crecimiento de peras, manzanas y uvas se produce durante el periodo primavera-verano, mientras que el desarrollo de los frutos de olivo se extiende desde la antesis, a finales de primavera, hasta recolección, con máxima concentración de aceite a mediados de otoño (Rondanini et al., 2014). En adición, en las especies de hoja perenne como el olivo, la radiación interceptada en primavera y otoño-invierno juega un rol clave, vía fotosíntesis, en la disponibilidad de asimilados para la inducción floral y floración (Bustan et al., 2011). En las especies caducifolias, por el contrario, la floración en primavera es completamente dependiente de la movilización de las reservas (Oliveira y Priestly, 1988).

La producción media de aceite en las caras SE, S y NE de varias orientaciones fue significativamente mayor que en las caras NO y N, siendo estas diferencias más evidentes en 2012, cuando se realizó la cosecha de los frutos con mayor contenido en aceite (Tabla 3.15). Considerando cada orientación de seto individualmente, la productividad promedio de aceite fue significativamente diferente entre las caras de los setos orientados NE-SO (32%) y E-O (27%), pero no entre caras de los setos orientados NO-SE y N-S. La variación en la producción de aceite entre caras fue principalmente causada, como fue reportado anteriormente en setos de olivo orientados N-S por Connor et al. (2012), por el mayor impacto relativo sobre el número final de frutos ( $R^2 = 0,79$ ;  $p < 0,001$ ), que sobre el peso seco de los frutos ( $R^2 = 0,27$ ;  $p < 0,01$ ) y el contenido de aceite por fruto ( $R^2 = 0,28$ ;  $p < 0,01$ ). A su vez, la respuesta en el número de frutos en este experimento fue una consecuencia del número de yemas desarrolladas y la proporción de inflorescencias que mantuvieron al menos un fruto hasta cosecha, (Tabla 3.4). La ventaja no puede ser atribuida al número de inflorescencias por brote (es decir, yemas iniciadas) como se había observado previamente para olivares en seto (Gómez-del-Campo et al., 2009).

La distribución del número de frutos y también de la producción de aceite en los distintos estratos de los setos fue similar para todas las orientaciones y caras, con el número máximo de frutos y producción de aceite en las posiciones medias y superior de la canopia, disminuyendo hacia la base (Fig. 3.6), consistente con la distribución vertical de la radiación (Fig. 1.3; Fabbri y Benelli, 2000; Tombesi y Cartechini, 1986). Pocos frutos también se encontraron en el estrato más alto, que se caracterizó por una menor densidad de brotes, ya que el seto era discontinuo en ese estrato. Este patrón general, confirma la estrecha asociación entre el número de frutos y la producción de aceite, y enfatiza la importancia de la iluminación de la canopia y de la manipulación de la densidad de brotes a través del diseño de los setos y posterior manejo.

El peso seco de los frutos y su contenido de aceite mostraron diferencias significativas entre las caras de los setos en 2012 y 2013, pero la respuesta varió entre años, de tal manera que no hubo diferencias generales consistentes (Tabla

---

3.14). Como era esperado, valores similares en el peso y contenido de aceite entre las caras de los setos orientados N-S, son consistentes con la igual radiación interceptada en cada cara, diaria, estacional, y anualmente (Connor et al., 2009; 2012). Por el contrario, similar peso seco y contenido de aceite de los frutos sobre las caras opuestas de los setos orientados NE-SO, NO-SE y E-O, fueron alcanzados, aun cuando recibieron diferentes niveles de radiación, más evidente en los setos E-O, en los cual la cara S es más iluminadas que las N (Fig. 1.3 capítulo 1). Consistente con esto, mayor peso seco y contenido de aceite de los frutos se han observado sobre la cara S que sobre la N en un estudio realizado previo en setos de olivo orientados E-O en la misma región (Gómez-del-Campo et al., 2009). La falta de correspondencia entre patrón asimétrico de radiación con el peso y contenido de aceite de los frutos puede ser consecuencia de (i) la alta porosidad de los setos favorece la transmisión desde las caras más iluminadas hacia las caras sombreadas en los setos orientados E-O (Connor et al., 2009); (ii) la parcial compensación del peso y contenido de aceite de los frutos por menor número de frutos en las caras sombreadas (Tabla 3.14) (Trentacoste et al., 2010); y (iii) la translocación de asimilados dentro del seto a posiciones de la canopia con baja iluminación (Proietti y Tombesi, 1996).

Los perfiles verticales del peso seco y contenido de aceite de los frutos sobre ambas caras de los setos N-S y sobre la cara N de los setos E-O (Fig. 3.6) mostraron valores máximos en el estrato más alto, disminuyendo linealmente a baja tasa hasta valores mínimos en la base de los setos, en estrecha asociación con la reducción de radiación en los estratos inferiores del seto (Fig. 1.2 capítulo I; Connor et al., 2012; 2014). En ambas caras de los setos orientados NE-SO y NO-SE, y también sobre caras S de los setos E-O, el peso seco y el contenido de aceite de los frutos disminuyó marcadamente desde el estrato más alto hasta la mitad superior del seto, mientras permanecieron bajos y estables en la mitad inferior del seto (de 0 a ~ 1,4 m de la altura de la canopia, Fig. 3.6). La falta de respuesta del peso de los frutos en la mitad inferior de los setos orientados NE-SO, NO-SE y E-O, pero no en los setos orientados N-S, podría ser consecuencia de la limitada disponibilidad de asimilados durante la primera etapa de crecimiento de los frutos (i.e. verano). En vid, Dokoozlian y Kliewer (1996) encontraron que la reducción en

---

el tamaño de las bayas en respuesta a la exclusión de radiación durante las fases I y II de crecimiento de los frutos no fue revertida por la iluminación de los frutos en la etapa III. Experimentos con sombreo artificial en diferentes momentos durante el crecimiento de los frutos son aún necesarios en olivos para verificar esta hipótesis.

El índice de madurez no fue significativamente diferente entre orientaciones de setos o caras de los setos (Tablas 3.15, 3.16), en contraste con un estudio previo de Gómez-de-Campo et al. (2009), que reportaron más rápido coloración de frutos de olivo cv. 'Arbequina' en setos E-O que setos cercanos orientados N-S. Nuestros resultados pueden estar influenciados por el bajo índice de madurez (IM medio 0,65, Tabla 3.15) en la cosecha 2013, que no pudo ser atrasada debido al riego de heladas tempranas en otoño. No sólo el índice de madurez medio, sino también la homogeneidad de la madurez de los frutos en los setos, es importante en la planificación de la cosecha. En las mediciones realizadas en este trabajo, los frutos presentaron similar disminución lineal del IM desde el estrato más alto hacia la base de los setos, en ambas caras de los setos orientados N-S y NE-SO, mientras que las caras que tiende hacia el S en setos E-O y NO-SE mostraron mayor IM que sus caras opuestas, en correspondencia con la mayor temperatura interna de los frutos (Fig. 3.5). Los frutos sobre las caras S y SO mostraron el índice de madurez más uniforme, como se muestra por la menor pendiente, y por lo tanto, menor cambio con la altura del seto (Fig. 3.6).

La concentración de agua de los frutos de los setos orientados N-S fue significativamente mayor que las otras orientaciones. En todos los setos, la concentración de agua de los frutos aumentó linealmente desde la parte superior hacia la base. La tasa de disminución fue mayor ( $\sim 2,0\%$  / m de altura de seto, Fig. 3.7) en los setos N-S, NE-SO y NO-SE que en E-O ( $\sim 1,6\%$  / m de altura de seto, Fig. 3.7), llevando a una menor concentración media de agua de los frutos en cosecha en los setos E-O. Alta concentración de agua de los frutos es desventajosa durante su procesamiento en la almazara porque este puede (1) causar la formación de emulsiones que reducen la extractabilidad de aceite (Motilva et al., 2000) y (2) también puede aumentar la pérdida de compuestos solubles

importantes en la calidad de los aceites, como son los polifenoles en la fase acuosa (Di Giovacchino et al., 1994). Así, el muestreo de frutos apropiado para la determinación del contenido de agua y del índice de madurez debería considerar todo el perfil de la canopia en las plantaciones conducidas en seto.

#### **3.4.7. Calidad del aceite**

A pesar de las diferencias en temperatura y radiación a la que estuvieron expuestos los frutos durante su crecimiento, el perfil de ácidos grasos mayoritarios de los aceites obtenidos en ambas caras de los setos no fue significativamente afectado por la orientación del seto (Tabla 3.19). Nuestros resultados contrastan con el único trabajo encontrado sobre el efecto de la orientación del seto sobre la calidad del aceite en olivo (Gómez-del-Campo y García, 2012). Los autores evaluaron la composición de aceite en ambas caras y diferentes alturas de olivares en seto (cv Arbequina) orientados N-S y E-O, en el Sur y el Centro de España (latitudes 37,5-39,9 °N) y detectaron que el aceite extraído de las frutos sobre las caras E (seto N-S) y N (seto E-O) presentaron significativamente mayor contenido de ácido oleico y palmítico y menor contenido de ácido linoleico que las caras O y S. En un amplio rango de especies oleaginosas, ha sido demostrado el predominante control genético sobre la composición ácido grasos de los aceite (Aguirrezábal et al., 2009), y probablemente se requiere mayor contraste ambiental (un sólo año y setos con porosidad elevada en nuestro estudio) para verificar la relación entre composición, radiación y temperatura (García-Inza et al., 2014).

### **3.5. Conclusiones**

En este capítulo demostramos, que la producción de frutos y aceite responden a la orientación de filas en olivares conducidos en seto con similares dimensiones y espaciamiento. Los setos orientados NE-SO produjeron significativamente más frutos y aceite que las otras tres orientaciones ensayadas, mientras que no hubo diferencias en la producción de frutos y aceite en la comparación entre las orientaciones más contrastantes N-S y E-O. Hubo, sin embargo, diferencias en la producción entre las caras de los setos, algunos de los cuales fueron luego enmascarados en su conjunto del seto entre las orientaciones. La producción de aceite en las caras SE, S y NE fue significativamente mayor que en NO y N. De esta

---

manera, hubo diferencias significativas en la productividad de aceite entre caras opuestas de los setos orientados NE-SO (32%) y E-O (27%), pero no en las orientaciones NO-SE y N-S. Las diferencias en la producción de aceite entre las caras fueron explicadas principalmente por el número de frutos que a su vez fueron consecuencia de más yemas desarrolladas y un mayor porcentaje de inflorescencias que al menos un fruto hasta la cosecha.

Los frutos que crecieron y desarrollaron sobre las caras más iluminadas (S, SO y SE) de los setos E-O, NO-SE y NE-SO, respectivamente, presentaron mayor temperatura que los frutos sobre las caras opuestas. Adicionalmente, a iguales niveles de radiación, la temperatura de los frutos fue más alta cuando la pared del seto fue expuesta durante la tarde que a la mañana, así los frutos fueron más caliente sobre la cara O que la cara E (seto N-S), y mayores diferencias entre caras opuestas se observaron en las caras SO y NE (seto NO-SE) que entre caras opuestas SE y NO del seto orientado NE-SO. A pesar de las diferencias en la temperatura de los frutos y radiación incidente sobre la canopia, la calidad del aceite en términos de perfil de ácidos grasos no fue diferente entre caras dentro de cada orientación de los setos, ni entre orientaciones.

Los resultados que aquí se presentan a nivel de cultivo proporcionan información sobre el papel potencial de las relaciones lumínicas en el desarrollo del rendimiento de olivares en seto que experimentan grandes diferencias diurnas, diarias y estacionales en la intercepción de la radiación por las paredes de los setos en la respuesta a la orientación. Las respuestas de los parámetros evaluados a la radiación se ven más claramente en los perfiles verticales de los componentes del rendimiento en las caras opuestas de los setos, que sobre la productividad en frutos y aceite del seto entero. El estudio de los perfiles verticales de los componentes del rendimiento, sugieren el análisis del rol de la porosidad en la radiación interna de los setos y también el ajuste del ancho de calle en relación con la orientación de las filas para reducir las grandes diferencias que son producidas en la intercepción de la radiación debidas a la orientación.

## **IV. Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto al ancho de calle, en setos orientados N-S y E-O**

### **4.1. Introducción**

La información experimental de los efectos del ancho de calle sobre la producción y calidad son limitados en olivo y basados principalmente en el modelado de las respuestas del rendimiento a la radiación (Connor y Gómez-del-Campo, 2013). En el capítulo anterior, se presentaron los resultados del experimento de campo con cuatro orientaciones de seto, cada uno con la misma relación altura del seto/ancho de calle libre, y discutimos el rol de las relaciones lumínicas en la determinación de la producción de aceite. Aquí, se estudia el efecto del ancho de calle sobre la productividad y calidad del aceite en setos orientados N-S y E-O. El impacto del ancho de calle en combinación con orientaciones de fila se ha estudiado sólo en términos de captura radiación con modelos matemáticos, pero no experimentalmente (Cain, 1972; Olesen et al., 2007; Palmer, 1989). Estos autores estimaron que (i) el aumento del ancho de calle reduce la interceptación de radiación anualmente más marcado en setos orientados E-O que setos N-S, (ii) mayor espaciamiento mejorar la distribución de la radiación dentro de la canopia de setos orientados N-S pero no en setos E-O y (iii) la orientación de los setos tiene menos importancia en setos con reducido ancho de calle que setos espaciados. Dado el efecto simulado del ancho de calle y la orientación del seto en la interceptación de la radiación solar, hay razón para proponer un efecto significativo del ancho de calle en la producción de aceite y la necesidad de experimentación para perfeccionar el diseño del seto.

Los objetivos de este capítulo fueron determinar el impacto del ancho de calle sobre la producción y calidad del aceite y las contribuciones de las caras opuestas en setos experimentales orientados N-S y E-O. Las contribuciones de las caras

---

individuales fueron evaluados como perfiles verticales de los componentes del rendimiento (número, tamaño y contenido de aceite), características del fruto (contenido de agua de fruta y madurez), y atributos de calidad del aceite. Para lograr un entendimiento más profundo del impacto de alta relación Al/An sobre la productividad de los setos, los perfiles de crecimiento de los brotes y componentes reproductivos fueron también evaluados en setos con Al/An >1,5.

## **4.2. Materiales y métodos**

### **4.2.1. Características del ensayo**

El ensayo se realizó en una parcela experimental de olivos en seto (cv. Arbequina) establecida en la primavera de 2008, dentro de una finca comercial en el municipio de La Puebla de Montalbán (39° 53' N, 4° 27' O, 479 msnm), Toledo. Dos ensayos, separados por unos 100 m, se establecieron con filas orientadas Norte-Sur (N-S) en uno y Este-Oeste (E-O) en el otro. En cada ensayo se plantaron olivos con tres anchos de calle (5,0, 4,0 y 2,5 m) y la misma distancia entre árboles (1,3 m) dentro de la fila. La densidad de árboles correspondiente es 1538, 1923 y 3077 árboles/ha, respectivamente. Cada tratamiento de ancho de calle consistió de 3 filas contiguas de 48 árboles, de las cuales la fila central se utilizó para el estudio.

El ensayo fue manejado siguiendo las prácticas de cultivo estándares para este tipo de plantaciones. Los setos se regaron desde Marzo hasta mediados de Octubre usando una línea de goteo por fila con emisores a 0,5 m de separación y descarga de 3,0 L/h. La fertirrigación fue utilizada aplicando la cantidad de nutrientes necesarios determinados por análisis foliar. La poda consistió en la eliminación de las ramas que se extendían hacía la calle y un “topping” mecánico a una altura de 2,5 m en los inviernos 2012 y 2013.

### **4.2.2. Clima y suelo**

El clima de la región es semiárido con una precipitación anual de 359 mm concentrada durante el periodo otoño-primavera, y temperatura media anual de 16,0 °C. Las condiciones meteorológicas durante el período experimental fueron descritas en el Capítulo 3 (apartado 3.2.2).

---

Si bien los dos ensayos estaban próximos, existieron algunas diferencias en el tipo de suelo entre las parcelas. En el ensayo con setos N-S, el suelo tenía textura franco-arcillosa en tres horizontes definidos, un horizonte A (0-0,20 m de profundidad), un horizonte Bt (0,20-0,50 m) y horizonte C con alto porcentaje de carbonatos, formando una capa endurecida donde la penetración de raíces estaba impedida. En los setos E-O el suelo también tenía textura franco-arcillosa y 3 horizontes distinguibles (A, Bt y C), pero los dos horizontes superiores (A y Bt, 0-0,50 m de profundidad) presentaban alto contenido de grava (35%).

#### **4.2.3. Parámetros evaluados**

##### **4.2.3.1. Estructura vegetativa del seto**

La altura de los árboles se midió anualmente desde plantación hasta el año 2011 en 3 árboles por parcela, con el fin de establecer cuándo la canopia de los árboles alcanzaba la altura predeterminada (es decir 2,5 m). La estructura de los setos se describió detalladamente en 2 árboles por tratamiento inmediatamente después de la cosecha 2012 y 2013. Para ello, se midió la altura superior e inferior de la canopia en 3 posiciones por árbol, cerca del tronco y a 0,5 m a cada lado del tronco. El ancho del seto se midió a 0,5, 1,0 y 1,5 m de altura y en 3 posiciones de los mismos árboles. El área de superficie externa y volumen de canopia se calculó utilizando una forma rectangular del seto. La porosidad horizontal se estimó por el paso de un haz de luz de un puntero láser (potencia máxima <300 mW; longitud de onda de 532 nm  $\pm$ 10) horizontal a la canopia y sobre un panel blanco ubicado normal al seto. En cada orientación de seto, 150 repeticiones se tomaron al azar en la mitad de la canopia (1,0 - 1,7 m de altura). La porosidad horizontal (%) se calculó como la proporción de haces de luz que atravesaron el seto.

##### **4.2.3.2. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento**

El crecimiento de brotes y los componentes reproductivos del rendimiento se registraron durante los años 2013 y 2014 en tres árboles de los setos con menor ancho de calle (2,5 m) y en los dos ensayos (N-S y E-O). Tres brotes fueron seleccionados al azar y etiquetados para la medición de la longitud del tallo y número de yemas. Los brotes fueron seleccionados de 5 posiciones de la canopia:

---

0,0-0,4m; 0,4-0,8 m; 0,8-1,2 m; 1,2-1,6 m y 1,6-2,0 m de altura desde el suelo y en cada cara de los árboles seleccionados. El número de inflorescencias por brote fue cuantificado en Mayo, el número de frutos por brote y las inflorescencias que presentaba al menos un fruto se determinaron en Junio, y, finalmente, se midieron las longitudes totales de nuevos brotes en Octubre. Estas observaciones se utilizaron para calcular el crecimiento anual de brotes, el total de yemas desarrolladas en brotes de 1 año de edad, el porcentaje de yemas que se desarrolló en inflorescencia (yemas iniciadas), el porcentaje de inflorescencia con al menos un fruto (porcentaje de inflorescencia fértiles), el número de frutos por inflorescencia fértil y el número medio de frutos por yema desarrollada.

#### **4.2.3.3. Seguimiento de maduración**

La evolución del crecimiento de los frutos y de sus características, fue estudiada partir de cuatro muestras de 25 g extraídas a intervalos regulares desde 21 Agosto hasta 5 Noviembre en el año 2012 y desde 7 Agosto hasta 29 Octubre en el año 2013, de cada cara de los setos y en cada ancho de calle y orientación evaluadas. Las muestras fueron tomadas a 1,2 m de altura, evitando los árboles seleccionados para la cosecha. Los frutos fueron embolsados y colocados en una nevera portátil hasta su procesamiento. Las muestras fueron pesadas en fresco y el índice de madurez (IM) determinado, basado en color de la piel y la pulpa (Uceda y Frías, 1975). Luego, los frutos se secaron en una estufa con aire forzado a 105 °C durante 42 h con el fin de determinar el peso seco del fruto y el contenido de agua. El contenido de aceite de los frutos se midió en las muestras secas por resonancia magnética nuclear (Minispec MQ-10; Bruker, Madison, WI, EE.UU.), utilizando el método descrito por del Río y Romero (1999).

#### **4.2.3.4. Producción, número de frutos y característica de los frutos**

En cada ensayo, los frutos fueron cosechados individualmente de 3 árboles por tratamiento de ancho de calle, el 19 y el 28 de Octubre de 2010 y 2011, respectivamente (es decir, 2 y 3 años después de la plantación). Cuatro muestras de 25 g de cara árbol se pesaron en fresco, luego se determinó el IM, peso seco, contenido de aceite y de agua siguiendo el protocolo explicado anteriormente. El

---

número de frutos por metro lineal de seto se estimó como el cociente del peso total de la cosecha y el peso medio fresco del fruto. La producción de aceite se estimó como el producto del número de frutos y el contenido de aceite de los frutos.

El 5 de Noviembre 2012 y 29 de Octubre 2013, todos los frutos de 3 árboles de cada tratamiento de ancho de calle fueron cosechados por separado de cada cara de los setos y en 5 estratos: 0-0,4, 0,4-0,8, 0,8-1,2, 1,2-1,6 y 1,6 -2,0 m de altura del seto desde el suelo. Por encima de 2,0 m, donde los setos eran discontinuos, los frutos fueron cosechados de ambas caras y agrupados en una sola muestra. La producción de frutos de cada estrato se pesó inmediatamente. El peso, contenido de aceite, contenido de gua, índice de madurez, número de frutos y producción de aceite se determinaron a partir de 3 muestras de 25 g de cada estrato, siguiendo los procedimientos descritos anteriormente. La producción de aceite y el número de frutos en el estrato más alto fueron considerados iguales en cada cara del seto. Para obtener para cada cara u orientación, el valor promedio del peso seco del fruto, contenido de aceite, contenido de agua e IM, los valores determinados en cada estrato fueron ponderados por el número de frutos de ese mismo estrato y luego se obtuvo la suma de los estratos de toda la cara u orientación.

#### **4.2.3.5. Calidad del aceite**

Los frutos recolectados en cada estrato (altura y cara del seto) de tres árboles por tratamiento, se combinaron en una única muestra para ese estrato. Cuando la muestra recolectada de cualquier estrato era inferior a 2 kg, se completó con frutos (misma altura y cara del seto) de árboles adyacentes. El aceite se extrajo y analizó proporcionando una medición para cada combinación de altura y cara en cada ancho de calle y en los ensayos N-S y E-O.

El aceite de cada muestra se extrajo utilizando el sistema Abencor (Comercial Abengoa SA, Sevilla, España) previamente explicado en el capítulo 3. Los aceites fueron enviados a laboratorio para la determinación de la composición de ácidos grasos, estabilidad oxidativa (método Rancimat) y polifenoles totales, siguiendo los protocolos incluidos en la normativa de la Unión Europea. Los datos presentados aquí son para los principales ácidos grasos (número de carbonos: insaturaciones):

---

palmítico (16:0), palmitoleico (16:1), esteárico (18:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2). La estabilidad oxidativa expresa el valor en horas de resistencia del aceite a la oxidación.

#### **4.2.4. Análisis estadístico**

Los datos de cada ensayo (orientación de seto) fueron sometidos de forma independiente a análisis de varianza usando Infostat versión 1.5. Los efectos del ancho de calle sobre los parámetros medidos se compararon mediante un diseño en bloque completamente aleatorizado con 3 repeticiones, mientras que el efecto de las caras se analizó mediante un modelo de parcelas divididas. Los promedios fueron separados utilizando la prueba de MDS para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Se utilizó un análisis de regresión para determinar la asociación entre la altura de los estratos en la canopia y los parámetros observados. El mejor ajuste y la igualdad entre el conjuntos de coeficientes de las regresiones para cada cara de los setos se testearon utilizando GraphPad Prism versión de software 5.01. Cuando las regresiones para ambas caras de cada seto no fueron significativamente diferentes a  $p < 0,05$ , se combinaron en una sola regresión.

### **4.3. Resultados**

#### **4.3.1. Estructura vegetativa del seto**

La altura media de los setos en ambas orientaciones incrementó de manera similar en los tratamientos de anchos de calle. En los setos N-S, los árboles en la plantación (2008) tenían una altura  $0,63 \pm 0,04$  m, incrementando notablemente a  $1,42 \pm 0,15$  m en 2009,  $1,95 \pm 0,06$  m en 2010 y  $2,35 \pm 0,08$  m en el año 2011, cuando los árboles alcanzaron la altura aproximada de 2,5 m, compatibles con las dimensiones de la cosechadora. En los setos E-O, los árboles tenían  $0,72 \pm 0,05$  m de altura en 2008, aumentó a  $1,50 \pm 0,18$  m en 2009,  $1,80 \pm 0,17$  m en 2010 y  $2,43 \pm 0,09$  m en 2011, alcanzando también los 2,5 m a partir del 2012. Es importante destacar que la canopia de los setos formaron una pared continua en la primavera 2012 (4 años después de la plantación).

En el ensayo con filas orientadas N-S, los setos fueron más altos y anchos cuando el ancho de calle fue de 4,0 y 2,5 m, en comparación con el ancho de calle de 5,0 m en el 2012, pero las dimensiones de los setos (altura, ancho y porosidad) no se vieron afectados significativamente por el ancho de calle en 2013, después de la poda en invierno de 2012 (Tabla 4.1). Las dimensiones de los setos con filas orientadas E-O, no variaron significativamente con el ancho de calle en ninguno de los años (Tabla 4.2).

El ancho de las calle afectó significativamente la relación (Al/An) altura del seto/ancho de calle libre, aumentando en ambos ensayos desde 0,6 a 0,8 y 1,6 al reducir el ancho de calle de 5,0 a 4,0 y 2,5 m, respectivamente (Tablas 4.1 y 4.2). Durante las estaciones de crecimiento 2012-2013, la superficie externa y el volumen de la canopia incrementaron significativamente, y de manera similar, en ambas orientaciones, N-S y E-O. El volumen de canopia y el área de superficie externa a nivel de hectárea en los setos con anchos de calle de 2,5 m (promedio para las dos orientaciones 13914 m<sup>2</sup>/ha y 6697 m<sup>3</sup>/ha) y 4,0 m (promedio 13914 m<sup>2</sup>/ha y 6697 m<sup>3</sup>/ha) fueron en promedio 107% y 39% superiores que en los setos con ancho de calle de 5,0 m (promedio 10334 m<sup>2</sup>/ha y 4695 m<sup>3</sup>/ha), respectivamente.

**Tabla 4.1.** Estructura de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S durante los años 2012 y 2013. Cada valor corresponde al promedio de 8 mediciones.

Año	2012			2013		
	5,0 m	4,0 m	2,5 m	5,0 m	4,0 m	2,5 m
Altura del seto (m)	2,2b	2,7a	2,6a	2,4	2,5	2,4
Base del seto (m)	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
Ancho de la canopia (m)	0,9b	1,0a	1,0a	1,3	1,3	1,2
Altura /ancho calle libre (Al/An)	0,4c	0,8b	1,6a	0,5b	0,8b	1,5a
Porosidad horizontal (%)	18	19	18	19	18	21
Superficie externa (m <sup>2</sup> /m lineal)	4,5b	5,9a	5,8a	5,2	5,3	5,2
Volumen de canopia (m <sup>3</sup> /m lineal)	1,6b	2,5a	2,4a	2,6	2,6	2,3
Superficie externa (m <sup>2</sup> /ha)	9076c	14795b	23074a	10459b	13110b	20620a
Volumen canopia (m <sup>3</sup> /ha)	3145c	6374b	9720a	5213b	6413b	9284a

Promedios para cada espaciamiento en cada año seguidos por igual letra son no significativamente distintos a un  $p < 0,05$  usando el test MDS.

**Tabla 4.2.** Estructura de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O durante los años 2012 y 2013. Cada valor corresponde al promedio de 8 mediciones.

Año	2012			2013		
	5,0 m	4,0 m	2,5 m	5,0 m	4,0 m	2,5 m
Ancho de calle	5,0 m	4,0 m	2,5 m	5,0 m	4,0 m	2,5 m
Altura del seto (m)	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4
Base del seto (m)	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4
Ancho de la canopia (m)	1,1	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3
Altura/ancho calle libre (Al/An)	0,6c	0,8b	1,7a	0,5b	0,8b	1,5a
Porosidad horizontal (%)	23	22	22	19	18	21
Superficie externa (m <sup>2</sup> /m lineal)	5,8	5,7	5,6	5,1	5,4	5,0
Volumen de canopia (m <sup>3</sup> /m lineal)	2,6	2,9	2,5	2,6	2,7	2,4
Superficie externa (m <sup>2</sup> /ha)	11600c	14250b	22400a	10200c	13500b	20050a
Volumen canopia (m <sup>3</sup> /ha)	5200c	7250b	10097a	5221c	6750b	9600a

Promedios para cada espaciamiento en cada año seguidos por igual letra son no significativamente distintos a un  $p < 0,05$  usando el test MDS.

#### 4.3.2. Crecimiento de brotes y componentes del rendimiento

El crecimiento y desarrollo de los brotes de 1 año fueron medidos en 5 alturas de la canopia en cada cara de los setos con ancho de calle más estrecho (2,5 m) y orientados N-S y E-O (Tabla 4.3 y 4.4, respectivamente). En el promedio de los dos años estudiados, el crecimiento y desarrollo estuvo más afectado por la posición del brote en el ensayo con setos orientados N-S que en E-O.

En el ensayo con **setos orientados N-S**, el crecimiento de los brotes disminuyó progresivamente en ambas caras del seto, desde el estrato superior (1,8 m de altura desde el suelo) hacia la base de la canopia. Los brotes crecieron significativamente más entre 1,0 y 1,8 m de altura de la cara E y a 1,8 m altura de la cara O (media 4,0 cm) que los brotes de la base en las caras E y O (media 0,68 cm). Consecuentemente, se desarrolló mayor número de yemas en los brotes ubicados en el estrato superior de la canopia (>1,6 m de altura desde el suelo) que los brotes ubicados por debajo de 1,0 m de altura. Similar patrón ocurrió en las caras E y O. El porcentaje de yemas invernales que desarrollaron en inflorescencias fue similar en los brotes que se encontraban entre 0,6 y 1,8 m de altura sobre la cara E y entre 1,0 y 1,8 m en la cara O, y a su vez fue significativamente más alto que el porcentaje de yemas desarrolladas en inflorescencias, en los brotes de base del seto. El porcentaje de inflorescencias que cuajó al menos un fruto no fue afectado

significativamente por la posición de los brotes en la canopia, al igual que el número de frutos por inflorescencia fértil.

En el ensayo con **setos orientados E-O**, el número de yemas desarrolladas por brote y el porcentaje de inflorescencias fértiles fue afectado por la posición de los brotes de la canopia, pero no el crecimiento de los brotes, el porcentaje de yemas iniciadas, frutos por inflorescencias fértiles y el número de frutos por yema desarrollada. El número de yemas por brote fue más alto en los estratos superiores del seto y disminuyó hacia la base del seto, sin diferencias estadísticas entre caras S y N en cada altura. El porcentaje de inflorescencias que cuajaron al menos un fruto fue más alto en los brotes ubicados a 1,4 m altura desde el suelo en la cara S (45%), en comparación con los brotes de la base S (24%) y los brotes ubicados por debajo de 1,0 m de altura de la cara N (media 25%).

Como resultado final, en el ensayo con **setos orientados N-S** y con relación Al/An = 1,6, promedio de los 2 años, el número de frutos por yema desarrollada fue similar entre 0,6-1,8 m de altura en ambas caras del seto (media 0,36) y significativamente más alto que en las bases del seto (media 0,18). En este seto, no hubo diferencias en el número de frutos por yema desarrollada entre las caras E y O, en cada altura del seto estudiado. En contraste, en el ensayo con **setos orientados E-O** y con relación Al/An = 1,6, promedio de los 2 años, el número de frutos por yema desarrollada fue similar en todas las alturas muestreadas y sin diferencias entre las caras S y N.

**Tabla 4.3.** Crecimiento de brote y componentes del rendimiento en ambas caras de olivares en seto plantados, con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas N-S, durante los años 2013 y 2014.

Fuente variación		Crecimiento brotes (cm)		Yemas desarrolladas/brote		Yemas iniciadas (%)		Inf. <sup>a</sup> fértiles (%)		Frutos/Inf. fértil		Frutos/yema desarrollada	
Año	Altura (m)	E	O	E	O	E	O	E	O	E	O	E	O
2013	1,8	2,08b	5,93a	15,3 b	18,7 a	93,9 ab	68,6 cd	58,3	39,6	1,4	1,6	0,68a	0,39c
	1,4	1,90b	2,56ab	15,3 b	13,8 bc	83,4 abc	76,9 bcd	47,9	49,7	1,4	1,3	0,51abc	0,47abc
	1,0	3,00ab	2,02b	14,5 b	11,5 cd	88,2 abc	75,9 bcd	54,7	58,6	1,3	1,5	0,64a	0,61ab
	0,6	1,93b	3,31ab	13,2 bcd	11,5 cd	99,1 a	76,3 bcd	46,5	55,5	1,3	1,4	0,55abc	0,53abc
	0,2	0,66b	1,15b	12,7 bcd	10,7 d	79,1 abcd	59,1 d	44,8	42,5	1,4	1,4	0,40bc	0,37c
2014	1,8	6,05a	2,61abcd	13,2a	10,5b	40,7ab	58,8a	25,1	58,6	1,4	1,2	0,13bc	0,39a
	1,4	6,68a	2,50bcd	10,2bc	9,0bcde	37,7abc	36,8abc	27,7	42,9	1,1	1,2	0,18bc	0,28ab
	1,0	5,05abc	2,93abcd	9,2bcd	6,7ef	30,3bc	58,7a	31,7	35,6	1,3	1,2	0,19abc	0,30ab
	0,6	4,39abcd	1,99bcd	6,3f	6,8def	27,4bcd	27,8bcd	34,7	36,9	1,1	1,1	0,16bc	0,13bc
	0,2	1,42cd	0,58d	6,7ef	8,0cdef	3,8d	14,4cd	12,5	10,0	0,9	1,0	0,04c	0,03c
Media	1,8	4,02a	4,22a	14,1a	14,5a	64,5a	61,4a	41,0	48,4	1,4	1,3	0,38a	0,37a
	1,4	4,02a	2,26ab	12,5ab	11,2bcd	58,4ab	54,7abc	36,5	45,1	1,2	1,2	0,32ab	0,34ab
	1,0	3,76a	2,21ab	11,6bc	8,8d	57,1ab	65,2a	42,0	45,8	1,3	1,3	0,39a	0,43a
	0,6	2,90ab	2,39ab	9,5cd	8,9d	61,2a	49,9bcd	39,4	45,0	1,2	1,2	0,33ab	0,31ab
	0,2	0,77b	0,60b	9,4cd	9,1d	36,4bc	34,6c	27,4	25,0	1,2	1,1	0,19b	0,17b

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre estratos dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ . Análisis de comparación de medias sólo se presenta cuando hubo efecto significativo del parámetro. <sup>a</sup> Inf. = inflorescencia

**Tabla 4.4.** Crecimiento de brote y componentes del rendimiento en ambas caras de olivares en seto, plantado con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas E-O, durante los años 2013 y 2014.

Fuente variación		Crecimiento brotes (cm)		Yemas desarrolladas/brote		Yemas iniciadas (%)		Inf. <sup>a</sup> fértiles (%)		Frutos/ Inf. fértil		Frutos/yema desarrollada	
Año	Altura (m)	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
2013	1,8	1,28	1,62	19,8a	19,8a	85,4	77,3	40,7	44,9	1,5	1,3	0,53	0,43
	1,4	2,13	1,96	18,2ab	19,3ab	92,0	83,0	43,0	47,9	1,3	1,3	0,53	0,45
	1,0	1,69	1,98	16,3c	16,8bc	80,7	83,3	41,6	40,2	1,3	1,4	0,45	0,43
	0,6	1,32	1,55	16,8bc	16,5c	89,2	86,6	46,6	45,5	1,3	1,3	0,53	0,46
	0,2	1,38	1,83	17,0bc	12,7d	70,9	74,8	35,8	42,3	1,3	1,0	0,35	0,40
2014	1,8	13,9a	4,45bc	14,6a	14,6a	32,7abc	47,0a	26,1bc	41,5ab	1,1	1,0	0,11abcd	0,26a
	1,4	13,7a	7,8abc	14,2a	12,0ab	32,8ab	37,3ab	51,3a	20,9bcd	1,3	1,2	0,23a	0,12abcd
	1,0	10,5ab	10,6ab	8,8bc	9,5bc	27,1abc	14,7bcd	22,0bcd	16,7bcd	1,6	0,9	0,17ab	0,04cd
	0,6	7,9abc	7,3abc	9,8b	6,3cd	26,6abc	8,3cd	35,5ab	6,25cd	0,9	0,9	0,14abc	0,06bcd
	0,2	4,8bc	2,8c	6,3cd	4,3d	25,0abcd	1,4d	15,8bcd	2,6d	1,0	1,1	0,14abc	0,01d
Media	1,8	8,31	4,87	17,0a	17,4a	56,2	60,4	31,8abc	39,6ab	1,3	1,1	0,30	0,31
	1,4	7,91	5,83	16,0ab	15,5abc	59,2	57,0	45,6a	32,9abc	1,3	1,1	0,36	0,26
	1,0	7,34	7,22	12,4cd	13,0bcd	50,7	45,8	30,3abc	26,9bc	1,3	1,2	0,28	0,21
	0,6	5,58	5,38	13,1bcd	11,2de	54,7	44,3	39,5ab	24,4bc	1,1	1,1	0,31	0,24
	0,2	4,11	3,25	11,5de	8,3e	44,8	34,9	24,3bc	22,6c	1,1	1,0	0,24	0,19

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre estratos dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ . Análisis de comparación de medias sólo se presenta cuando hubo efecto significativo del parámetro. <sup>a</sup> Inf. = inflorescencia

### 4.3.3. Producción y características de los frutos

#### 4.3.3.1. Producción y características de los frutos de los setos

La producción de aceituna y aceite y característica de los frutos (contenido de agua e índice de madurez) en los ensayos N-S y E-O, en las cosechas 2010 a 2013 se presentan en las Tablas 4.5 y 4.6, respectivamente.

En el **ensayo N-S**, el ancho de calle no afectó significativamente a la producción de frutos y aceite de los árboles individuales desde el primer año productivo de los setos (2010, 2 años después de la plantación) hasta la cosecha 2012. En la cosecha 2013, la producción de frutos y de aceite por árbol fueron, sin embargo, significativamente inferiores en setos con el menor ancho de calle (2,5 m) en comparación a los setos con el mayor ancho de calle (5,0 m), i.e. 1,0 kg vs. 1,6 kg de aceite/árbol, respectivamente. En consecuencia, la producción de aceite por hectárea aumentó inversamente con el ancho de calle en 2010, 2011 y 2012 (producción de aceite acumulada para este periodo = 3,4 vs. 5,9 t de aceite/ha, en setos a 5,0 y 2,5 m respectivamente), sin embargo la tendencia no continuó en 2013. Durante todo el periodo de 4 años de estudio (2010-2013), los setos con ancho de calle de 2,5 m produjeron 30% más aceite que con ancho de 4,0 m, y 52% más que con ancho de 5,0 m, a nivel de hectárea. La concentración de aceite en base a fruto fresco y la concentración de agua de los frutos fueron significativamente afectadas por el ancho de calle, con excepción del año 2010. Los frutos de los setos con calle más estrecha (2,5 m) registraron menor concentración de aceite y mayor concentración de agua que los setos con anchos de calle de 4,0 y 5,0 m en las cosechas 2011 y 2013, pero no hubo diferencia entre ellos en la cosecha 2012.

En el **ensayo E-O**, la producción de frutos y aceite por árbol fue similar entre anchos de calle en el primer año productivo (2010), a partir de ese año y hasta el 2013, tanto la producción de frutos y como la de aceite de los árboles individuales incrementó significativamente con el aumento del ancho de calle. En consecuencia, la producción de aceite acumulada durante los 4 años a nivel de hectárea, no fue afectada por la reducción del ancho de calle. Los setos espaciados a 2,5 m (9,3 t

---

aceite/ha) produjeron 17% más aceite que los setos espaciados a 4,0 m (8,40 t aceite/ha) y 37% más que los setos con calles de 5,0 m (7,2 t aceite/ha), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p = 0.11$ ). Considerando sólo el último año de cosecha (año 2013), las diferencias relativas entre tratamientos fueron similares que en el acumulado de los 4 años, aunque en este año fueron estadísticamente significativas (setos con calle de 2,5 m produjo 32% más aceite que los setos con calles de 5,0 m). La concentración de aceite de los frutos (% peso fresco) fue superior en los setos espaciados a 5,0 y 4,0 m respecto a 2,5 m en el año 2011, mientras que la concentración de agua de los frutos fue mayor en setos con ancho de calle de 4,0 m, respecto a los setos a 2,5 m en el año 2012.

Durante todo el período experimental, el índice de madurez (IM) fue la única característica de los frutos no significativamente afectada por el ancho de calle, en ambos ensayos. Cabe destacar, sin embargo, que a pesar de que las cosechas se realizaron en fechas similares durante el periodo 2010-2013, el IM y el contenido de aceite fueron marcadamente más bajos en 2013, tanto en el ensayo N-S, como en el E-O. Durante el período 2010-2012, los frutos fueron cosechadas en enero (menos de la mitad de su superficie color “negra”, promedio IM = 1,5), pero en 2013 con IM promedio = 0,55 (color de la piel verde-amarillo).

**Tabla 4.5.** Producción de frutos y aceite y característica de los frutos afectados por el ancho de calle en olivares en seto orientados N-S durante las estaciones 2010, 2011, 2012 y 2013.

Ancho de calle (m)	Producción de frutos (kg/árbol)				Producción de aceite (kg/árbol)				Producción de aceite (t/ha) Anual				Acumulado 2010-13
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
5,0	0,8ns	5,9ns	4,6ns	10,1a	0,14ns	1,2ns	0,9ns	1,6a	0,22ns	1,9b	1,3b	2,4ns	5,89b
4,0	0,3	5,5	4,8	8,6ab	0,05	1,2	0,9	1,3ab	0,09	2,2ab	1,9ab	2,5	6,74b
2,5	0,9	5,0	4,5	6,3b	0,15	1,0	0,9	1,0b	0,46	2,7a	2,7a	3,0	8,85a
Ancho de calle (m)	Concentración de aceite (% de peso fresco)				Concentración de agua (%)				Índice de madurez				
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
5,0	19,5ns	20,8a	18,7b	15,3a	56,4ns	53,4ns	59,3a	58,7b	2,0ns	1,8ns	1,2a	0,5ns	
4,0	17,3	20,8a	20,5a	14,8ab	58,8	51,2	58,0b	60,2a	1,6	1,7	1,5a	0,5	
2,5	16,7	17,8b	19,7ab	14,2b	59,9	56,1	58,9a	60,1a	1,3	1,0	0,6b	0,6	

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre anchos de calle dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ . ns: no significativo.

**Tabla 4.6.** Producción de frutos y aceite y característica de los frutos afectados por el ancho de calle en olivares en seto orientados E-O durante las estaciones 2010, 2011, 2012 y 2013.

Ancho de calle (m)	Producción de frutos (kg/árbol)				Producción de aceite (kg/árbol)				Producción de aceite (t/ha) Anual				Acumulado 2010-13
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
5,0	1,1ns	6,7ab	6,5a	10,2a	0,20ns	1,4a	1,4a	1,6a	0,3ns	2,2ns	2,2ns	2,5b	7,20ns
4,0	1,8	7,9a	4,6ab	9,0a	0,30	1,8a	0,9b	1,4ab	0,6	3,4	1,8	2,7b	8,40
2,5	1,0	5,1b	4,1b	7,7b	0,17	0,9b	0,8b	1,2b	0,5	2,8	2,8	3,7a	9,83
Ancho de calle (m)	Concentración de aceite (% de peso fresco)				Concentración de agua (%)				Índice de madurez				
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
5,0	18,1ns	21,1a	21,1ns	15,9ns	59,3ns	54,9ns	57,7b	58,3ns	2,2ns	1,4ns	2,2ns	0,6ns	
4,0	16,7	22,2a	21,7	14,9	61,0	52,6	59,2a	58,4	2,0	1,1	1,9	0,6	
2,5	17,8	17,8b	21,7	15,1	59,6	57,9	56,9b	58,5	2,5	0,5	2,0	0,5	

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre anchos de calle dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ . ns: no significativo.

#### 4.3.3.2. Producción y características de los frutos en las caras de los setos

La producción de aceite, sus componentes y características de los frutos en cada cara de los setos de los ensayos N-S y E-O en 2012 y 2013, se presentan en las Tablas 4.7 y 4.8, respectivamente. En ambos ensayos, el valor medio 2012-2013 de la producción de aceite y la concentración de agua del fruto, variaron significativamente entre caras, mientras el número de frutos, peso seco del fruto, contenido de aceite del fruto e IM fueron similares entre las caras.

En el **ensayo N-S**, la producción de aceite, componentes del rendimiento y las características de los frutos fueron similares entre las caras E y O, dentro de cada ancho de calle. Sin embargo, cuando comparamos todas las caras de los 3 anchos de calle, se observaron algunas diferencias. La producción de aceite fue significativamente más alta en las caras E de los setos con anchos de calle de 5,0 y 4,0 m (promedio 0,52 kg de aceite/árbol), respecto a la cara O de los setos con ancho de calle de 2,5 m (0,34 kg aceite/árbol). Las diferencias en la producción de aceite estuvieron correlacionada con la variación en el número de frutos entre caras ( $r = 0,91$   $p < 0,01$ ). Los frutos en las caras E y O de los setos con ancho de calle de 4,0 m presentaron significativamente mayor peso seco y contenido de aceite (% peso seco) que las caras E y O de los setos con calle más estrecha. Los frutos en la cara O de los setos con ancho de calle de 2,5 presentaron el mayor contenido de agua (58,6%) y menor IM (0,54), relativo al resto de las caras.

En el **ensayo E-O**, la producción de aceite sobre la cara S de los setos con calles de 5,0 m fue significativamente mayor (0,65 kg de aceite/árbol) que en ambas caras de los setos con calles de 4,0 m (media 0,45 kg de aceite/árbol) y de 2,5 m (media 0,38 kg de aceite/árbol), en respuesta a un mayor número de frutos ( $r = 0,95$   $p < 0,01$ ). Por otra parte, en los setos con ancho calle más estrecho (2,5 m), la cara S presentó producción de aceite significativamente mayor que la cara N (~ 40%), mientras este fue similar entre caras opuestas en los setos más espaciados (4,0 y 5,0 m). Los frutos en ambas caras de los setos con ancho de calle de 5,0 m tuvieron el menor contenido de agua (media 58,0%) y el mayor IM (media de 1,44), en relación con los otros anchos de calle (media 58,6% y 1,27, respectivamente).

---

#### IV. Respuesta del olivar en seto al ancho de calle

**Tabla 4.7.** Producción de aceite, componentes del rendimiento y características de los frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y orientados N-S durante los años 2012 y 2013.

Fuente de variación			Producción aceite (kg/árbol)	N° de frutos	Peso Seco (g/fruto)	Contenido		Índice Madurez
Año	Ancho calle (m)	Cara				Aceite (g/fruto)	Agua (%)	
2012	5,0	E	0,42ns	1305	0,70	0,32	58,8 b	0,95 bc
		O	0,25	800	0,71	0,32	59,7 a	1,47 a
	4,0	E	0,47	1305	0,71	0,35	58,0 c	1,41 ab
		O	0,25	838	0,73	0,35	57,9 c	1,55 a
	2,5	E	0,36	1152	0,66	0,32	58,6 bc	0,68 c
		O	0,32	1027	0,65	0,31	59,2 ab	0,54 c
2013	5,0	E	0,65a	4103a	0,41	0,16	58,4 c	0,44
		O	0,58a	3926ab	0,39	0,15	59,0 bc	0,48
	4,0	E	0,55ab	348ab	0,41	0,16	59,7 b	0,59
		O	0,47abc	3056bc	0,40	0,15	60,7 a	0,40
	2,5	E	0,38bc	2389c	0,41	0,16	59,6 b	0,61
		O	0,36c	2504c	0,38	0,14	60,7 a	0,53
Media	5,0	E	0,53a	2705	0,55	0,24	58,6b	0,69
		O	0,41ab	2364	0,55	0,23	59,4ab	0,98
	4,0	E	0,51a	2396	0,56	0,25	58,9ab	1,00
		O	0,36ab	1947	0,57	0,25	59,3ab	0,97
	2,5	E	0,37ab	1771	0,54	0,24	59,1ab	0,64
		O	0,34b	1766	0,52	0,23	60,0a	0,54

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre espaciamiento de fila dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ .

**Tabla 4.8.** Producción de aceite, componentes del rendimiento y características de los frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y orientados E-O durante los años 2012 y 2013.

Fuente de variación			Rto. Seco (g/fruto)	N° de frutos	Peso Fruto (g)	Contenido		Índice madurez
Año	Ancho calle (m)	Cara				Aceite (g/fruto)	Agua (%)	
2012	5,0	S	0,60 a	1308ns	0,88ns	0,46ns	58,1 bc	2,21ns
		N	0,50 ab	1117	0,86	0,46	57,3 cd	2,21
	4,0	S	0,38 bc	946	0,84	0,42	59,6 a	2,02
		N	0,34 c	922	0,77	0,39	58,9 ab	1,80
	2,5	S	0,45 abc	945	0,93	0,48	57,4 cd	2,11
		N	0,17 d	547	0,89	0,47	59,5 d	1,93
2013	5,0	S	0,70 a	4334 a	0,42 bc	0,16 bc	58,6ns	0,71ns
		N	0,57 b	3444 bc	0,42 bc	0,16 bc	58,0	0,56
	4,0	S	0,58 ab	3958 ab	0,40 c	0,15 c	58,5	0,70
		N	0,48 bc	3273 bc	0,40 c	0,15 bc	58,3	0,59
	2,5	S	0,52 bc	2819 cd	0,48 a	0,19 a	58,5	0,53
		N	0,41 c	2441 d	0,45 ab	0,17 ab	58,4	0,46
Media	5,0	S	0,65a	2821	0,65	0,31	58,4abc	1,49
		N	0,53ab	2280	0,64	0,31	57,7c	1,39
	4,0	S	0,48b	2452	0,62	0,29	59,0a	1,36
		N	0,42bc	2098	0,59	0,27	58,6ab	1,20
	2,5	S	0,48b	1882	0,71	0,34	58,0abc	1,32
		N	0,29c	11494	0,67	0,32	58,9ab	1,20

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre espaciamiento de fila dentro de cada año a través del test MDS para  $p \leq 0,05$ .

#### 4.3.3.3. Producción y características de los frutos de los estratos

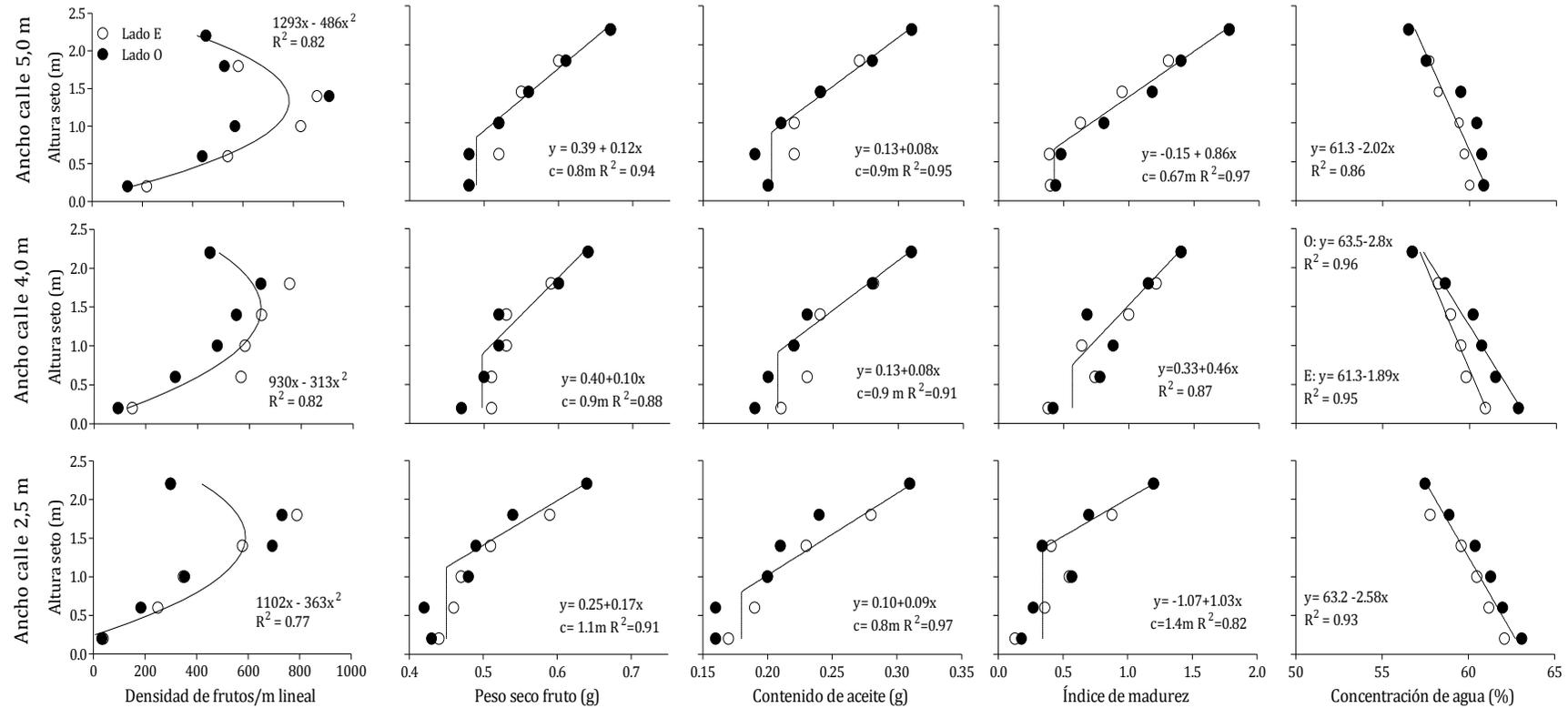
El número de frutos y sus características en 5 estratos de cada cara del seto del ensayo N-S se muestra en la Fig. 4.1 y del ensayo E-O en la Fig. 4.2.

En el **ensayo N-S**, el número y características de los frutos fueron similares entre la cara E y O y se ajustaron a un único modelo para ambas caras (rango  $R^2 = 0,77-0,97$ ), con excepción del contenido de agua del fruto en los setos espaciados a 4,0 m. En los setos con ancho de calle más estrecho (2,5 m), el 61% de los frutos se concentró en los estratos superiores de la canopia (1,2 - 2,0 m de altura), disminuyendo al 45% en setos con anchos más amplios (4,0 y 5,0 m). El peso seco del fruto y el contenido de aceite disminuyeron linealmente desde el estrato más alto hasta 0,8-1,1 m de altura, manteniéndose bajos y estables por debajo de estas alturas. En los setos más espaciados (5,0 y 4,0 m), los valores mínimos de peso seco del fruto (media 0,49 g) y el contenido de aceite (media 0,21 g) fueron mayores que los correspondientes valores mínimos, 0,45 g y 0,18 g, registrados en los setos con calles de 2,5 m. El IM también disminuyó linealmente desde la parte superior de la canopia hasta media altura, debajo de la cual se mantuvo bajo y estable. En setos con ancho de calle de 2,5 m, el mínimo IM se registró a mayor altura en la canopia (1,4 m) y con un valor más bajo (0,34) que en los setos más ampliamente espaciados (mínimo MI = 0,50 a 0,7 m de altura, promedio para los anchos de calle de 5,0 y 4,0 m). En contraste con el resto de las características del fruto, el contenido de agua del fruto aumentó linealmente desde los estratos superiores de la canopia a la base, sin diferencia entre las caras opuestas en los setos espaciados a 5,0 y 2,5 m (Fig. 4.1), pero setos con 4,0 m el contenido de agua de los frutos sobre la cara O incrementó a una tasa más alta bajando en el seto, en comparación a la cara E.

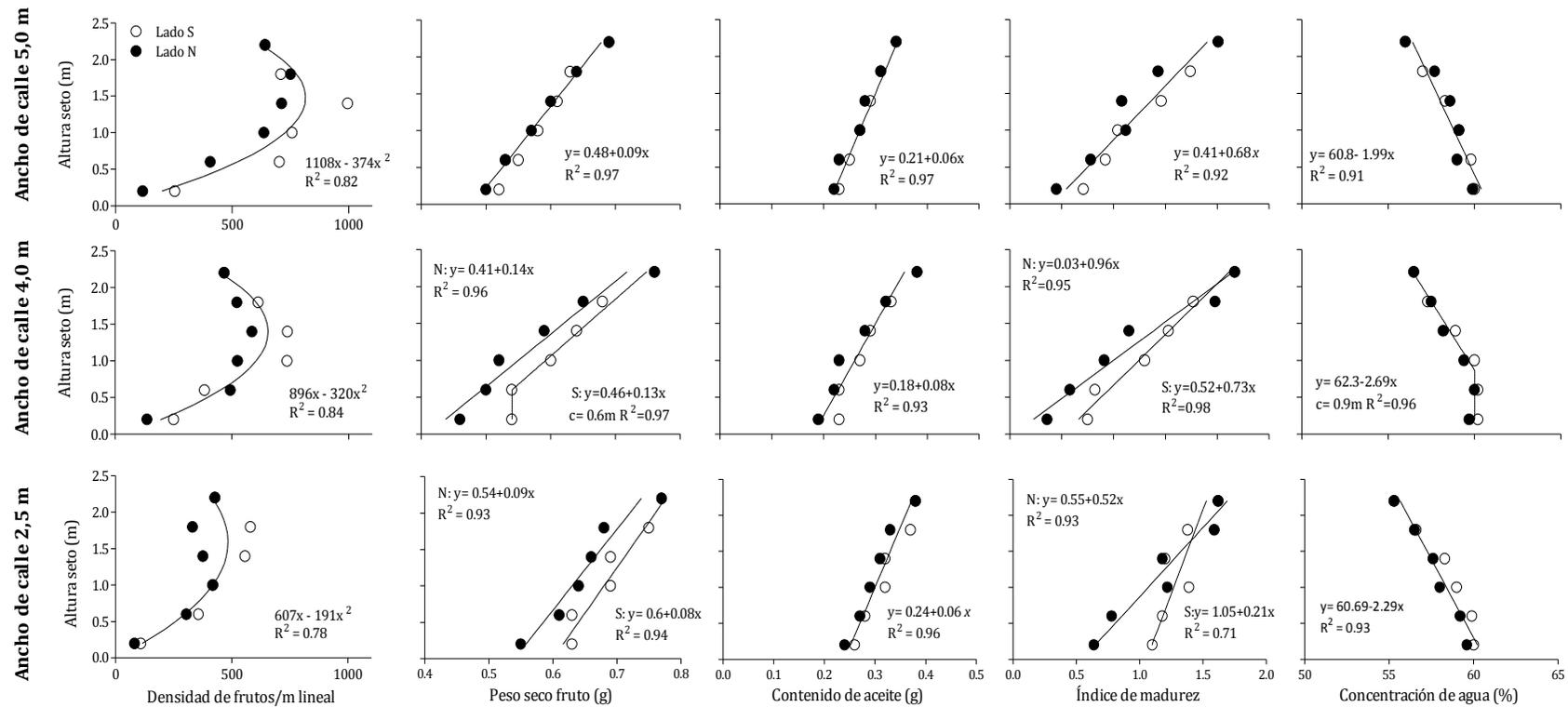
En el **ensayo E-O**, el número de frutos y su características por estrato en las caras S y N de los setos, fue descritos por un único modelo para ambas caras en los setos con ancho de calle de 5,0 m ( $R^2 = 0,82-0,97$ ). En los setos con anchos de calle de 4,0 y 2,5 m, sin embargo, el peso seco e IM requirieron regresiones individuales para cada cara (S y N). En esta orientación, el 42% del número total de frutos se concentró entre 1,2-1,6 m de altura de la canopia, independientemente del ancho

---

de calle. A su vez, los frutos se distribuyeron de manera más uniforme en los setos con menor ancho de calle (2,5 m). El peso seco del fruto y el IM fueron más altos en el estrato superior de los setos y disminuyeron linealmente hacia la base o cercana a la misma. En los setos con ancho de calle de 5,0 m, ambos peso seco e IM de los frutos fueron similares en ambas caras, pero en los setos con menor ancho de calle (4,0 y 2,5 m) los frutos sobre las caras S presentaron mayor peso y madurez que sobre las caras N. El contenido de aceite de los frutos también disminuyó linealmente desde el estrato más alto hacia la base, pero fue similar entre caras opuestas en todos los anchos de calle estudiados. El contenido de agua aumentó linealmente desde el estrato más alto a la base de la canopia, sin diferencia entre las caras en los tres anchos de calle evaluados.



**Fig. 4.1.** Número de frutos y características de los frutos en distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del seto fueron no significativamente diferentes a un  $p < 0,05$ .



**Fig. 4.2.** Número de frutos y características de los frutos en distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a un  $p < 0,05$ .

#### 4.3.4. Seguimiento de maduración

La evolución del peso seco, contenidos de aceite y concentración de agua de los frutos en cada cara de los setos desde el 21-Agosto a cosecha en el 2012, y desde el 7-Agosto a cosecha en el 2013, se presentan en las Tablas 4.9 y 4.10 para el ensayo N-S y en las Tablas 4.11 y 4.12 para el ensayo E-O. El incremento en peso seco y aceite durante el periodo de muestreo en el año 2012, representó el 36% y 77% del valor en cosecha, respectivamente, mientras que el periodo de muestreo 2013, representó el 52% y 94%, respectivamente. Similares proporciones se obtuvieron en ambos ensayos N-S y E-O.

Los resultados de la evolución del tamaño de los frutos fueron consistentes con los valores obtenidos de los árboles control en cosecha. En el **ensayo N-S**, al inicio del periodo de muestreo del **2012**, el peso seco de los frutos sobre las caras E y O de los setos espaciados a 5,0 m, fueron significativamente más altos que en la cara E de los setos espaciados a 4,0 m y también sobre ambas caras (E y O) de los setos a 2,5 m. A partir de Septiembre, el peso seco del fruto sobre ambas caras de los setos con calles de 5,0 y 4,0 m fue mayor que los frutos en ambas caras de los setos con calle más estrecha de 2,5 m, siendo las diferencias estadísticamente significativas sólo en el último muestreo. El contenido de aceite mostró similar tendencia, inicialmente en el ciclo, los frutos sobre ambas caras de los setos con ancho de calle de 5,0 m presentaron significativamente más contenido de aceite que el resto de las caras, y al avanzar la estación, el contenido de aceite en ambas caras de los setos con anchos de calle de 5,0 y 4,0 m, fue mayor que en ambas caras de los setos a 2,5 m. La concentración de agua de los frutos fue significativamente mayor en los frutos de ambas caras de los setos más estrechos y en la cara O de los setos a 4,0 m, en comparación con la cara E de los setos a 5,0 m, siendo las diferencias estadísticas sólo durante el periodo 21-Agosto-2-October.

Durante el año **2013**, los frutos sobre las caras E presentaron mayor peso seco que sobre las caras O, independientemente del ancho de calle. El contenido de aceite del fruto comenzó a ser afectado por el ancho de calle desde principios de Septiembre a cosecha, donde los frutos con mayor contenido de aceite estuvieron en las caras E de los setos con anchos de calle de 5,0 y 4,0 m, intermedio en las

---

caras O también de los setos a 5,0 y 4,0 m, y los más bajos sobre ambas caras de los setos con calle de 2,5 m. La concentración de agua de los frutos fue significativamente más alta en ambas caras de los setos con calle de 2,5 m, en comparación con el resto de caras durante el periodo desde 7-Agosto al 8-October, mientras que en el último muestreo los frutos con mayor concentración de agua se encontraron en la cara O de los setos con ancho de calle de 2,5 m y la concentración de agua más baja en la cara E de los setos a 5,0 m.

En el **ensayo E-O** al inicio del periodo de muestreo del año **2012**, el peso seco del fruto fue mayor en ambas caras de los setos con ancho de calle de 5,0 m, que ambas caras de los setos con calles de 4,0 m, pero no que los setos a 2,5 m. Durante el resto del periodo de muestreo y hasta cosecha, el peso de los frutos sobre ambas caras de los setos más espaciados a 5,0 m, y también sobre la cara S de los setos a 2,5 m, fueron significativamente mayor que ambas caras de los setos a 4,0 m. El contenido de aceite de los frutos presentó similar patrón, más alto en ambas caras de los setos con ancho de calle de 5,0 m que con calles de 4,0 m durante la mayor parte del periodo de muestreo, mientras en cosecha ambas caras de los setos con calles a 5,0 m y cara S de los setos a 2,5 m fueron significativamente mayor que ambas caras de los setos a 4,0 m. La concentración de agua de los frutos no mostró un patrón claro durante el periodo de muestreo, registrando en la última fecha de muestreo mayor concentración de agua los frutos sobre ambas caras de los setos con calles más amplias de 5,0 y 4,0 m que los frutos sobre la cara N de los setos con el menor ancho de calle de 2,5m.

Durante el **2013**, en los setos E-O, el peso seco del fruto fue afectado por el ancho de calle desde mediados-Septiembre a cosecha, presentando los frutos en ambas caras de los setos con calles de 5,0 m y la cara S de los setos a 2,5 m, mayor peso seco que los frutos de los setos a 4,0 m. El contenido de aceite de los frutos sólo fue afectado en los muestreos del mes de Octubre, donde los frutos sobre ambas caras de los setos con ancho de calle de 5,0 m tuvieron mayor contenido de aceite que los frutos de los setos con calles de 4,0 m, pero no que los setos a 2,5 m. La concentración de agua de los frutos varió significativamente entre caras durante todo el periodo de muestreo sin un patrón claro entre los distintos muestreos.

#### IV. Respuesta del olivar en seto al ancho de calle

**Tabla 4.9.** Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S desde Agosto a cosecha 2012.

Parámetros	Ancho calle (m)	Cara	Fecha de muestreo				
			21/8	13/9	2/10	5/11	
Peso seco medio del fruto (g)	5,0	E	0,47a	0,61a	0,62	0,77a	
		O	0,46ab	0,54bc	0,65	0,72a	
	4,0	E	0,43c	0,55b	0,63	0,71a	
		O	0,43bc	0,50de	0,63	0,71a	
		2,5	E	0,42c	0,51cd	0,57	0,63b
			O	0,44bc	0,47e	0,56	0,61b
Contenido de aceite/fruto (g)	5,0	E	0,09a	0,18a	0,23ab	0,38a	
		O	0,08ab	0,16b	0,53ab	0,34ab	
	4,0	E	0,07bc	0,17b	0,25a	0,35ab	
		O	0,07c	0,14cd	0,22abc	0,33ab	
		2,5	E	0,07c	0,15bc	0,21bc	0,30bc
			O	0,07bc	0,13d	0,20c	0,28c
Contenido de agua (%)	5,0	E	54,4d	53,4c	57,9cd	58,1	
		O	55,4bc	53,9bc	58,9bc	58,4	
	4,0	E	54,9cd	53,4c	57,7d	58,1	
		O	55,9ab	54,6ab	59,9ab	59,1	
		2,5	E	56,2ab	54,5ab	58,7cd	58,3
			O	56,6a	55,0a	60,4a	60,0

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cada parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

**Tabla 4.10.** Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S desde Agosto a cosecha 2013.

Parámetros	Ancho calle (m)	Cara	Fecha de muestreo						
			7/8	22/8	5/9	19/9	8/10	29/10	
Peso seco medio del fruto (g)	5,0	E	0,22a	0,28	0,32a	0,37a	0,42	0,48a	
		O	0,21ab	0,26	0,29bc	0,32bc	0,39	0,40b	
	4,0	E	0,21ab	0,26	0,31ab	0,34ab	0,40	0,46a	
		O	0,19c	0,25	0,29c	0,32bc	0,38	0,40b	
		2,5	E	0,20bc	0,26	0,29bc	0,32bc	0,38	0,41a
			O	0,18c	0,24	0,29c	0,31c	0,38	0,38b
Contenido de aceite/fruto (g)	5,0	E	0,01	0,03	0,06a	0,09a	0,14a	0,19a	
		O	0,01	0,02	0,05bc	0,07c	0,12abc	0,15b	
	4,0	E	0,01	0,02	0,05ab	0,08b	0,13ab	0,18a	
		O	0,01	0,02	0,05abc	0,07c	0,12bc	0,15b	
		2,5	E	0,01	0,02	0,04c	0,07c	0,11bc	0,15bc
			O	0,01	0,02	0,04c	0,06c	0,11c	0,13c
Contenido de agua (%)	5,0	E	59,5d	49,5b	55,5c	46,1b	52,8c	54,7e	
		O	60,7bc	51,0b	56,8b	48,1b	53,9c	60,0c	
	4,0	E	60,1cd	51,0b	56,9b	45,5b	53,2c	58,2d	
		O	60,9b	51,1b	57,7b	46,0b	54,0bc	60,9c	
		2,5	E	62,3a	53,1a	59,2a	53,2a	56,2ab	60,9b
			O	62,7a	54,4a	59,6a	54,4a	57,8a	62,7a

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cada parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

#### IV. Respuesta del olivar en seto al ancho de calle

**Tabla 4.11.** Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O desde Agosto a cosecha 2012.

Parámetros	Ancho de calle (m)	Cara	Fecha de muestreo			
			21/8	13/9	2/10	29/10
Peso seco medio del fruto (g)	5,0	S	0,54a	0,66a	0,74a	0,90a
		N	0,53a	0,63ab	0,73a	0,89a
	4,0	S	0,46bc	0,58b	0,62cd	0,76c
		N	0,46c	0,51c	0,60d	0,73c
	2,5	S	0,51ab	0,62ab	0,70ab	0,84ab
		N	0,51abc	0,58b	0,66bc	0,78bc
Contenido de aceite/fruto (g)	5,0	S	0,10b	0,20b	0,29a	0,46a
		N	0,12a	0,23a	0,31a	0,46a
	4,0	S	0,08c	0,16c	0,22d	0,37c
		N	0,10b	0,16c	0,23cd	0,36c
	2,5	S	0,09c	0,18bc	0,25bc	0,42ab
		N	0,10b	0,19b	0,26b	0,40bc
Contenido de agua (%)	5,0	S	56,5	54,2b	57,6b	57,1ab
		N	53,5	53,1c	56,5c	57,7a
	4,0	S	55,4	54,5ab	58,8a	57,5a
		N	53,6	53,1c	57,6b	57,5a
	2,5	S	59,7	55,1a	57,5b	56,2bc
		N	55,7	54,6ab	57,5b	55,9c

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cada parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

**Tabla 4.12.** Peso seco, contenido de aceite y concentración de agua en frutos en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O desde Agosto a cosecha 2013.

Parámetros	Ancho de calle (m)	Cara	Fecha de muestreo					
			7/8	22/8	5/9	19/9	8/10	22/10
Peso seco medio del fruto (g)	5,0	S	0,22b	0,27	0,31	0,35ab	0,40b	0,46a
		N	0,24a	0,27	0,31	0,36a	0,44a	0,44abc
	4,0	S	0,21bc	0,25	0,29	0,31c	0,35c	0,42cd
		N	0,21bc	0,26	0,29	0,32bc	0,36c	0,40d
	2,5	S	0,20c	0,27	0,30	0,35a	0,37bc	0,45ab
		N	0,21bc	0,26	0,29	0,33abc	0,38bc	0,42bcd
Contenido de aceite/fruto (g)	5,0	S	0,01	0,03	0,05	0,07	0,11b	0,17a
		N	0,01	0,03	0,06	0,09	0,14a	0,17a
	4,0	S	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10c	0,15bc
		N	0,01	0,02	0,05	0,07	0,11b	0,14c
	2,5	S	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11b	0,16ab
		N	0,01	0,02	0,05	0,07	0,11b	0,15abc
Contenido de agua (%)	5,0	S	59,1d	52,3	55,9b	48,0a	54,0a	57,3c
		N	59,2d	51,6	55,4b	46,1bc	52,5b	58,2ab
	4,0	S	60,1cd	50,8	55,9b	46,6abc	52,4b	57,6bc
		N	60,3bc	50,4	55,1b	45,1c	51,5c	58,6a
	2,5	S	61,5a	52,2	57,5a	47,7ab	52,3b	58,3a
		N	61,1ab	51,6	57,4a	47,1ab	51,5c	58,5a

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre caras para cada parámetro medido por el test de MDS a  $p \leq 0,05$ , sólo presentadas cuando el ANOVA indicó efecto significativo.

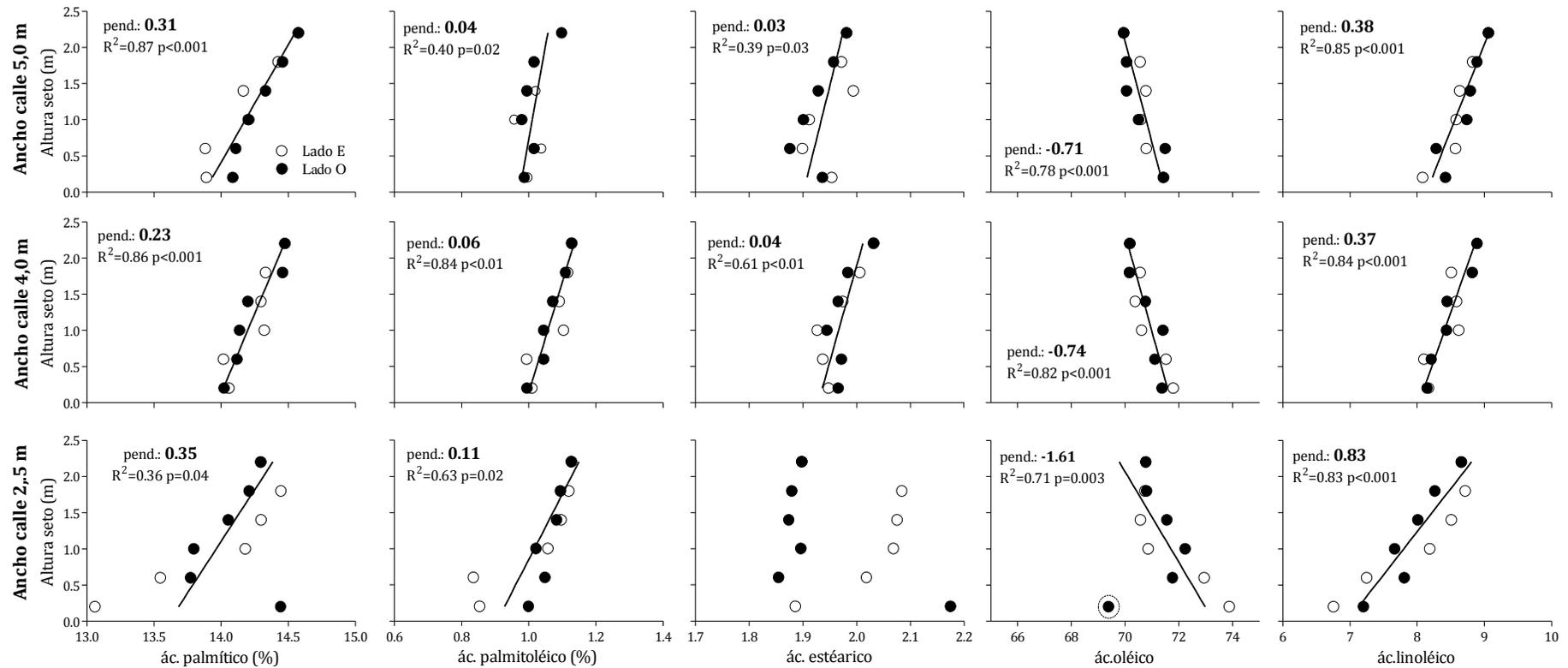
#### 4.3.5. Calidad del aceite

En la Fig. 4.3 se muestra la variación de los ácidos grasos mayoritarios del aceite en ambas caras del **ensayo N-S**, en relación a la posición de los frutos en el seto. En este ensayo, un único modelo lineal capturó significativamente la variación vertical de los perfiles de ácidos grasos sobre ambas caras E y O, con excepción del ácido esteárico en los setos con el menor ancho de calle (2,5 m). El contenido de los ácidos palmítico, palmitoleico, esteárico y linoleico disminuyeron linealmente desde el estrato más alto hacia la base de los setos. En contraste, el contenido de ácido oleico aumentó linealmente al descender desde el estrato más alto hacia la base de los setos. Los patrones se mantuvieron en los tres anchos de calle. La pendiente de la relación ácido graso vs. altura del seto fue, sin embargo, claramente afectada por el ancho de calle. En los setos más espaciados (5,0 y 4,0 m) el aumento (en el caso del ácido oleico) o la disminución (para el resto de los ácidos grasos) en el perfil de ácidos grasos entre el estrato más alto y la base de la canopia fue similar entre ellos y menor que en los setos menos espaciados (2,5 m). El contenido de ácido palmítico y linoleico disminuyeron en promedio 0,13% y 0,93%, respectivamente, entre el estrato más alto y la base de los setos con calles de 5,0 y 4,0 m, mientras en setos con ancho de calle de 2,5 m, la disminución fue de 0,28% y 2,08%, respectivamente. El contenido de ácido oleico incrementó en promedio 1,80% entre la base y el estrato más alto en los setos espaciados 5,0 y 4,0 m y 4,03% en los setos con calles de 2,5 m.

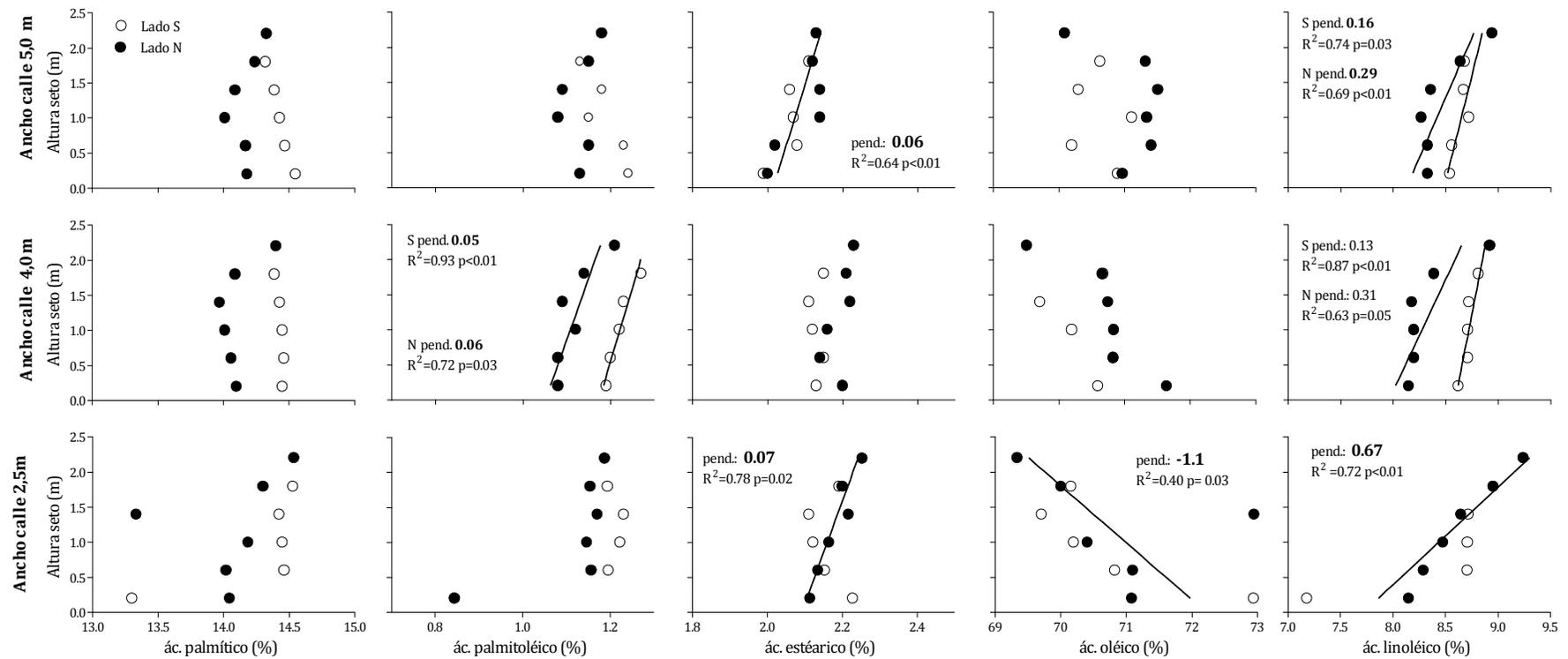
En el **ensayo E-O**, el perfil de los ácidos grasos mayoritarios presentó menor variación entre alturas de la canopia en ambas caras de los setos, y así la asociación entre los ácidos grasos y la altura de los frutos en el seto fue débil o no significativa (Fig. 4.4). Sin embargo, y en contraste con el ensayo N-S, se observaron diferencias entre caras S y N, dependiendo del ancho de calle. En los setos más espaciados (5,0 y 4,0 m), el contenido de los ácidos palmítico, palmitoleico, esteárico y linoleico del aceite fue mayor en los frutos recolectados en la cara S que en la cara N. En contraste, no se observaron diferencias entre caras S y N en los setos con ancho de calle de 2,5 m. El contenido de ácido oleico fue mayor en la cara N que en la cara S,

cuando los setos fueron espaciados 5,0 y 4,0 m y similar entre caras en setos con calles de 2,5 m.

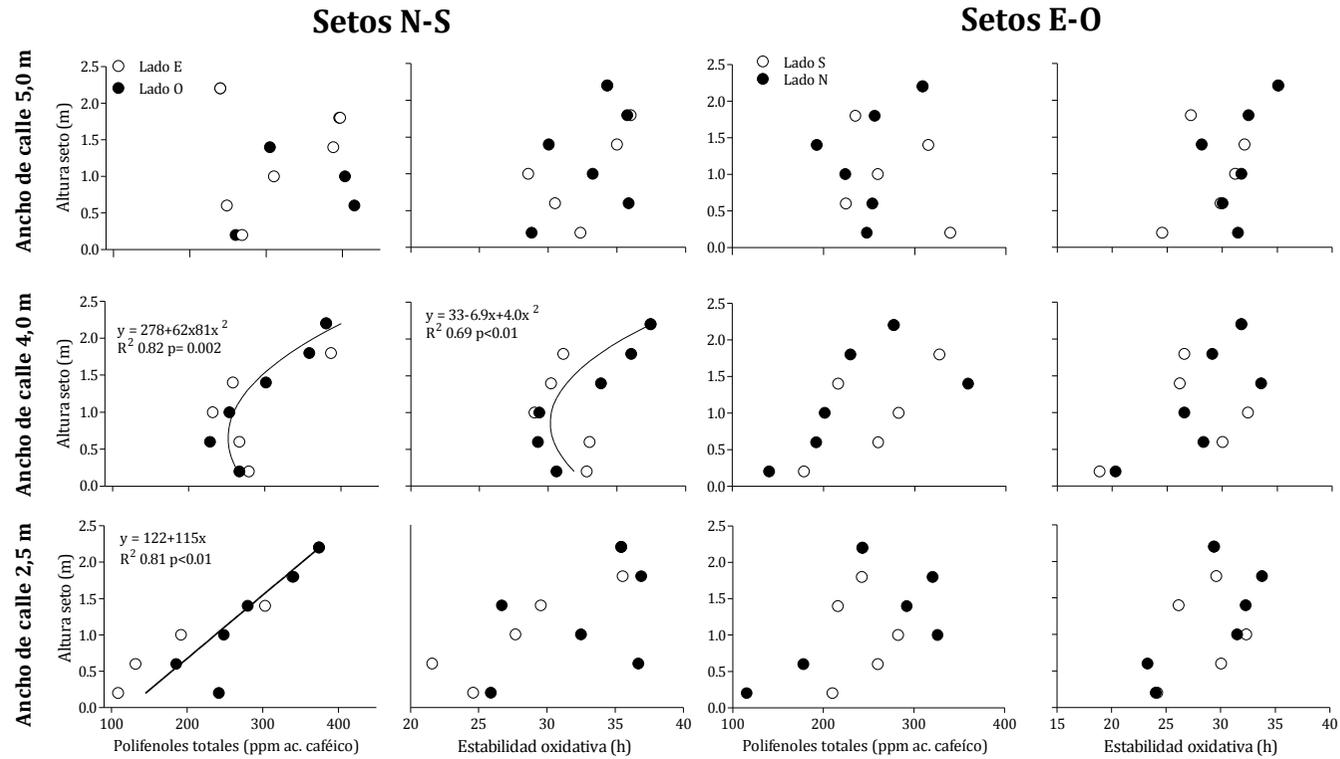
En la Fig. 4.5 se presentan los valores de polifenoles totales y estabilidad oxidativa del aceite obtenido de las aceitunas situadas en distintas posiciones del seto en los ensayos N-S y E-O. En ninguno de los ensayos, ni la estabilidad oxidativa, ni los polifenoles totales de los aceites presentaron un perfil vertical claro cuando los setos fueron espaciados a 5,0 m. Al reducir la calle a 4,0 y 2,5 m, los aceites presentaron mayor contenido total de polifenoles y estabilidad oxidativa utilizando los frutos de los estratos superiores de la canopia, y los valores más bajos al procesar frutos de la base de los setos. En el caso de los setos N-S, los aceites presentaron escasas diferencias entre caras E y O, en contraste con los setos orientados E-O, donde se observó mayor diferencia entre caras opuestas (S y N).



**Fig. 4.3.** Contenido de los ácidos grasos mayoritarios del aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en setos plantados con tres anchos de calle y filas orientadas N-S, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .



**Fig. 4.4.** Contenido de los ácidos grasos mayoritarios del aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en setos plantados con tres anchos de calle y filas orientadas E-O, durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .



**Fig. 4. 5.** Contenido de polifenoles totales y estabilidad oxidativa de aceite extraído de frutos de distintos estratos (caras y alturas) de olivares en seto plantados con tres anchos de calles y filas orientadas N-S izquierda) y E-O (derecha), durante dos años consecutivos (2012 y 2013). Un único ajuste para ambas caras del seto se muestra cuando los coeficiente de regresión para cada cara del setos fueron no significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

#### 4.4. Discusión

##### 4.4.1. Estructura vegetativa del seto

En la plantación de los ensayos de ancho de calle (N-S y E-O) (primavera 2008), los árboles tenían en promedio 0,65 m de altura y alcanzaron la altura de 2,5 m apropiada para la cosechadora, en el invierno del tercer ciclo de crecimiento. Durante la primavera del cuarto año, los árboles completaron su espacio asignado en la dirección de las filas y formaron una continua y adecuada pared de follaje. Todos los setos se restringieron a las mismas dimensiones (2,5 m de altura x 1,0 m de ancho) por la poda en 2012 y 2013 para garantizar el acceso de la cosechadora.

La porosidad horizontal de los setos también fue similar entre anchos de calle, tanto en el ensayo N-S (promedio 22%, Tabla 4.1), como en el E-O (promedio 19%, Tabla 4.2). La porosidad horizontal determinada aquí en el estrato medio del seto con un puntero láser, fue sensiblemente más alta que lo reportado por Gómez-del-Campo et al. (2009). Estos autores utilizando imágenes digitales estimaron en olivares en seto (cv. Arbequina) plantados con un ancho de calle 4,0, valores de porosidad en el estrato medio del seto de 15% para setos N-S y 18% para setos orientados E-O.

La reducción del ancho de calle de 5,0 a 4,0 y 2,5 m aumentó la longitud de seto productivo por hectárea y la cobertura de cultivo vista verticalmente desde el hemisferio superior en 25 y 100%, respectivamente, mientras el área de superficie externa de canopia por hectárea incrementó en 39 y 107%, respectivamente, aproximadamente proporcional a la longitud de seto por hectárea. Estas relaciones fueron independientes de la orientación de los setos.

Los setos fueron mantenidos con similares dimensiones con la poda, independientemente del ancho de calle y la orientación de las filas, por lo cual la relación ( $A_l/A_n$ ) entre altura del seto y el ancho de calle libre fue un buen indicador de las diferencias de iluminación en los distintos estratos del seto. La relación  $A_l/A_n$  en este estudio fue 0,6, 0,8 y 1,6, cuando los setos se espaciaron 5,0, 4,0 y 2,5 m, respectivamente. Los setos con ancho de calle de 4,0 m presentaron

una relación Al/An cercana al valor de 1, recomendado para plantaciones en seto de vid (Smart et al., 1990), manzano (Robinson, 2011), aguacate (Hadari, 2004) y olivo (Connor y Gómez-del-Campo, 2013). Un rango mayor de Al/An fue evaluado por Flore y Layne (1990) en setos rectangulares de cerezo, estableciendo máxima productividad con Al/An= 2,1. En ese trabajo, la producción disminuyó en setos con Al/An < 2,1, debido a menor longitud de seto productivo por ha y con Al/An > 2,1 porque mayor intercepción de radiación por ha fue alcanzada con menor intercepción y producción en los estratos inferiores de los setos. En otro trabajo, Cain (1972) modeló la radiación en setos sólidos de manzano y predijo que la distribución de radiación óptima para estos setos puede ser alcanzada con Al/An = 2,0. En olivar en seto para recolección con vendimiadora hay, sin embargo, limitada posibilidad de diseñar setos con Al/An > 1,6, porque implicaría reducir el espacio de calle libre por debajo de 1,5 m, lo cual sería demasiado estrecho para el acceso de la cosechadora, y/o la altura del seto exceda 2,5 m, lo que podría dificultar el paso de la vendimiadora y/o dañar seriamente los árboles (Nasini y Proietti, 2014).

#### **4.4.2. Crecimiento de brote y componentes del rendimiento**

El perfil vertical de crecimiento de brotes y componentes del rendimiento sólo fueron estudiados en setos con ancho de calle estrecho y relación Al/An = 1,6, donde las limitaciones por radiación en los estratos inferiores de la canopia son más evidentes. Los perfiles verticales de estos parámetros fueron afectados diferencialmente dependiendo de la orientación del seto. En el ensayo orientado N-S, una alta relación Al/An = 1,6 condujo a un marcado gradiente vertical del crecimiento de brotes y componentes del rendimiento, mostrando los brotes de los estratos inferiores de la canopia menor crecimiento, número de yemas desarrolladas e inflorescencias fértiles que los estratos superiores de la canopia (Tabla 4.4), en correspondencia con el gradiente vertical de densidad de frutos en cosecha (Fig. 4.1). Nuestros resultados confirman experimentalmente lo sugerido previamente por Connor y Gómez-del-Campo (2013) a través del modelado de la relación radiación-productividad, donde los estratos inferiores de la canopia de setos orientados N-S y con relación Al/An >1 son pobremente iluminados,

---

limitando su productividad, siendo probablemente explicado por menor número de frutos. Esta conclusión parece ser sólo adecuada para setos orientados N-S, porque cuando los setos fueron orientados E-O, una alta relación  $A_l/A_n = 1,6$ , sólo redujo significativamente el porcentaje de inflorescencias fértiles en los estratos bajos de la canopia, mientras el crecimiento de los brotes y el número de yemas desarrolladas e iniciadas fueron similares en los distintos estratos de la canopia (Tabla 4.4.).

#### 4.4.3. Productividad de los setos y características de los frutos

La respuesta de la producción de aceite al ancho de calle difirió entre los ensayos N-S y E-O. En los **setos N-S**, la producción por árbol fue similar para cada ancho de calle, en los tres primeros años de cosecha, con la consecuencia de que la producción relativa de aceite por ha fue aproximadamente proporcional a la longitud de seto por ha, i.e. 100, 123 y 171% para los anchos de calle de 5,0, 4,0 y 2,5 m, respectivamente. En la cosecha 2013, sin embargo, los árboles individuales de los setos con ancho de calle de 5,0 m produjeron significativamente más que los de menor ancho de calle, de esta forma, la producción relativa de aceite por hectárea acumulada los cuatro años de cosecha aumentó al reducir el ancho de calle 100, 114, 152% desde 5,0 a 4,0 y 2,5 m, respectivamente. Esta secuencia fue notablemente menor que el incremento proporcional de la longitud de seto por ha i.e. 100, 125 y 200%, por reducir el ancho de calle 5,0 a 4,0 y 2,5 m respectivamente.

Nuestros resultados, concuerdan con los reportado previamente por León et al. (2007), en olivares (cv. Arbequina) en seto orientados N-S y evaluados durante 7 años desde la plantación, donde el ancho de calle varió desde 5,7 a 3,10 m y la distancias entre árboles desde 2,25 a 1,25 m (rango densidad de plantación 780 a 2581 árboles/ha). Los autores encontraron un aumento de la producción de aceite por ha al reducir el ancho de calle, pero este fue menos que proporcional al incremento de la densidad de árboles, debido a la disminución de la producción de frutos por árbol individual en los setos más estrechos.

En los setos orientados N-S, hubo indicios que la limitación por radiación en los estratos inferiores de la canopia de los setos con calles de 2,5 m podría reducir la producción de forma cada vez más marcada en futuras cosechas (Moore et al., 1993). Así, el resultado positivo de reducir el ancho de calle, observado aquí en los primeros años productivos del seto, necesita ser contrastado con el efecto a largo plazo de menor crecimiento vegetativo de los estratos inferiores de la canopia (Tabla 4.4), (Pastor et al., 2007). A similar conclusión arribaron León et al. (2007).

En los **setos E-O** y con calles de 5,0 m, por contraste, los árboles individuales registraron consistentemente mayor producción de aceite que los árboles en los setos con calles de 2,5 m durante todo el periodo experimental, con el resultado que la producción de aceite acumulada por ha no fue significativamente afectada por el ancho de calle. Adicionalmente, en esta orientación, la secuencia de productividad de aceite entre anchos de calle permaneció similar hasta la última cosecha. Estudios previos que evalúen el efecto del ancho de calle en setos de frutales, vid y olivo se refieren principalmente a filas orientadas N-S (Flore y Layne, 1990; Hadari, 2004; León et al., 2007; Palmer et al., 1992; Pastor et al., 2007; Smart et al. 1990; Wheaton et al., 1995), con sólo un estudio encontrado para filas orientadas E-O (Hunter, 1998). En este último estudio realizado en vid, la producción de frutos por ha no fue afectada por reducir el ancho de calle 3,0 a 2,0, pero incrementó notablemente en viñas espaciadas a 1,0 m.

La contribución de las caras de los setos a la producción de aceite respondió al ancho de calle, y difirió entre los ensayos N-S y E-O. En setos N-S, se encontraron contribuciones similares de las caras E y O en todos los anchos de calle. En setos orientados E-O, sin embargo, las caras S contribuyeron con más rendimiento de aceite que las caras N. Ambas respuestas son consistentes con los patrones de radiación sobre las paredes de los setos, simétrico en las caras E y O de setos orientados N-S, pero asimétrica en setos orientados E-O, con una mayor intensidad de radiación en las caras S que en las caras N (Connor et al., 2009). En setos E-O, las diferencias entre caras S y N fueron más evidentes con calles más estrechas. Por lo tanto, en términos de contribución relativa de las caras opuestas a la producción total de aceite, reducir el ancho de calle a relaciones  $A_1/A_n = 1,6$

---

incrementó las diferencias entre las caras opuestas en setos orientados E-O, pero sin efecto en setos N-S. Esta respuesta podría ser atribuida a la existencia de valores umbral mínimos de radiación para la formación y desarrollo del fruto, sugerido previamente en olivo (Connor et al., 2009; Fabbri y Benelli, 2000) y probablemente registrado en las caras N del seto con ancho de calle de 2,5 m.

#### 4.4.4. Producción y características de los frutos de los estratos

Consistente con la respuesta general del rendimiento, la distribución vertical del número de frutos y características de los frutos fue también similar en ambas caras de los **setos orientados N-S**, independientemente del ancho de calle (Fig.4.1). Los setos con anchos de calle de 5,0 y 4,0 m mostraron patrones verticales similares, aunque diferentes a los setos con calles de 2,5 m. En estos setos estrechos con  $Al/An = 1,6$ , hubo una reducción en el número de frutos en los estratos más bajos del seto (Tabla 4.3.), observación previamente descrita por Pastor et al. (2007) para setos de olivo orientados N-S y con  $Al/An = 1,5$ . En los datos presentados aquí, el peso del fruto, contenido de aceite y el IM se redujeron drásticamente desde el estrato más alto hasta 1,25 m de altura, en las dos caras de los setos N-S, mientras que se mantuvo estable por debajo de esa altura del seto (Fig. 4.1). A su vez, en los estratos bajos de la canopia, el peso seco del frutos, contenido de aceite y el IM fueron más bajos en los setos con  $Al/An = 1,6$ , respecto a setos con  $Al/An$  en el rango de 0,6 a 0,8. Este patrón revela por un lado, la limitada capacidad del olivo en el transporte de asimilados, desde áreas de la canopia bien iluminadas hacia estratos pobremente iluminados incluso con bajo número de frutos (Proietti y Tombesi, 1996) y, por otro lado, la baja demanda de asimilados.

Por lo tanto, olivares en seto, orientados N-S, diseñado y mantenido con  $Al/An > 1$  sufren reducciones significativas en el crecimiento de los brotes, número de frutos, peso del fruto y contenido de aceite en los estratos más bajos de la canopia que dieron lugar a baja producción de aceite por árbol. Esta respuesta está de acuerdo con el patrón de respuesta modelada por Connor y Gómez-del-Campo (2013), en el cual, la producción de aceite por unidad de longitud de fila aumentó rápidamente con el ancho de calle hasta  $Al/An = 1$ , después la productividad aumentó

---

lentamente en respuesta a incrementos en la radiación difusa, más que por el incremento de radiación directa sobre las paredes del seto.

En **setos orientados E-O**, los perfiles verticales del número de frutos y características de los frutos no fueron diferentes entre caras opuestas cuando los setos fueron espaciados a 5,0 m y  $Al/An = 0,6$ , pero los frutos sobre las caras S fueron más pesados y más maduros que sobre las caras N, cuando la calle se redujo a 4,0 y 2,5 m (i.e. relación  $Al/An = 0,8$  y  $1,6$ , respectivamente). En esta orientación, incrementar la relación  $Al/An$  desde 0,6 a 1,6, redujo el número de frutos del seto, pero no afectó la distribución de los mismos en los distintitos estratos de la canopia. Esta respuesta podría ser atribuida a lo sugerido por Palmer (1989), quien concluye, utilizando un modelo de radiación, que incrementar el ancho de calle, incrementa la radiación sobre las paredes de setos orientados E-O, sin modificar la distribución de la radiación dentro de la canopia.

#### 4.4.5. Calidad del aceite

La calidad de los aceites de los frutos extraídos en distintas posiciones de la canopia (alturas y caras), fue afectada por el ancho de calle, más notablemente en setos orientados N-S que en los setos E-O.

En los **setos orientados N-S**, el contenido de ácido oleico aumentó linealmente con la disminución en la altura de los setos, mientras el contenido de los otros ácidos grasos mayoritarios (palmítico, palmitoleico, esteárico y linoleico) mostraron una tendencia inversa, en correspondencia con los resultados observados por Gómez-del-Campo y García (2012); igual patrón fue observado en los tres anchos de calle. Sin embargo, la tasa de cambio del contenido de ácido palmítico, palmitoleico, oleico y linoleico, al disminuir en la altura de la canopia, fue afectada por el ancho de calle, incrementando en los setos con menor ancho de calle y alta relación  $Al/An$  (1,6), en comparación con los setos espaciados 4,0 y 5,0 m y con  $Al/An$  de 0,6 y 0,8, respectivamente. Adicionalmente, en los setos N-S, los aceites presentaron similares características a ambas caras de los setos, independientemente del ancho de calle o de la relación  $Al/An$ . Este patrón general entre las caras de los setos puede también ser explicado por el patrón simétrico de

---

la radiación (Connor et al., 2014) y revela una menor influencia de la temperatura de los frutos sobre la composición del aceite (Capítulo 3.4.7). Nuestros resultados contrastan con lo observado por Gómez-del-Campo y García (2012), quienes evaluaron la composición del aceite en ambas caras y diferentes alturas de olivos (cv. Arbequina) en setos orientados N-S en el Sur y Centro de España (latitudes 37,5-39,9 °N). Estos autores encontraron que el aceite extraído de frutos expuestos sobre la cara E presentaron significativamente mayor contenido de ácido oleico y palmítico y menor contenido de ácido linoleico que en la cara O.

En los **setos E-O**, la composición de ácidos grasos de los aceite presentó escasa variación vertical en ambas caras de los setos, independientemente del ancho de calle. En esta orientación, sin embargo, el contenido de ácidos palmítico, palmitoleico, y linoleico fue mayor sobre la cara iluminada (S) que sobre la cara poco iluminada (N) a cada altura en setos con calles de 5,0 y 4,0 m y relación Al/An 0,6 y 0,8, respectivamente, pero fueron similares entre caras opuestas en setos espaciados a 2,5 m y alta Al/An= 1,6. El contenido de ácido oleico mostró una tendencia opuesta, fue más alto sobre la cara N que sobre la cara S en los tres anchos de calle estudiados, en correspondencia con lo observado por Gómez-del-Campo y García (2012).

En las caras E y O (setos N-S), los patrones verticales de contenido de ácidos grasos de los aceite muestran correspondencia con el estado de madurez de los frutos (Fig. 4.1.). Menz y Vrisekoop (2010) y Ayton et al. (2007) encontraron que el aumento en el nivel de maduración de las aceitunas estuvo asociado con un aumento significativo en la presencia de ácido linoleico en los aceites. En los setos orientados E-O la distribución vertical de la composición de los ácidos grasos en relación con el IM no parecen tan claro.

Resulta más lógico, sin embargo, que ambos, perfil de ácidos graso e IM sean, primeramente afectados por la variación en la radiación interceptada dentro de la canopia de los setos. El incremento de la radiación interceptada en las posiciones más alta de la canopia favorece la síntesis de aceite en los frutos (Cherbiy-Hoffman et al., 2013; Connor et al., 2009) y afecta la acción de la enzimas que modulan la composición del aceite (Hernández et al., 2008) y la madurez de los frutos (Spayd

---

et al., 2002). El contenido de polifenoles y estabilidad oxidativa también parecen responder un patrón general de mayor estabilidad y contenido de polifenoles en posiciones más iluminadas de la canopia y menor en posiciones menos iluminadas (base de los setos y cara N en setos E-O), como ha sido sugerido previamente en olivares en seto (Gómez-del-Campo y García, 2012). Existe entonces, la posibilidad de explicar la variabilidad de estas características del fruto y del aceite a través de la radiación interceptada por la canopia, lo cual será estudiado en el próximo capítulo de esta tesis.

#### **4.5. Conclusiones**

La elección de la distancia entre filas en el diseño de olivares en seto superintensivos, debe tener en cuenta las dimensiones de los setos, previstas en los años avanzados de la plantación (altura del seto y ancho de calle libre) y orientación de las filas. En conjunto, estos aspectos del seto determinan la iluminación de las paredes y la proporción de la superficie de la canopia bien iluminada por unidad de área de plantación. Trabajos de modelado y experimentales, como el presentado aquí, surgen como pasos fundamentales para mejorar la comprensión de la influencia de la radiación sobre el crecimiento, productividad y calidad de aceite en olivares en seto. El objetivo de estos trabajos deberá estar enfocado en establecer una solución óptima, para condiciones ambientales específicas, que combine todas las características de diseño del seto (ancho de calle, la orientación de las filas y la geometría del seto) que determinan la productividad, incluyendo los costes de establecimiento y mantenimiento.

Este experimento ha identificado algunas diferencias, pero también las tendencias en los componentes del rendimiento y rendimientos relativos entre orientaciones, incluyendo las caras de los setos que deben continuarse en próximas cosecha.

La respuesta al ancho de calle depende de la orientación. Para setos orientados N-S, el resultado positivo de aumentar la longitud del seto por unidad de superficie, al reducir el ancho de calle debe contrastarse con (i) el efecto a largo plazo sobre el crecimiento, la productividad, la calidad y el manejo, y (ii) el coste económico de la plantación, mantenimiento y cosecha. En los setos orientados E-O, sin embargo, no

---

se encontraron ventaja en la producción y calidad del aceite con el aumento de la longitud de seto por unidad de área.

## **V. Radiación del olivar en seto: modelización y relación con la producción y calidad del aceite**

### **5.1. Introducción**

Las publicaciones sobre la simulación de las relaciones lumínicas en setos revelan dos enfoques. La primera considera setos como objetos sólidos y los mira desde fuera para calcular la intercepción y la distribución de la radiación solar sobre los setos y la superficie del suelo (Cain, 1972; Charles-Edwards y Thorpe, 1976; Connor, 2006; De-Melo Abreu et al., 2002; Jackson y Palmer, 1972). Una variación en los modelos incluye consideraciones de porosidad para mejorar las estimaciones de la intercepción de radiación (Abraha y Savage, 2010; Annandale et al., 2004; Charles-Edwards y Thorpe, 1976; Connor et al., 2009; Oyarzun et al., 2007). El segundo enfoque mira hacia el exterior desde dentro del seto para construir la distribución de la radiación interna sobre la superficie interna del follaje a partir de las probabilidades de que el sol y el cielo sean visibles desde algún punto desde adentro del seto (Cohen y Fuchs, 1987; Cohen et al., 1987; Gijzen y Goudriaan, 1989). Los dos enfoques utilizan las mismas ecuaciones para estimar la radiación directa y difusa. Ambos requieren información de la forma, las dimensiones, espaciamiento y la orientación de los setos. El segundo requiere información adicional sobre la cantidad y distribución del follaje con el fin de evaluar la distribución interna de la radiación y la intercepción en general, respectivamente.

Todos estos modelos han demostrado ser útiles en la explicación de las relaciones entre la radiación y las dimensiones y orientación de los setos. Además, los modelos de Cain (1972), Cohen et al. (1987) y Connor (2006) incorporan el análisis de la estructura óptima de los setos para maximizar la productividad fotosintética en manzano, naranjo y olivo, respectivamente, y el modelo

desarrollado por Annandale et al. (2004) provee estimaciones de la evaporación del suelo.

La simetría de la radiación en setos N-S, la orientación comúnmente utilizada en la mayoría de los cultivos frutales, presentan tres características simplificadoras. En primer lugar, cada pared lateral recibe diurnamente similar radiación. En segundo lugar, la misma cantidad de radiación incidente pasa a través del seto antes y después del mediodía para contribuir al ambiente interno de radiación en ambas caras. En tercer lugar, el mismo patrón diurno de radiación se presenta durante todo el año, ya que mantiene la misma forma y difiere sólo cuantitativamente en respuesta a los cambios estacionales de la inclinación solar.

Por el contrario, en los setos orientados E-O, la radiación sobre las caras S y N difieren marcadamente diurna, estacional y anualmente. La transmisión asimétrica de radiación a través de estos setos desde la cara predominantemente iluminada por el sol, a las caras predominantemente sombreadas reduce, pero no elimina, las diferencias de radiación sobre el follaje dentro de las dos caras.

Estas características pueden explicar porque Connor et al. (2009) fueron capaces de relacionar los perfiles observados de tamaño del fruto y contenido de aceite con los perfiles simulados de radiación sobre ambas caras de setos de olivo orientados N-S pero no en setos E-O. Que la relación no fuera generalizada por su intento de simular los perfiles de irradiancia en distintas caras sugiere la necesidad de una simulación más precisa de la distribución interna de radiación para explicar el crecimiento del fruto y la acumulación de aceite.

Los objetivos de este capítulo son validar un modelo que estime las relaciones internas de radiación dentro de las caras de setos para el análisis de la productividad y calidad del aceite de los setos. Para ello presentamos y discutimos, (1) características del modelo y de la calibración con mediciones en setos con orientaciones contrastantes, (2) las relaciones de los componentes del rendimiento y calidad del aceite con los perfiles de irradiancia disponible en las caras individuales de setos con un amplio rango de orientaciones de filas y ancho de calles.

## 5.2. Materiales y métodos

### 5.2.1. Descripción del modelo de radiación

El modelo utilizado en este trabajo considera el seto como un conjunto de celdas y la irradiancia disponible del seto es el resultado del promedio de la irradiancia de todas sus celdas. El modelo considera un seto en dos planos. Una sección normal al seto (plano  $x, z$ ), y de longitud infinita (plano  $y$ ). El modelo divide el plano  $x$  y  $z$  (alto y ancho del seto) como una matriz de celdas (19 x 19) cada una mirando, a los haces de radiación directa del sol y a la radiación difusa desde el cielo. Las dimensiones de cada celda variarán en función de las dimensiones del seto. Las coordenadas de las celdas individuales son las distancias verticales y horizontales a la parte más alta del seto y a la pared más cercana, respectivamente. El modelo presentado aquí, es una modificación del modelo desarrollado previamente por Connor (2006) y Connor et al. (2009). Las ecuaciones para la trayectoria diurna y estacional del sol y para la radiación de un cielo uniformemente cubierto son las utilizadas y publicadas previamente por Cohen y Fuchs (1987); Cohen et al. (1987) y Gijzen y Goudriaan (1989).

Los parámetros que requiere el modelo para describir la estructura del seto son: altura y ancho de la canopia del seto, pendiente, ancho de calle y orientación de las filas. La altura de la canopia es la distancia desde la capa inferior con hojas por lo general *ca.* 0,5 m, para facilitar el paso de la cosechadora y la parte alta del seto. El modelo asume una distribución aleatoria de los ángulos acimutales de las hojas. La transmisión ( $\tau\%$ ) de la radiación directa desde el sol y de segmentos individuales de radiación difusa a través de los setos corresponde a una función exponencial (Norman y Welles, 1983) estimada como:

$$\tau = 100 \exp(-\sigma g s DAF) \quad \text{[Ecuación 5.1]}$$

donde  $DAF$  es la densidad de área foliar ( $m^2/m^3$ ),  $s$  es la distancia (m) de la penetración del haz de luz en el seto,  $g$  es la proyección de la unidad de área foliar normal al haz, y  $\sigma$  es un coeficiente que tiene en cuenta la reflexión y la dispersión

---

de la radiación difusa que acompaña a la penetración de la radiación directa a través de la canopia.

La distancia,  $s$ , varía diurnamente para cada estructura del setos en función de la posición solar (i.e., el ángulo cenital y el azimut con respecto a la orientación de la fila), pero el comportamiento del parámetro  $g$  es incierto. Mariscal et al. (2000) reportan un análisis detallado que establece en árboles de olivos aislados valores de  $g$  en el rango de 0,8 - 0,3, dependiendo del ángulo cenital del sol. Medidas más reciente realizadas por los mismos autores en setos superintensivos (SAD) (comunicación personal) han establecido un rango menor de 0,45 a 0,55. Esto se acerca al valor de  $g = 0,5$  que es comúnmente aplicado en modelos de cultivo. En consecuencia, en este trabajo, se decidió utilizar un valor de  $g = 0,5$ . El coeficiente de reflexión,  $\sigma$ , tiene un valor de 0,9 para la radiación fotosintéticamente activa (RFA) calculado a partir de la reflectividad y transmisión de las hojas de olivo (Mariscal et al., 2000).

El modelo realiza una simplificación. Incluye el efecto de la  $DAF$  y de la distribución angular de la superficie del follaje en una simple ecuación de extinción exponencial que relaciona la transmisión ( $\tau\%$ ) de la RFA a cierta distancia dentro del seto ( $s$ ) como:

$$\tau = 100 \exp(-\sigma k s) \quad [\text{Ecuación 5.2}]$$

El coeficiente de extinción,  $k$ , ( $= g DAF$ ) es la proyección de área foliar por unidad de distancia de longitud de trayectoria del haz, y asume distribución homogénea del área foliar y distribución esférica de los ángulos de inserción de las hojas en toda la canopia del seto. Estos supuestos asumidos en el modelo, permiten una estimación preliminar de  $k$  a partir de la proporción de porosidad horizontal ( $\rho H$ ) en las paredes de los setos que puede ser estimada visualmente, con fotografías, o medida in situ por el paso repetido de haces de luz de un puntero láser, como:

$$k = -\ln(\rho H / 100) / W \quad [\text{Ecuación 5.3}]$$

donde  $W$  es el ancho de la canopia (m).

---

En la práctica, una estimación más precisa de  $k$  se puede obtener mediante el análisis de las fracciones iluminadas por el sol en el área sombreada en la calle entre los setos, que cambian a medida que el sol se mueve diariamente a través del cielo.

El modelo funciona diurnamente a intervalos cortos (10-15 min.) para calcular la posición solar, radiación directa, difusa y reflejada, y a partir de ellos la radiación en cada celda dependiendo de la latitud del lugar, día del año, la profundidad de la canopia, ancho, pendiente, orientación y el ancho de calle. El modelo fue construido en EXCEL, calcula la radiación primero en las 19 celdas de la parte más alta del seto y a lo largo del día y luego utiliza la función DATATABLE para repetir los cálculos en las 18 alturas (de 19 celdas cada una) restantes del seto.

### **5.2.2. Estimación del coeficiente de extinción**

El valor del coeficiente de extinción ( $k$ ) fue estimado a partir de un conjunto de mediciones realizadas en los olivares en seto. Las mediciones se hicieron en dos parcelas de olivares en seto (cv. Arbequina) plantados en la primavera de 2008, dentro de una finca comercial en el municipio de La Puebla de Montalbán (39° 53' N, 4° 27' O, 479 msnm). Una de las parcelas era de setos plantados con filas N-S y la otra de setos orientados E-O. Cada parcela estaba formada por 4 filas de 22 árboles, utilizando las dos filas centrales para este estudio. Ambas orientaciones de seto visualmente presentaban similar estructura del follaje, aunque ligeramente diferentes dimensiones; los setos N-S (altura ancho de copa y ancho de calle = 2,5; 1,2; 4,2 m, respectivamente) y los setos E-O (2,6; 1,3; 3,8 m, respectivamente). Las mediciones se realizaron en condiciones de cielo despejado, los días 10 Marzo y 4 Abril del 2013.

En la determinación del coeficiente de extinción se siguieron dos procedimientos: En el primero se utilizó un ceptómetro lineal de 1 m, para medir radiación (RFA) en la calle entre dos setos. La radiación en la calle fue medida a nivel del suelo sobre 7 transectas de 3 m y espaciadas a 0,5 m paralelas a los setos (Fig. 5.1). En cada transecta se realizaron 3 mediciones con el ceptómetro, para cubrir los 3 m de largo de la transecta. Las mediciones se realizaron a intervalos de 1 h desde el

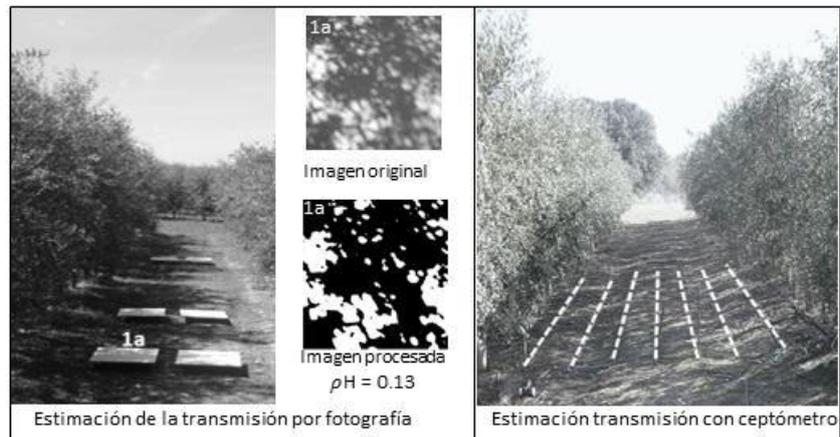
---

amanecer al atardecer. Previo a cada medición dentro de la calle de los setos, la radiación solar incidentes fuera del olivar fue medida a una altura de 1,5 m desde el suelo. La radiación transmitida fue luego estimada, como la proporción de la radiación incidente en el suelo respecto a la medida fuera del seto. Para cada día de medición, los promedios de cada transecta medido durante todo el día, proporcionaron un perfil de transmisión en respuesta al cenit y azimut solar.

En el segundo procedimiento se tomaron fotografías cada hora durante todo el día, de los patrones de sombra dentro de la calle sobre paneles blancos de madera (60 x 60 cm). Previo a la medición, se distribuyeron 6 paneles en la parte sombreada de la calle, nivelados con un nivel de burbuja con la superficie del suelo (Fig. 5.1). Las imágenes adquiridas en cada panel fueron analizadas posteriormente para estimar la porosidad promedio utilizando el programa ImageJ® (National Institutes of Health, USA, <http://imagej.nih.gov/ij>). En cada hora, también se midió en uno de los paneles, la radiación promedio en la toda el área fotografiada (27 lecturas para cubrir los 60 cm de ancho de los paneles en 1 minuto) con el ceptómetro. El resultado de estas medidas de radiación, se utilizó en el procesamiento de las imágenes, para incrementar la precisión del umbral para discriminar el límite de los poros que utiliza el programa ImageJ (Fig. 5.1.). En este procedimiento, la proporción de radiación transmitida fue considerada igual a la proporción de poros estimada en las imágenes.

Adicionalmente, la porosidad horizontal de los setos fue determinada por el paso de luz de un puntero láser horizontalmente a través de cada seto (150 repeticiones) sobre un panel vertical posicionado normal al seto. Los 150 puntos de medición fueron distribuidos aleatoriamente en tres alturas 1,2; 1,4 y 1,7m.

El valor de  $k$  fue luego estimado como la pendiente de la relación entre la radiación transmitida estimada por el modelo utilizando las ecuaciones 5.2 y 5.3, y la radiación transmitida medida con ceptómetro y el procesamiento de las imágenes.



**Fig. 5. 1.** Metodología utilizada para la estimación de la transmisión del seto, a través de mediciones de la sombra de los setos proyectada sobre la calle. En el panel de la izquierda, fotografías tomada a paneles blancos (60 x 60 cm) ubicados paralelos a los setos. Las imágenes obtenidas fueron procesadas para determinar el área sombreada e iluminada. En el panel de la derecha mediciones con ceptómetro sobre transectas de 3 m paralelas a los setos y separadas por 0,5 m.

### 5.2.3. Relación entre radiación, productividad y calidad del aceite

El modelo fue utilizado para calcular la irradiancia diaria en cada estrato donde se realizó la cosecha de frutos de los setos evaluados en los capítulos III (setos plantados con filas orientadas N-S, NE-SO, NO-SE y E-O) y IV (setos plantados con tres anchos de calle: 5,0; 4,0 y 2,5m y filas orientadas N-S y E-O), utilizando sus dimensiones y características vegetativas (altura, ancho y porosidad). La irradiancia de cada estrato, fue estimada como el promedio de todas las celdas (matriz del modelo) incluidas entre las dos altura del estrato y entre la mitad del seto y la pared externa. La irradiancia diaria en cada estrato fue estimada a intervalos de 5 días durante el periodo comprendido entre plena floración y cosecha. Posteriormente, la irradiancia media diaria para distintos periodos fue calculada, como el cociente entre la irradiancia total en el periodo y la duración del mismo.

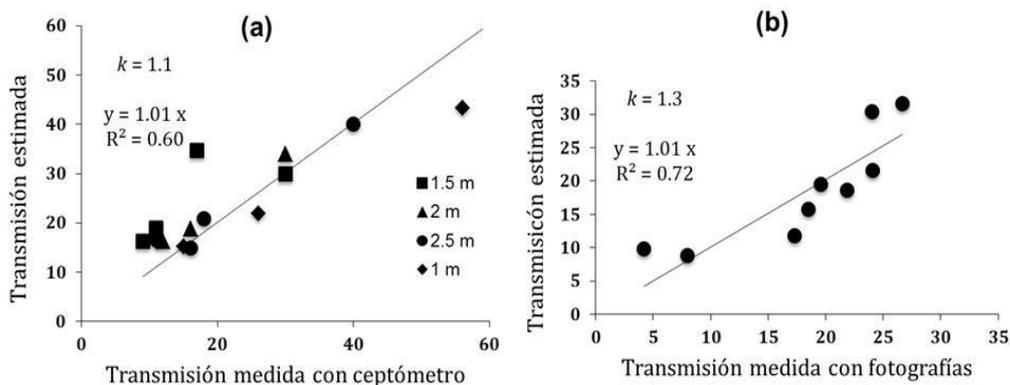
Los valores promedio de los años 2012 y 2013 de los principales componentes del rendimiento de aceite (número de frutos, peso seco y contenido de aceite) y calidad del aceite (polifenoles totales, estabilidad oxidativa y perfil de ácido grasos) medidos en distintas alturas y caras de los setos presentados en los capítulos III y IV fueron relacionados con la irradiancia estimada para cada estrato

de los setos. Los valores de los parámetros de componentes del rendimiento y calidad del aceite son presentados en el Anejo al final del documento.

### 5.3. Resultados

#### 5.3.1. Calibración del modelo

La comparación de la radiación transmitida estimada con el modelo a partir de las mediciones de porosidad horizontal con puntero láser y medida en la calle de los setos N-S y E-O se presentan en la Fig. 5.2. Las mediciones de radiación transmitida estimada con ceptómetro y con fotografías establecieron valores de  $k$  de 1,1 y 1,3, respectivamente. Estos valores de  $k$  fueron consistentes con la medición de porosidad horizontal medida con láser (promedio 18 - 22%) en los setos correspondientes, aplicando la ecuación 5.3. Finalmente, un valor de  $k = 1,2$  (i.e. promedio de  $k = 1,1$  y 1,3) fue utilizado para la estructura de los setos estudiados (ancho seto 1,0 - 1,3 m).



**Fig. 5.2.** Comparación de la transmisión de radiación estimada en el área sombreada de las calles en setos orientados E-O en El Carpio del Tajo (39,8°N) con mediciones el día 10 Marzo usando (a) un ceptómetro lineal a varias distancias desde la cara N del seto. La línea sólida es para un  $k = 1,1$ , y (b) fotografías de paneles blancos (60 x 60 cm) ubicados en distintas posiciones de la calle. La línea sólida es para  $k = 1,3$ .

#### 5.3.2. Perfiles de irradiancia

##### Ensayo 1. Orientaciones de filas

La irradiancia media diaria en las distintas caras y alturas de los setos, plantados con cuatro orientaciones de filas y similares dimensiones (ver Tabla 3.5), para el periodo comprendido entre plena floración y cosecha son presentados en la Tabla 5.1. La irradiancia fue estimada para distintos periodos fenológicos del olivo, sin embargo, los mayores ajustes de la relación irradiancia vs. componentes del rendimiento, se obtuvieron para las estimaciones que cubrían todo el periodo de crecimiento de los frutos. Así, decidimos sólo presentar las estimaciones para todo el periodo de crecimiento de los frutos. Los fundamentos fisiológicos de esta esta relación serán luego discutidos.

En los setos N-S, la irradiancia sobre las caras E y O fue igual, mientras la irradiancia fue diferente entre las caras opuestas del resto de orientaciones. En los setos orientados NE-SO y NO-SE, las caras más iluminadas, SE y SO, presentaron en promedio para todas las alturas, 27 y 19% más irradiancia que las caras opuestas, NO y NE, respectivamente. Las diferencias entre caras fueron aún más evidentes en los setos orientados E-O, donde la canopia expuesta de la cara S tuvo en promedio 40% más irradiancia disponible que la canopia en la cara N del seto. En general, para la estructura de los setos evaluados en el experimento, las caras S (seto E-O) y SE (seto NE-SO) presentaron los valores más altos de irradiancia media diaria (promedio para todo el perfil 23,2 y 23,1 mol RFA/m<sup>2</sup>, respectivamente), seguidos por las caras SO (promedio 22,2 mol RFA/m<sup>2</sup>) y ambas caras del seto N-S (promedio 20,9 mol RFA/m<sup>2</sup>), las caras NE y NO (promedio 17,9 y 16,8 mol RFA/m<sup>2</sup>, respectivamente), y por último la cara N con valores de irradiancia promedio de 13,5 mol RFA/m<sup>2</sup>. La diferencia entre la irradiancia sobre el estrato más alto y más bajo del seto, variaron en relación con la orientación del seto. En las caras NO, NE, N y E/O, el estrato más bajo del seto tuvo 50% menos irradiancia que el más alto. Este gradiente disminuyó en las caras SE (43%), SO (39%) y S (31%).

### **Ensayo 2 y 3. Anchos de calle**

La irradiancia media diaria en las distintas caras y alturas de los setos, plantados con tres anchos de calles (5,0, 4,0 y 2,5 m) y filas orientadas N-S y E-O (ver Tablas

---

4.1 y 4.2) para el periodo comprendido entre plena floración y cosecha son presentados en la Tabla 5.1.

En el **seto N-S**, la irradiancia incidente sobre toda la canopia de setos con anchos de calle de 5,0 y 4,0 m presentaron similares valores para las distintas alturas, obteniendo una reducción promedio del 5% por reducir el ancho de calle de 5,0 a 4,0 m. Mientras que la irradiancia diaria disminuyó en promedio 20% al reducir el ancho de calle de 5,0 a 2,5m. Dentro de cada ancho de calle, la irradiancia sobre las caras E y O fue igual (Tabla 5.1). La diferencia entre la irradiancia incidente sobre el estrato más alto y más bajo del seto, fue de 43%, para el ancho de calle de 5,0 m, mientras que la diferencia entre estratos fue del 49 y 68%, al reducir el ancho de calle 4,0 y 2,5 m.

En los **setos E-O**, la irradiancia disminuyó en promedio para todo el seto (promedio caras S y N), sólo 13% al reducir de 5,0 a 2,5 m en ancho de calle. Por otro lado, la irradiancia sobre la mitad S de la canopia de los setos fue en promedio 40% más que la mitad N de la canopia, manteniéndose las diferencias independientemente del ancho de calle y la altura en el seto. La diferencia entre la irradiancia por el estrato más alto del seto, respecto al más bajo en cada cara de los setos, incrementó desde 28% en el seto más espaciado, al 45% en los setos con menor ancho de calle, estas diferencias fueron similares tanto para las caras S, como en las caras N.

**Tabla 5.1.** Valores de irradiancia media diaria del periodo desde plena floración a cosecha, simulada para distintas posiciones de la canopia (alturas y caras) en setos de olivo con similar estructura vegetativa y varias orientaciones de filas. En los setos orientados N-S ambas caras (E/O) presentan igual radiación.

Alturas (m)	Irradiancia diaria (mol RFA/m <sup>2</sup> ) promedio periodo floración-cosecha							
	N-S		NE-SO		NO-SE		E-O	
	E/O		SE	NO	SO	NE	S	N
1,6 - 2,0	29,1		29,8	22,1	26,3	26,9	28,9	19,5
1,2 - 1,6	23,6		25,1	17,7	23,2	20,3	24,3	14,3
0,8 - 1,2	20,1		22,4	15,0	21,0	16,6	22,2	11,3
0,4 - 0,8	16,8		19,8	16,5	21,6	13,7	20,9	13,4
0,0 - 0,4	14,8		18,2	12,7	18,7	12,2	19,9	9,1

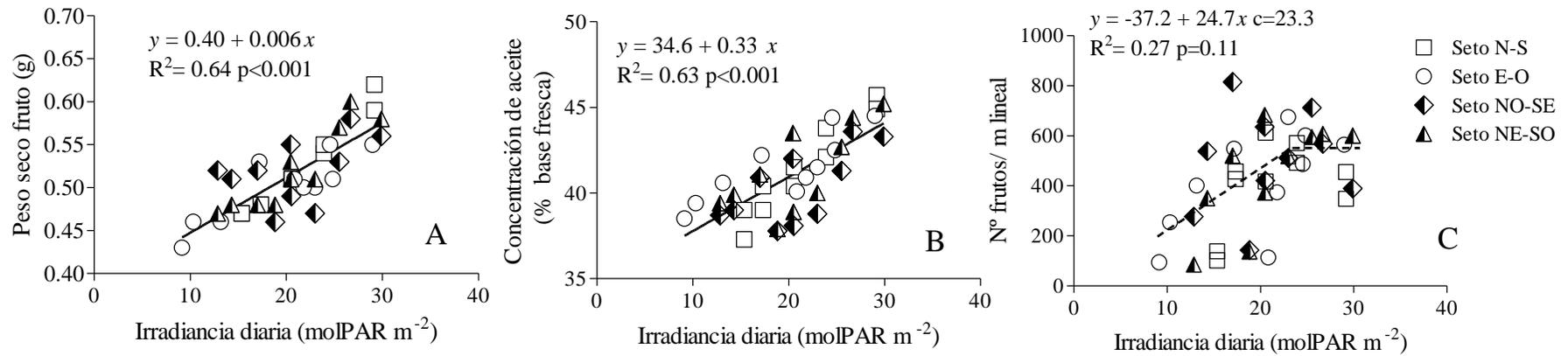
**Tabla 5.2.** Valores de irradiancia media diaria del periodo desde plena floración a cosecha, simuladas para distintas posiciones de la canopia (alturas y caras) en setos de olivo con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5 m) con filas orientadas uno N-S y el otro E-O. En los setos orientados N-S ambas caras (E/O) presentan igual radiación.

Orientación	Irradiancia diaria (mol RFA/m <sup>2</sup> )								
	Seto N-S			Seto E-O					
	Ancho calle (m)	5,0	4,0	2,5	5,0		4,0		2,5
Altura (m)	E/O	E/O	E/O	S	N	S	N	S	N
1,6 - 2,0	29,3	29,1	28,1	28,9	19,5	28,9	19,5	28,8	19,3
1,2 - 1,6	24,0	23,6	20,9	24,4	14,4	24,3	14,3	23,8	13,9
0,8 - 1,2	20,9	20,1	16,0	22,3	11,4	22,2	11,3	19,8	10,5
0,4 - 0,8	18,2	16,8	11,4	21,1	9,3	20,9	9,1	15,8	7,3
0,0 - 0,4	16,7	14,8	9,0	20,7	13,6	19,9	13,4	13,8	11,9

### 5.3.3. Relación entre la radiación y la productividad

En la Fig. 5.3 se presentan las relaciones entre la irradiancia y número de frutos, peso seco y rendimiento graso (%peso seco) determinados en distintos estratos de la canopia (altura y caras) de setos con similar estructura vegetativa, plantados con cuatro orientaciones de filas. Las estimaciones de irradiancia con el modelo capturaron adecuadamente en una única relación la variabilidad de peso seco del fruto ( $R^2= 0,64$ ) y rendimiento graso ( $R^2= 0,63$ ) para un amplio rango de orientación de filas. El peso seco de los frutos en distintas posiciones de la canopia incrementó linealmente a una tasa de 0,006 g/fruto por cada incremento unitario (mol RFA) de irradiancia incidente sobre la canopia. El rendimiento graso de los frutos (% peso seco) también aumentó linealmente a una tasa de 0,33% al incrementar en una unidad la irradiancia disponible. Esta última relación subestimó el rendimiento graso de los frutos sobre la cara S del seto orientado E-O (Fig. 5.3B).

La densidad de frutos en cada posición de la canopia fue débilmente asociada a la irradiancia estimada a través de una función lineal-plateau ( $R^2 = 0,27$ ;  $p = 0,11$ ). El número de frutos incrementó linealmente con el aumento de la radiación interna de la canopia (pendiente = 25 frutos /mol RAF) entre un valor mínimo de irradiancia de 10 mol RFA/m<sup>2</sup> y un máximo de 23 mol RFA/m<sup>2</sup>, por encima del cual la densidad de frutos permaneció estable hasta valores de radiación de 30 mol RFA/m<sup>2</sup>.



**Fig. 5.3.** Relaciones entre los perfiles verticales de (A) peso seco del fruto, (B) contenido de aceite y (C) número de frutos, en ambos caras de setos de olivo cv. Arbequina con cuatro orientaciones de filas y la irradiancia media diaria de la canopia para el periodo desde floración a cosecha. Cada punto corresponde al promedio de los años 2012 y 2013.

#### 5.3.4. Relación entre la radiación y la calidad del aceite

En las Figs. 5.4 y 5.5 se presentan las relaciones entre la irradiancia y parámetros (polifenoles, estabilidad oxidativa y perfil de ácidos grasos) determinados en los aceites obtenidos de frutos cosechados en distintas posiciones de la canopia de setos con tres anchos de calle y dos orientaciones (N-S y E-O). Los valores de irradiancia utilizados en las relaciones corresponden a los presentados previamente en la (Tabla 5.2).

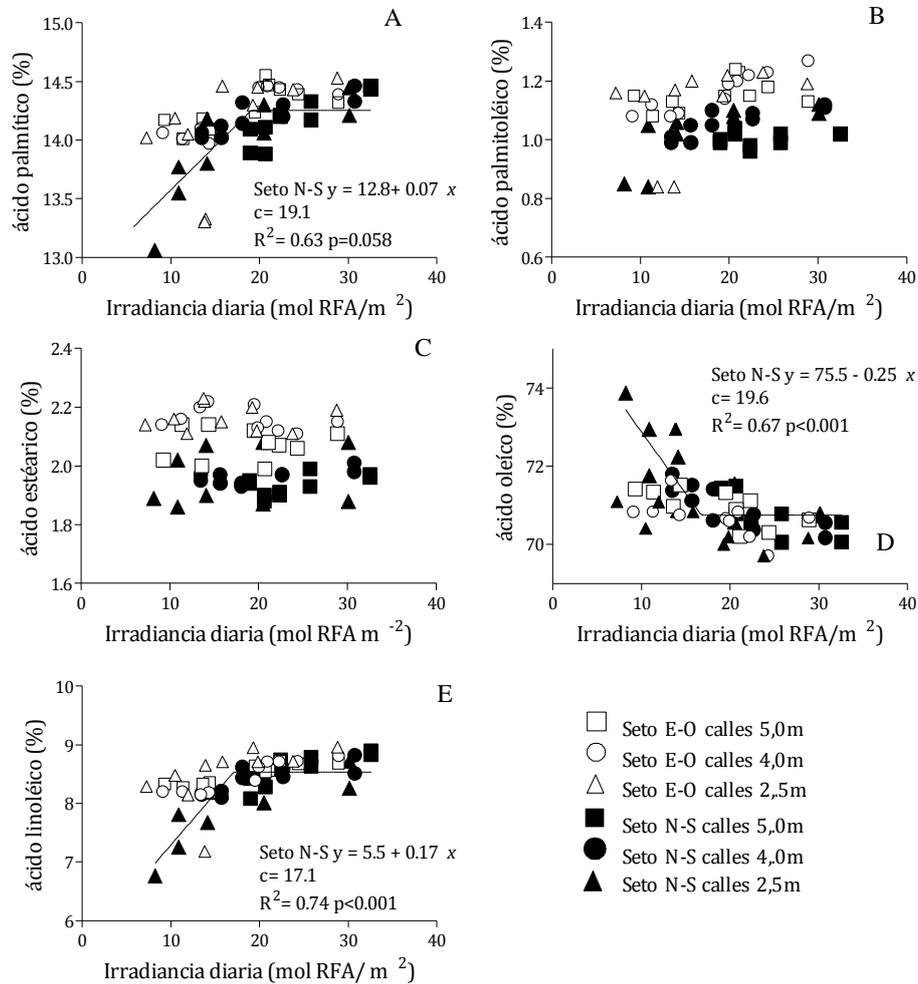
Los perfiles de irradiancia estuvieron estrechamente asociados con el contenido de ácido palmítico, oleico y linoleico de los aceite, pero no con los ácidos palmitoleico y esteárico. Un único modelo lineal-plateau capturó adecuadamente la variabilidad obtenida en setos con distintos anchos de calle y orientados N-S, mientras el perfil de ácido graso de los aceites provenientes de los setos orientados E-O no se asoció significativamente con la irradiancia estimada. Los aceites obtenidos de frutos en ambas caras de los setos E-O, presentaron escasa variabilidad vertical (ver fig. 4.4 capítulo 4) a similar rango de radiación observado en los setos N-S (Tabla 5.2).

En los setos N-S, el contenido de ácido palmitoleico en el aceite incrementó linealmente (pendiente: 0,07%/mol RFA) con el incremento de la irradiancia hasta un contenido máximo de 14,3% para valores de irradiancia  $\geq 19,1$  mol RFA/m<sup>2</sup>. El contenido de ácido linoleico también incrementó linealmente (pendiente 0,17%/mol RFA) al aumentar la irradiancia hasta un contenido máximo de 8,5%, alcanzado con valores de irradiancia  $\geq 17,1$  mol RFA/m<sup>2</sup>. En contraste, el contenido de ácido oleico en los aceite de los setos N-S se asoció a la irradiancia por un modelo lineal-plateau inverso, donde el contenido de ácido oleico disminuyó al incrementar progresivamente la irradiancia hasta un contenido mínimo de ácido oleico de 70,5% con irradiancia  $\geq 19,6$  mol RFA/m<sup>2</sup>.

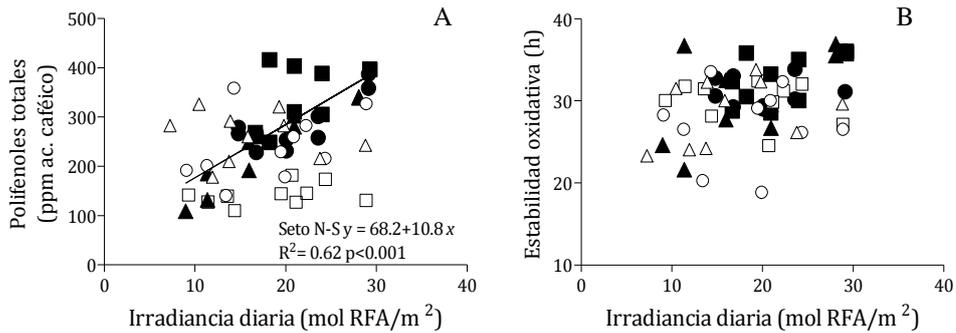
La relación entre la irradiancia y el perfil de polifenoles totales y estabilidad oxidativa es presentado en la Fig. 5.5 (A y B). El contenido de polifenoles totales se asoció lineal y positivamente con el incremento de la irradiancia disponible en la canopia para los setos orientados N-S, pero no para los setos E-O (Fig. 5.5A). La estabilidad oxidativa no presentó un patrón vertical claro en ambos setos N-S y E-

---

O, y consecuentemente no estuvo correlacionado con la irradiancia incidente sobre la canopia (Fig. 5.5B).



**Fig. 5.4.** Relaciones entre la irradiancia diaria estimada para el periodo desde floración a cosecha y los perfiles verticales de los ácidos (A) palmítico, (B) palmitoleico, (C) esteárico, (D) oleico y (E) linoleico en ambas caras de setos de olivo cv. Arbequina, orientados N-S (símbolos llenos) y E-O (símbolos vacíos) y con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5 m). Las líneas sólidas corresponden a los ajustes bilineales sólo para los setos N-S. El parámetro  $c$  corresponde al valor de radiación a partir del cual el ácido graso permanece constante.



**Fig. 5.5.** Relaciones entre los perfiles verticales de (A) polifenoles totales y (B) estabilidad oxidativa, en ambas caras de setos de olivo cv. Arbequina, orientados N-S (símbolos llenos) y E-O (símbolos vacíos) con tres anchos de calle (5,0; 4,0 y 2,5m) y la irradiación diaria estimada para el periodo desde floración a cosecha. La línea sólida corresponde al ajuste lineal sólo para los setos N-S. Las referencias de los símbolos aparecen en la Figura 5.4.

## 5.4. Discusión

Las plantaciones en setos son cada vez más comunes en un amplio rango de cultivos frutales, porque reducen los costes de mano de obra y facilitan la gestión y logística a través de la mecanización, especialmente de la cosecha. Una revisión reciente sobre la evolución de la producción de olivares en seto, Connor et al. (2014) resaltan la limitada información empírica disponible sobre las relaciones entre la estructura, el microclima y la productividad de los setos, además de cómo la evaluación de nuevos diseños de plantaciones en seto están en gran medida en mano de los productores, destacando la necesidad de mayor número de estudios científicos y la aplicación de modelos que estimen la respuesta del olivo a nuevos diseños para evitar errores a escala comercial.

### 5.4.1. Calibración del modelo

La porosidad de la canopia modifica la transmisión de la radiación, la distribución de la radiación sobre los elementos del follaje dentro de la canopia, y por lo tanto la productividad. El aumento de la porosidad en setos orientados N-S reduce la intercepción diaria de radiación, pero su distribución continúa simétrica dentro de uno y otra cara. En los setos orientados E-O, por el contrario, mayor porosidad aumenta la transmisión a las caras sombreadas desde las caras iluminadas, reduciendo las diferencias entre las caras opuestas y consecuentemente la

productividad. Así, los modelos que estiman la radiación sobre la superficie de los setos (Connor, 2006) han sido herramientas útiles para explicar los perfiles verticales de los componentes del rendimiento, y diseñar estrategias para optimizar el diseño de las plantaciones sólo en setos orientados N-S (Connor et al., 2009; Connor y Gómez-del-Campo, 2013).

La transmisión de la radiación a las zonas internas del seto afecta a procesos fisiológicos claves para el cultivo, incluyendo el crecimiento y la productividad. El aspecto más importante que determina la transmisión es la “porosidad”, aquí calculada mediante un análisis exponencial de la extinción de la radiación, utilizado en el modelado de la mayoría de los cultivos. Esto se hizo con suposiciones sobre distribución angular de las superficies del follaje ( $g = 0,5$ ) e ignorando la intercepción de tallos, ramas y tronco.

A partir de la calibración del modelo ( $k = 1,2$ ) emergen nuevos interrogantes que deberían ser abordados en el futuro. En primer lugar, dada la escasez de datos sobre plantaciones en seto, se requieren nuevos métodos para definir las características geométricas y de porosidad de la canopia. Las dimensiones de la canopia son sencillas de obtener, pero no la distribución del follaje que controla la radiación sobre la superficie de las hojas internas. En este trabajo se establecieron algunas ecuaciones útiles pero aún hay poca evaluación experimental sobre su aplicabilidad. El modelo, en su forma actual, está restringido a los supuestos de distribución y orientación aleatoria de los elementos individuales de follaje (hojas) dentro de los setos.

Tampoco hay datos para distinguir entre el área de los tallos y de las hojas, que podría incidir de manera significativa al incrementar o reducir la porosidad de la canopia. El alcance y la limitación de estos supuestos requieren evaluación experimental. Si bien en este trabajo hacemos hincapié en la importancia de la cantidad ( $DAF$ ) y distribución ( $g$ ) de follaje (Ecuación 5.1), en ausencia de datos, aplicamos una distribución homogénea para el seto entero y combinamos ambos en un único coeficiente ( $k$ ) para definir la porosidad (Ecuación 5.2).

Para mejorar la definición de la geometría de la canopia se requerirán técnicas e instrumentos nuevos y más eficaces. Para extraer los parámetros de estructura del follaje, *DAF* y la distribución angular de la superficie del follaje, y cómo cambian con la profundidad en la canopia de los setos, se requiere mediciones rápidas, en el tiempo y espacio. Dos enfoques podrían resultar válidos. Primero, mediciones directas de la distribución follaje como las realizadas en algunos cultivos a través del desarrollo de las nuevas técnicas de medición por LIDAR (Rosell et al., 2009). Segundo, reconstrucción de la estructura del follaje a partir del análisis de la fracción de porosidad sobre la calle utilizando (i) fotografías (Giuliani et al., 2000; Pieri, 2010); (ii) varios sensores lineales (ceptómetros) midiendo simultáneamente o (iii) mediciones con láser. Con respecto al empleo del puntero láser, puede ser de mano como el utilizado en este estudio para la estimación de porosidad horizontal, o automáticos que permiten modificar el ángulo de medición. La utilidad y validez de estos últimos instrumentos ha sido descrito por Welles y Cohen (1996).

El olivo presenta un desafío importante para la definición de la estructura del follaje porque las hojas son pequeñas, (5-7 cm de longitud y 1-1,5 cm de ancho) (Barranco y Rallo, 2000) y así la definición de la porosidad requiere el mapeo de muchos elementos de follaje. Los equipos LIDAR deben ser suficientemente precisos para identificar las hojas de este tamaño, mientras que para las mediciones basadas en la radiación sobre la calle, el tamaño pequeño de las hojas reduce el contraste entre luz y sombra y consecuentemente hay mucha penumbra que complica la calibración de los equipos o el procesamiento de imágenes.

Si bien existe un gran margen para mejorar el modelo, su forma actual permitió estimar la productividad de los setos en respuesta a la altura de la canopia, ancho del seto, orientación, ancho de calle y la porosidad, suponiendo una ventaja respecto a los modelos utilizados anteriormente en olivo, los cuales sólo han demostrado ser válidos para describir la radiación sobre setos orientados N-S, pero no E-O (Connor et al., 2009; Connor y Gómez-del-Campo, 2012).

#### 5.4.2. Relación entre radiación y componentes del rendimiento

La irradiancia, estimada para toda la canopia de los setos, capturó satisfactoriamente la variabilidad de peso seco del fruto ( $R^2 = 0.64$ ) y rendimiento graso ( $R^2 = 0.63$ ) para un amplio rango de orientación de filas, revelando superioridad respecto los modelos que estiman la radiación sobre la superficie de los setos y que explican los perfiles verticales del tamaño de los frutos y contenido de aceite en setos orientados N-S, pero no setos E-O (Connor et al., 2009). En ese último estudio, una única relación fue obtenida para el tamaño y contenido de aceite de frutos provenientes de distintas posiciones de setos orientados N-S, y de la cara S de setos orientados E-O. Sin embargo, los frutos sobre la cara N presentaron alto peso y contenido de aceite para los bajos valores de radiación estimados con el modelo. Los autores hipotetizaron que el inadecuado tratamiento de la porosidad por el modelo podía explicar la falta de asociación en los setos E-O. El modelo utilizado en este capítulo incorpora la transmisión y la distribución de la radiación en distintos sectores de la canopia (externos e internos de la canopia), superando las limitaciones de los modelos utilizados anteriormente en olivo.

El peso de los frutos y el rendimiento graso presentaron una fuerte y significativa relación lineal con la radiación diaria en el rango de 10-30 mol RFA/m<sup>2</sup> (Fig. 5.3). Connor et al. (2009) en setos orientados N-S en España y Australia (39,9 ° N y 34,5 ° S), observaron que ambos, peso y contenido de aceite de los frutos se ajustaron aceptablemente con modelos lineales-plateau, donde los valores máximos fueron alcanzados con radiación incidente sobre las superficie de los setos (estimada para el mes de octubre en España y marzo en Australia) alrededor de 25 y 22 mol RFA/m<sup>2</sup>/día, respectivamente. En otro estudio, Cherbiy-Hoffmann et al. (2013), utilizando cuatro niveles de sombreado artificial durante el período de crecimiento del fruto en setos también orientados N-S (La Rioja, Argentina, 28,5 °S), encontraron una asociación lineal-plateau entre la radiación y el tamaño del fruto y la concentración de aceite, alcanzando máximo tamaño y concentración de aceite a niveles de radiación entre 15-17 mol RFA/m<sup>2</sup>/día. La falta de una respuesta umbral en nuestro estudio para el peso y rendimiento graso a la radiación de la canopia, demuestra que en nuestras condiciones y setos estudiados ambos,

crecimiento y acumulación de aceite, no fueron limitados por tamaño de la fuente aún en estratos con alto número de frutos.

El número de frutos de los setos estuvo débilmente relacionado con la radiación (Fig. 5.3). En olivo (especie de ciclo bianual), la determinación final de los frutos en cosecha es afectada por un gran número de factores de manejo (poda, estado sanitario, fertilización), fisiológicos y ambientales adicionales a la radiación (temperatura, vientos, humedad relativa), tanto en el año de cosecha como el año previo a la misma (Al-Shdiefat y Qrunfleh, 2008; Baktir et al., 2004; Fabbri y Benelli, 2000; Fernández Escobar et al., 2004; Lavee y Avidan, 1994; Ulger et al., 2004). Así el modelo lineal-plateau ajustado parece suficientemente razonable para explicar la relación entre el número de frutos y la radiación en la canopia. La densidad de frutos incrementó linealmente en un rango de radiación 10-23 mol RFA/m<sup>2</sup>, y se mantuvo alto y estable por encima de 23 mol RFA/m<sup>2</sup> (ca. 43% de la radiación horizontal para el periodo de estudio). Connor et al. (2009) estudiando setos de olivo (2,5 m de altura, 1 m ancho) orientados N-S y E-O y Cherbiy-Hoffmann et al. (2012) setos de olivo orientados N-S (5,5 m de altura, 4,6 m de ancho) también encontraron funciones bilineales entre la densidad de frutos y la radiación diaria. En estos últimos estudios, la densidad máxima de frutos se logró con radiación de 15 mol RFA/m<sup>2</sup> y 8 mol RFA/m<sup>2</sup>, respectivamente. En otro estudio en el setos de olivo orientados N-S en varios sitios del sur y centro de España (37,5 a 39,9 °N), Connor et al. (2012) observaron una función lineal entre la densidad frutos y la radiación diaria durante el otoño en el rango de 3,7 a 12,3 mol RFA/m<sup>2</sup>/día.

La comparación directa entre estudios resulta difícil porque Cherbiy-Hoffmann et al. (2012) midieron la variación horizontal de la RFA en el seto, mientras Connor et al. (2009; 2012) estimaron los gradientes verticales de radiación RFA sobre la superficie del seto. Sin embargo, todos los estudios, incluido el nuestro, revelan la existencia de un umbral máximo de radiación en niveles moderados de RFA (entre 40 - 50% del RFA total incidente) necesario para optimizar la densidad de frutos del seto, principal componente que determina la producción de aceite de los setos (Trentacoste et al., 2010).

Otra complicación en la comparación de estudios, es el periodo de estimación de radiación considerado. Connor et al. (2009); Connor et al. (2012); y Connor y Gómez-del-Campo (2013), relacionan el peso seco del fruto, rendimiento graso y densidad de frutos, de olivares en seto orientados N-S, con la radiación estimada para el 15 Octubre. Esta fecha fue utilizada como el día medio de todo el periodo de síntesis y acumulación de aceite en los frutos. Sin embargo, en setos N-S, aunque cuantitativamente diferente, los patrones de irradiancia sobre el seto se mantienen relativamente constantes durante el año (Connor, 2006). Así similares ajustes pudieron ser obtenidos por los autores utilizando otro día del año.

En olivo, el inicio de la biosíntesis y acumulación de aceite en los frutos ocurre cuando el endurecimiento del hueso ha terminado (Lavee y Wodner, 1991). Sin embargo, estudios recientes en olivo, han demostrado que la formación de los cuerpos lipídicos en las células del mesocarpo, que definen el rendimiento graso potencial del fruto, ocurre previo al inicio de la fase de endurecimiento del hueso (Matteucci et al., 2011; Bartolini et al., 2014). Adicionalmente, Bartolini et al. (2014) demostraron que frutos creciendo en condiciones de limitada exposición a radiación solar previo al endurecimiento del hueso, el número de cuerpos lípidos en células del mesocarpo disminuyó significativamente en comparación a frutos expuestos a altos niveles de radiación incidente, con posterior disminución en el rendimiento graso en los frutos sombreados. García-Inza et al. (2014), también en olivo, encontraron que la exposición de los frutos a altas temperaturas, durante el desarrollo temprano del fruto (antes del endurecimiento del hueso), redujo el contenido final de aceite y afectó la calidad del aceite, denominado por los autores "efecto memoria". Así, parece lógico pensar que la irradiancia incidente durante todo el periodo de crecimiento de los frutos, pueda jugar un rol fundamental en el peso seco final del fruto y en su rendimiento graso. Estudios con sombreado artificial de los árboles en distintas etapas del crecimiento de los frutos, son aún necesarios en olivo.

#### **5.4.2. Relación entre radiación y calidad del aceite**

El contenido en ácidos palmítico, oleico, linoleico y polifenoles totales del aceite de frutos cosechados en setos orientados N-S, estuvo relacionado con la irradiancia

---

incidente sobre la canopia (rango  $R^2 = 0.62-0.74$ ), no así en los setos E-O (rango  $R^2 = 0.01-0.39$ ). Los aceites extraídos de los frutos en estos setos E-O fueron diferentes entre caras opuestas (S y N), pero registraron limitada variabilidad entre posiciones verticales de la canopia. Esta escasa variabilidad vertical resulta difícil explicar por radiación, y probablemente sea necesario profundizar en la interacción entre radiación y temperatura sobre los procesos que modulan la calidad del aceite en futuros trabajos (García-Inza et al., 2014; Rondanini et al., 2014).

En setos orientados N-S y diseñados con distintos anchos calle, el incremento de irradiancia en el rango 9-19 mol RFA/m<sup>2</sup> disminuyó linealmente el contenido de ácido oleico e incrementó, también linealmente, el contenido de los ácidos palmítico y linoleico. Cuando la irradiancia incidente superó ~19 mol RFA/m<sup>2</sup>, los aceites presentaron el mínimo contenido de ácido oleico (71%) y el máximo de palmítico (14%) y linoleico (8,5%) registrado nuestras condiciones. Los polifenoles totales también incrementaron linealmente pero sin presentar respuesta umbral. El contenido de los ácidos esteárico y palmitoleico y también la estabilidad oxidativa, permanecieron aproximadamente estables para todo el rango de radiación. En correspondencia con nuestro estudio, Connor y Gómez-del-Campo (2013) establecieron una relación lineal negativa para el contenido de ácido oleico y positiva para polifenoles totales, cuando fueron asociados con la radiación incidentes sobre la superficie de olivares en seto (cv. Arbequina) orientados N-S. Nosotros utilizamos setos con rango más amplio de estructuras vegetativas que los reportado por Connor y Gómez-del-Campo (2013), pudiendo establecer umbrales máximos de radiación para la determinación de los ácidos grasos de mayor importancia relativa de los aceite, lo cual tiene un importante valor agronómico para futuros estudios de optimización de diseño de setos de olivo.

Recientemente, García-Inza et al. (2014) reportaron un experimento en olivo (cv. Arauco) donde la temperatura del aire fue manipulada artificialmente en el rango 16-32 °C, durante el periodo de crecimiento del fruto. Los autores encontraron que el incremento de la temperatura se relacionó lineal y negativamente al contenido

---

de ácido oleico y positivamente con el ácido palmítico y linoleico, mientras el ácido esteárico no fue significativamente afectado a la temperatura. La similitud con nuestros resultados en términos de radiación, puede implicar que en nuestras relaciones ambos factores temperatura y radiación estuvieron asociados modulando la actividad de las enzimas (temperatura) y/o por la disponibilidad de sustrato (radiación). Estudios detallados sobre el microclima de la canopia son aun necesarios en el olivar en setos, para lograr mayor precisión y entendimiento de la influencia del diseño sobre la calidad de los aceite.

### **5.5. Conclusiones**

Las relaciones presentadas en este capítulo son un ejemplo de muchas otras aplicaciones de este tipo de modelos en la búsqueda de un mejor entendimiento de toda la secuencia que controla el rendimiento como el crecimiento vegetativo, la inducción, floración, cuajado y, finalmente, el crecimiento del fruto y la acumulación de aceite. Por ejemplo, las respuestas del crecimiento vegetativo y del rendimiento de olivares en seto a la radiación medida (Cherbiy-Hoffmann et al., 2012; 2013).

El modelo de distribución de radiación dentro de la canopia de los setos estimó adecuadamente las respuestas de productividad y calidad del aceite para un amplio rango de estructuras de seto, lo que ofrece la posibilidad de establecer combinaciones óptimas de estructura para condiciones específicas. Sin embargo, aún hay margen para mejorar el modelo, a través de nuevos métodos y técnicas para la medición rápida y eficiente de la estructura del follaje dentro de los setos.

Mayor precisión en la estimación de los componentes de rendimiento y calidad del aceite en relación a la radiación puede requerir realizar cosechas a distintas profundidades horizontales del seto, (i.e. distancias horizontales desde el tronco), importante en setos de gran ancho de canopia.

## **VI. Relación entre la radiación en diferentes posiciones del seto y las características de la hoja y del fruto**

### **6.1. Introducción**

El microambiente lumínico que rodea las hojas y los frutos difiere entre las posiciones de la canopia (Acebedo et al., 2000; Bartolini et al., 2014). Específicamente, en las plantaciones conducidas en seto, el microambiente lumínico de la canopia depende del diseño del seto (orientación filas y ancho de calle) (Connor et al., 2014). Por lo tanto, diferentes posiciones de la canopia proporcionan diferentes microambientes lumínicos útiles para comprender el efecto de la radiación sobre las características de las hojas, desarrollo de los tejidos del fruto y su composición elemental. Este conocimiento, a su vez podría ayudar a mejorar el diseño del olivar en seto y su posterior manejo.

En este contexto, los objetivos de este trabajo fueron: (i) examinar el efecto de la posición de las hojas en la canopia sobre características morfológicas y fisiológica, (ii) cuantificar la variabilidad en el tamaño y composición del fruto y sus tejidos (mesocarpo, endocarpo y epidermis) situados a diferentes alturas y orientaciones del seto, (iii) examinar cómo la posición de fruto en el seto afecta el tamaño y número de células del mesocarpo de frutos a cosecha, y (iv) explorar la interacción de la radiación determinada para cada posición del seto y el número de frutos, tamaño y composición del mesocarpo.

### **6.2. Materiales y métodos**

#### **6.2.1. Características del ensayo**

El experimento se llevó a cabo durante los años 2012 y 2013, utilizando los setos con ancho de calle de 2,5 m de los ensayos N-S y E-O presentados en el capítulo IV.

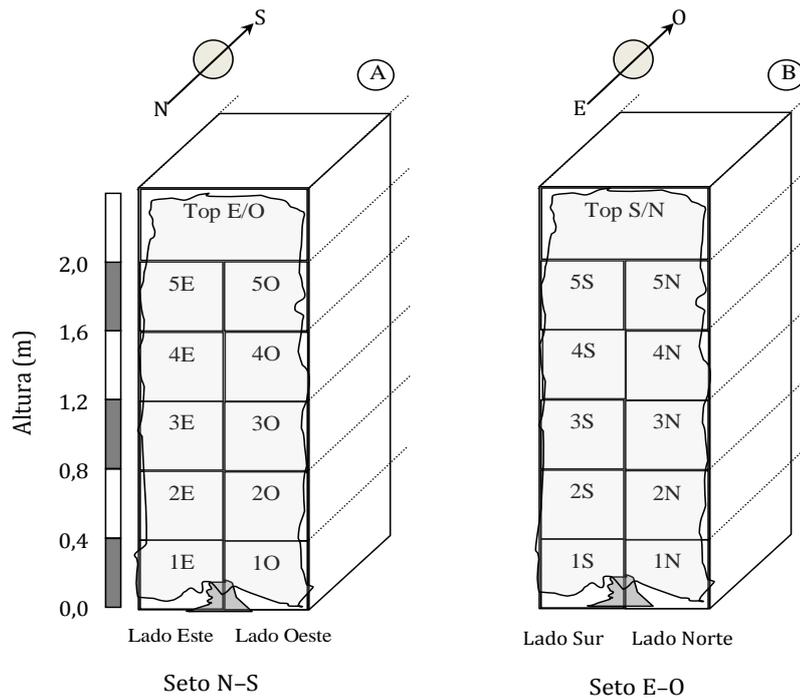
Resumidamente, dos parcelas experimentales, separadas por unos 100 metros, se establecieron, una con filas orientadas N-S (norte-sur) y la otra orientada E-O (Este-Oeste). Cada parcela constó de 3 filas de 48 árboles espaciados a 2,5 x 1,3 m, en el que se estudió la fila central. Las características estructurales de los setos promedio de los dos años se muestran en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Parámetros de la estructura de la canopia de olivares en setos plantados con ancho de calle de 2,5 m y filas orientadas N-S y E-O, en los años 2012 y 2013.

Parámetros	N-S	E-O
Altura del seto (m)	2,62 ±0,30	2,50 ±0,62
Base del seto (m)	0,25 ±0,06	0,23 ±0,09
Ancho del seto (m)	1,02 ±0,05	1,10 ±0,09
Porosidad horizontal (%)	18,3 ±2,35	16,5 ±1,86

Cada valor es la media ± error estándar de tres observaciones (árboles) en dos años (6 repeticiones).

Tres olivos individuales en cada parcela experimental se escogieron aleatoriamente entre los 42 árboles centrales de la fila, después de excluir primero los árboles que presentaba muy diferente carga frutal. La canopia de cada árbol se dividió en once celdas basada en la altura y la orientación (ver Fig. 6.1). Cinco alturas fueron asignadas en ambas caras del seto: 0,0-0,4 m (posición 1), 0,4-0,8 m (posición 2), 0,8 - 1,2 m (Pos. 3), 1,2 - 1,6 m (Pos. 4), 1,6 - 2,0 m (Pos. 5) medidas sobre el suelo. Una posición adicional consistió en la parte superior de la canopia (2,0 m sobre el suelo, designada aquí como "Top") incorporando ambas caras del seto. Los mismos árboles fueron evaluados en ambos años.



**Fig. 6.1.** Esquema representativo de la altura y la orientación de las posiciones de la canopia estudiadas. (A) caras E y O del seto orientado N-S. (B) caras S y N del seto orientado E-O. La escala vertical (columna) a la izquierda indica las alturas de las posiciones (m sobre el suelo).

## 6.2.2. Parámetros evaluados

### 6.2.2.1. Perfiles de radiación

La irradiancia en cada posición de la canopia se calculó utilizando el modelo desarrollado para evaluar la radiación en setos porosos de olivos presentados en el capítulo V y validado en setos orientados N-S y E-O. El modelo utiliza los parámetros específicos del sitio y del setos: latitud, día del año, altura seto, ancho del seto en la base, orientación filas, porosidad horizontal y ancho de calle (Tabla 6.1). Para determinar la radiación recibida durante el crecimiento del fruto, se utilizó el modelo para calcular primero la irradiancia diaria sobre cada posición del seto (Fig. 6.2A, B, C), y segundo se estimó la irradiancia total desde la floración hasta la cosecha, sumando todos los valores diarios para ese período (Fig. 6.2D).

### 6.2.2.2. Características de la hoja

La respuesta fotosintética a la luz de las hojas fue medida el 16 Octubre, 2012 y 24 Septiembre, 2013, en condiciones de cielo despejado. Tres hojas desarrolladas fueron seleccionadas de brotes ubicados en las posiciones 1, 3 y 5 de la canopia y en ambas caras de los setos orientados N-S y E-O. Una fuente externa de luz azul/roja fue conectada a un equipo portátil de análisis de gases infrarrojo (CIRAS 2, PPSystems, Hitchin, Reino Unido), el cual fue programado para proveer tres niveles de radiación (100-, 500- y 1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ ). Las hojas fueron mantenidas 2.0 min a cada nivel de radiación antes de registrar el valor de fotosíntesis neta ( $P_n$ ). Las mediciones en cada posición de la canopia fueron realizadas en dos momentos del día entre las 10:00 – 12:00 h y entre 14:00 – 16:00 h. El valor de fotosíntesis para cada posición y nivel de radiación fue estimado como el promedio de ambas mediciones. Los niveles de radiación seleccionados (100, 500, 1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ ) nos permitió evaluar la tasa fotosintética de las hojas, próximo a los puntos de compensación y saturación fotosintética observados en olivo (i.e. 53 y 1000  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ , Gregoriou et al., 2007; Higgins et al., 1992).

El área foliar de las hojas fue determinada a partir de 15 hojas totalmente expandidas extraídas de la parte media del brote (5 hojas x 3 árboles) de las posiciones 1, 3 y 5, en ambas caras de los setos N-S y E-O. El área individual de las hojas fue calculada como el producto del largo, ancho y un factor de forma (0,716). Las 5 hojas de cada estrato fueron luego secadas en estufa y pesadas. El área foliar específica (AFE  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) fue luego estimado como el cociente entre el área foliar y el peso seco. Las muestras fueron recolectadas los mismos días que las mediciones de fotosíntesis.

El contenido de clorofila *a* y clorofila *b*, fue determinado el 16 Octubre, 2012 en las posiciones 1, 3 y 5 en ambas caras de los setos orientados N-S y E-O. Con sacabocado, 20 discos de hojas (5 mm diámetro) fueron extraídos de cada posición y árbol e inmediatamente transferidos a tubos envueltos con papel aluminio y con 3 ml de N, N-Dimethylformamida (Inskeep y Bloom, 1985). Los tubos fueron colocados en una nevera portátil y transportados al laboratorio. En el laboratorio

---

los tubos fueron conservados a -18 °C durante 15 días, hasta que presentaban una coloración blanquecina. El peso fresco de los discos de hojas fue determinado como la diferencia entre los pesos del tubo con y sin los discos de hojas. El contenido de clorofila *a* y *b* en la solución del solvente fueron medidos con espectrofotómetro UV a 647 y 664 nm, respectivamente.

### **6.2.2.3. Características de los frutos y sus tejidos**

Todos los frutos se cosecharon el 28 de Octubre de 2012 y el 2 de Noviembre de 2013. El peso fresco de la cosecha se obtuvo para cada una de las 11 posiciones de los setos orientados N-S y E-O (Fig. 6.1). Para cada árbol, se cogieron tres submuestras de 20 frutos por posición, se pesaron y luego se secaron en estufa con aire forzado a 105 °C durante 42 h para determinar el peso fresco del fruto y luego el contenido de agua. El contenido de aceite de los frutos se midió en las submuestras secas con un analizador de resonancia (Mini Spec MQ-10, Bruker, Madison, EE.UU.), utilizando el método descrito por del Río y Romero (1999). El número total de frutos de cada posición se calculó a partir del peso medio fresco fruto en las submuestras y el peso total de la cosecha para esa posición, y se expresó como número de frutos por metro lineal de seto. Una submuestra adicional de 20 frutos por árbol y posición, se pesó y se dividió en mesocarpo y endocarpo para evaluar por separado el peso fresco, contenido de agua y aceite de cada tejido. La relación mesocarpo/endocarpo se expresó en peso fresco de los tejidos.

En la cosecha del 2012, 10 frutos por árbol se muestrearon en las posiciones 1, 3, y 5 en ambas caras de los setos, así como en el (Fig. 6.1), e inmediatamente se fijaron en FAE (formalina-ácido acético-60% de etanol, 2: 1: 17, v / v) hasta su procesamiento. Tras la rehidratación de los frutos en una serie de etanol (Gucci et al., 2009) el hueso fue removido y los diámetros máximos longitudinales y transversales de frutos y huesos se midieron con un calibre. Una sección de mesocarpo de aproximadamente 5 mm de espesor se cortó transversalmente en el centro de cada fruto, y procesada según el procedimiento estándar de parafina (Ruzin, 1999), se seccionaron a 12 micras, y se tiñó con azul de toluidina antes de extraer la parafina (Sakai, 1973).

---

El área total transversal de los frutos se midió con un sistema de análisis de imágenes (Leica LAS V4.1, Leica Microsystems Ltd., Heerbrugg, Suiza) conectado a un microscopio estereoscópico (Leica Microsystems Ltd, Wetzler, Alemania), y el área del mesocarpo se determinó restando el área del endocarpo calculado a partir del diámetro del hueso. Usando el sistema de análisis de imágenes conectado a un microscopio óptico (Leica DMRB-FHC y la cámara digital Leica DFC450 C, Leica Microsystems, Heerbrug, Alemania), un campo de 150 células se contó en cada sección de mesocarpo y se midió su área. Los valores fueron utilizados para calcular el área media de cada célula del mesocarpo, y, con el área total mesocarpo, se estimó el número de células para las secciones transversales centrales. Un factor de corrección de 0,82 (Gucci et al., 2009) se aplicó para considerar la contracción del tejido durante el proceso de deshidratación.

En las secciones de mesocarpo de las posiciones 1 y 5 de los setos orientados N-S y E-O (Fig. 6.1.), fueron evaluadas las características externas del tejido por mediciones de la cutícula y de las células epidérmicas. La longitud combinada del área tangencial de 15 células de la epidermis y de la cutícula que cubría esas 15 células, se midieron con el analizador de imágenes. El área y ancho promedio de las células de la epidermis, y el área de cutícula por cada célula epidérmica fueron calculados a partir de estos datos.

### **6.2.3. Análisis estadístico**

Los datos de cada orientación se sometieron de forma independiente a análisis de la varianza, y se utilizó el test MDS ( $p < 0,05$ ) para la separación de medias en cada carácter evaluado. Los datos porcentuales fueron transformados por raíz cuadrado del arcoseno previo a su análisis. Las relaciones entre la irradiancia total durante el periodo de crecimiento de los frutos, número de frutos y los parámetros medidos en el mesocarpo se exploraron mediante análisis de regresión lineal. En las regresiones se utilizó el promedio de los dos años para cada posición (punto), agrupando en una sola regresión, los valores de las posiciones N-S y E-O. También se probaron las relaciones entre parámetros de composición y características de las células del mesocarpo (tamaño y número). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat 1.5.

---

### 6.3. Resultados

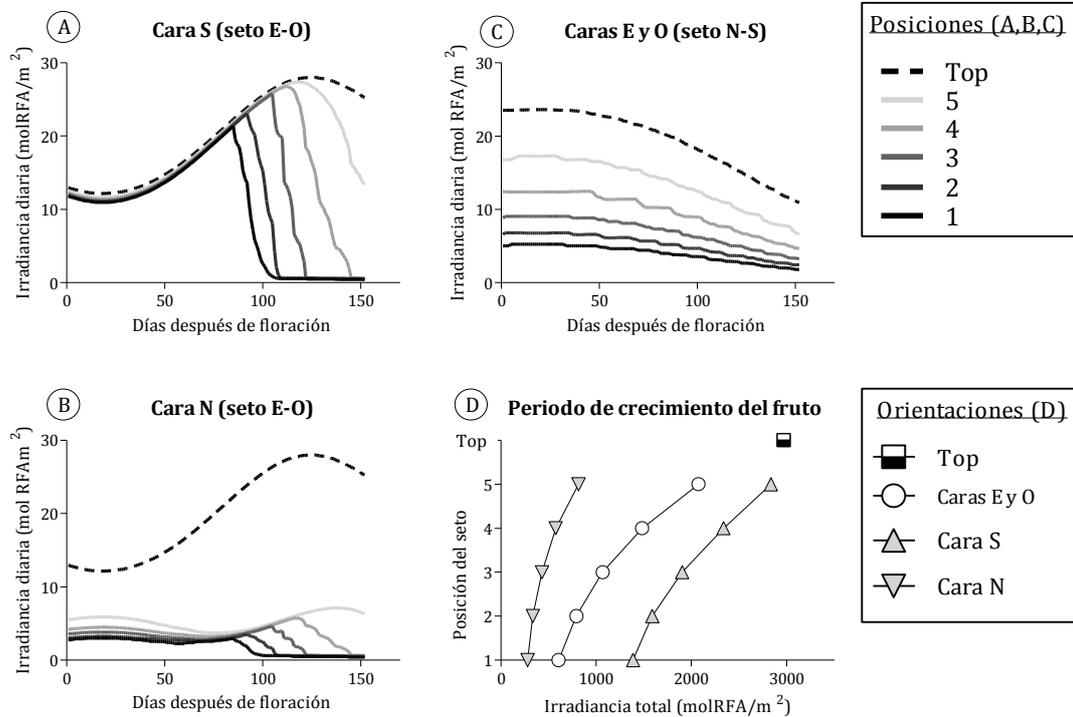
#### 6.3.1. Perfiles de radiación

La irradiancia estimada para las posiciones de los setos N-S y E-O se muestran en la Fig. 6.2. En el seto N-S ambas caras recibieron igual radiación diaria y estacionalmente, por lo que sólo se presenta un perfil (combinado) (Fig. 6.2C). Los valores máximos de irradiancia en todas las posiciones del seto N-S se alcanzaron en verano y disminuyeron hacia el otoño, en correspondencia con el acortamiento de la duración del día. Dentro de ese patrón general, la irradiancia fue mayor en el top del seto y disminuyó sucesivamente hacia las posiciones inferiores, aunque con descensos más pronunciados en la mitad superior del seto. La irradiancia total en las posiciones 5E & O y 1E & O correspondieron al 70% y 20% de la irradiancia total sobre el top, respectivamente (Fig. 6.2 D).

En contraste con los patrones de radiación diarias idénticos de las caras E y O del seto N-S (Fig. 6.2C), en el seto E-O se observaron marcadas diferencias entre las caras opuestas (Fig. 6.2A, B, C). En la cara S, la radiación desde la floración hasta 90 días después de la floración fue similar en todas las alturas, incluyendo el top, pero después de ese periodo la radiación disminuyó notablemente, primero en la base de seto (posición 1S) y luego secuencialmente en posiciones sucesivamente más altas 2S a 5S del seto (Fig. 6.2A). En consecuencia, la irradiancia total durante el periodo de crecimiento del fruto en las posiciones 5S y 1S correspondió con 93% y 55%, respectivamente, de la irradiancia total sobre el top (Fig. 6.2D). La radiación recibida en las posiciones de la cara N fueron mucho más baja que la cara S y que el top del seto, pero fueron relativamente similar entre las posiciones 1N a 5N hasta 90 días después de la floración. Después de ese momento, la radiación sobre la cara N disminuyó siguiendo el mismo patrón sucesivo desde la base a la parte superior como fue descrito para la cara S (Fig. 6.2B). La radiación total incidente durante el crecimiento del fruto de las posiciones 5N y 1N fue sólo un 26 y 9%, respectivamente, de la radiación estimada para el estrato más alto del seto (Fig. 6.2D). En general, la irradiancia total durante el crecimiento del fruto mostró una tendencia decreciente a medida que disminuye altura del seto para todas las

---

orientaciones, y fue mayor en ambos tops y la cara S del seto E-O, intermedia en las caras E y O del seto N-S, y la más baja en la cara N del seto E-O (Fig. 6.2D).



**Fig. 6.2.** Irradiancia diaria durante todo el período de crecimiento del fruto (desde la floración hasta la cosecha) para las posiciones de la canopia en (A) caras S y (B) N del seto E-O, y (C) caras E y O del seto N-S. (D) muestra los perfiles verticales de irradiancia acumulada durante todo el período de crecimiento del fruto para las diferentes orientaciones: caras S o N del seto E-O; caras E y O del seto N-S; los valores del top son los mismos para todas las orientaciones. El significado de las posiciones de los setos se ilustran en la Fig.6.1.

### 6.3.2. Relación entre la radiación y las característica de las hojas

Las características morfológicas y fisiológicas de las hojas fueron significativamente afectadas por su posición en la canopia en ambos setos (Tabla 6.2, Fig. 6.3). En el ensayo N-S, el área foliar fue significativamente mayor en las posiciones bajas de la canopia (1E & O) y en la posición 3O (media 4,5 cm<sup>2</sup>), respecto a las posiciones 3E y 5E & O (media 3,6 cm<sup>2</sup>). El AFE presentó similar tendencia, esta fue más alta en las posiciones 1E & O (56 cm<sup>2</sup>/g), media en las posiciones 3E & O (51 cm<sup>2</sup>/g) y más bajas en las posiciones altas de la canopia 5E & O (42 cm<sup>2</sup>/g). El contenido de clorofila *a+b* también fue más alto en las

posiciones bajas del seto (1E & O) y disminuyó hacia las posiciones superiores de la canopia, registrando la posición 5O, contenido de clorofila significativamente inferior que el resto de posiciones (Tabla 6.2). En el ensayo E-O, presentó similar patrón, las hojas menos iluminadas en la base de la cara S y sobre la cara N del seto presentaron los valores más altos de área foliar (media 4,8 cm<sup>2</sup>) y contenido de clorofila *a+b* (media 1,6 kg/kg peso fresco), mientras las posiciones media y altas de la cara S (3S y 5S) los valores más bajos de área foliar (media 3,3 cm<sup>2</sup>) y contenido de clorofila *a+b* (media 1,2 kg/kg peso fresco) (Tabla 6.2). El AFE fue significativamente mayor en la posición 1N (60 cm<sup>2</sup>/g) respecto al resto de las posiciones del seto (media 44 cm<sup>2</sup>/g).

La respuesta de la fotosíntesis a tres niveles de radiación y en distintas posiciones de la canopia reveló claras diferencias entre los setos orientados N-S (Fig. 6.3 paneles izquierda) y E-O (Fig. 6.3 paneles derecha). En el seto N-S, a niveles bajos de radiación (100 μmol RFA/m<sup>2</sup>/s) la P<sub>n</sub> de las hojas no varió entre posiciones de la canopia, pero sí en niveles de radiación de 500- y 1200- μmol RFA/m<sup>2</sup>/s. En el 2012 a niveles de radiación de 500- y 1200- μmol RFA/m<sup>2</sup>/s la P<sub>n</sub> de las hojas de la posición más baja (1E) fue significativamente inferior a la P<sub>n</sub> de las hojas en la misma posición en la cara O (1O) y que en las posiciones 3E&O y 5E, sin diferencias estadísticas entre estas últimas posiciones. En el 2013, la P<sub>n</sub> de las hojas a intensidades de radiación medias y altas (500 y 1200 μmol RFA/m<sup>2</sup>/s) fue significativamente más baja en la posición 1E, intermedia en la posición 1O, y más alta en las posiciones 3E&O y 5E.

En el ensayo con setos orientados E-O, la P<sub>n</sub> de las hojas respondió significativamente a la posición de las hojas en la canopia en las tres intensidades de radiación. La P<sub>n</sub> fue más alta en las hojas de las posiciones bajas de la canopia (media 1S&N = 7,7 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s), media en las posiciones intermedia (media 3S&N = 6,6 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s) y más baja en la parte alta de la canopia (media 5S&N = 4,3 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s), para los tres niveles de radiación evaluado. Las hojas en las posiciones 1S y 3S presentaron valores de P<sub>n</sub> significativamente superiores que las hojas sobre la cara N (posiciones 1N, 3N, 5N) a 500 y 1200 μmol RFA/m<sup>2</sup>/s, más evidente en el 2013 que en el año 2012. En las posiciones altas de la canopia, las

---

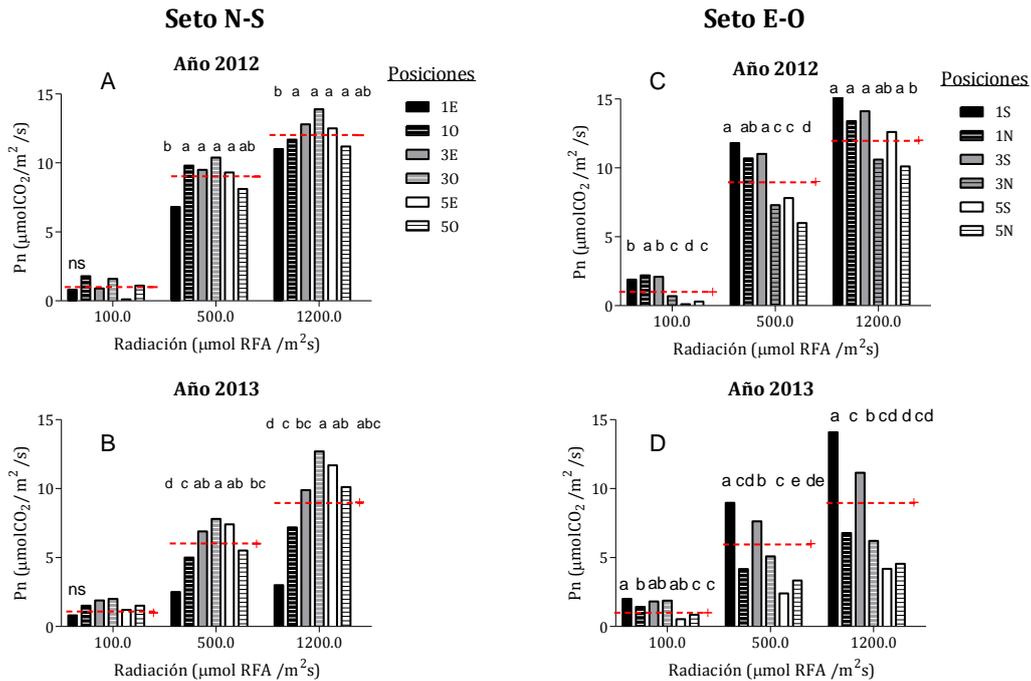
hojas de la cara S registraron valores de Pn significativamente más altos que sobre la cara N en el 2012, y similares en 2013.

En los setos N-S y E-O, la Pn promedio para todas las posiciones de la canopia incrementó 1, 9 y 12  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  en el año 2012 y 1, 6 y 9  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  en el año 2013, al exponer las hojas a intensidades de radiación de 100, 500 y 1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente.

**Tabla 6.2.** Área foliar y contenido de clorofila en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientados N-S y E-O, promedio de los años 2012 y 2013.

Posiciones del seto <sup>a</sup>	Área foliar (cm <sup>2</sup> )		AFE (cm <sup>2</sup> /g)		Clorofila (a+b) (kg/kg PF)	
	E	O	E	O	E	O
	Setos orientados N-S					
5	3,5c	3,6c	44,4c	40,4c	1,4b	1,2c
3	3,7c	4,3b	50,7b	50,9b	1,4b	1,4b
1	4,3ab	4,8a	57,6a	55,0a	1,5ab	1,7a
	Setos orientados E-O					
	S	N	S	N	S	N
5	3,5bc	3,8b	43,7bc	43,6bc	1,1c	1,4abc
3	3,2c	3,6bc	43,6bc	41,8c	1,2bc	1,4ab
1	3,5bc	4,8a	46,5b	60,3a	1,5ab	1,6a

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre posiciones (alturas y caras) de dentro de cada seto por test MDS a  $p \leq 0,05$ . El significado de las posiciones de los setos se ilustran en la Fig.6.1.



**Fig. 6.3.** Fotosíntesis neta (Pn) en respuesta a tres niveles de radiación en hojas expuestas a tres alturas de la canopia y en ambas caras de setos de olivo con filas espaciadas a 2,5 m y orientadas N-S (paneles A y B) y E-O (paneles C y D) en Octubre 2012 y Septiembre 2013. Barras con la misma letra son no significativamente diferentes entre posiciones de la canopia para cada nivel de radiación por el test MDS para  $p \leq 0,05$ . La línea roja horizontal indica el valor medio de fotosíntesis para todas las posiciones de la canopia en cada nivel de radiación. El significado de las posiciones de los setos se ilustran en la Fig. 6.1.

### 6.3.3. Relación entre radiación y las característica de los frutos y sus tejidos

#### 6.3.3.1. Número y tamaño de frutos y sus tejidos

El número de frutos, en las dos estaciones estudiadas, varió con respecto a la posición de la canopia y mostró una clara tendencia vertical de disminuir el número de fruto hacia las posiciones próximas a la base (Tablas 6.3 y 6.4). En ambas caras del seto N-S (Tabla 6.3) el mayor número de frutos fue encontrado en las posiciones 4E & O y 5E & O, y el más bajo en las posiciones de la base del seto, 1E & O; 2E & O. En el seto E-O (Tabla 6.4) el mayor número de frutos se encontró en las posiciones 3N, 3S, 4S y 5S, y el número de frutos más bajo en la base (1S & 1N). Las posiciones top de ambos setos presentaron números frutos inferiores que las posiciones superiores en cada cara de los setos (4 y 5) (Tablas 6.3 y 6.4). Entre todas las posiciones de la canopia de cada seto, el número de frutos difirió más

ampliamente en el seto N-S (rango 35 a 750 frutos) que en el seto E-O (rango de 82 a 579 frutos). En la comparación de las diferentes caras de cada seto, en el seto N-S no se observaron diferencias significativas en el número de frutos a cada altura entre las caras opuestas (Tabla 6.3), mientras que en las posiciones 4 y 5 del seto E-O la cara S tuvo significativamente más frutos (1,6 veces) que la cara N (Tabla 6.4).

El peso fresco de los frutos y mesocarpo también se vieron afectados de manera significativa por su posición en la canopia, disminuyendo desde top hacia la base, particularmente en ambas caras del seto N-S (rango 1,22-1,56 g) y en la cara N del seto E-O (rango de 1,35 a 1,73 g), en contraste con los valores altos pero con menor variación de la cara S (rango 1,57 a 1,73 g). Al igual que con el número de frutos, el peso fresco del fruto y mesocarpo en cada altura no fueron significativamente diferentes entre caras del seto N-S (Tabla 6.3), pero el peso de fruto y mesocarpo en la cara S del seto E-O fueron en general más alto que en la cara N, y estadísticamente diferentes en ciertas posiciones (1, 3 y 5) (Tabla 6.4). El peso fresco del endocarpo a cosecha no se vio afectado por la posición de los frutos en la canopia, por lo que la relación de mesocarpo/endocarpo mostró un patrón similar al observado en el mesocarpo (Tablas 6.3 y 6.4).

VI. Características de la hoja y el fruto en distintas posiciones del seto

**Tabla 6.3.** Número de frutos y peso fresco promedios a cosecha de frutos, mesocarpo y endocarpo por m lineal de seto en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientado N-S, combinado los años 2012 y 2013.

Posiciones del seto <sup>a</sup>	N° frutos/m lineal		Peso fresco (g/fruto)						Mesocarpo/endocarpo <sup>c</sup>	
	E	O	Fruto		Mesocarpo		Endocarpo <sup>b</sup>		E	O
			E	O	E	O	E	O		
Top	364bc		1,56a		1,24a		0,31 ns		3,34cd	
5	789a	732a	1,50ab	1,42bc	1,19ab	1,10bc	0,31	0,32	3,90a	3,65b
4	578ab	694a	1,37cd	1,35cde	1,07cd	1,04cde	0,31	0,32	3,58bc	3,33d
3	348bc	354bc	1,30def	1,31cdef	0,99def	1,00def	0,31	0,32	3,25d	3,27d
2	250cd	184cd	1,25def	1,20f	0,96ef	0,93ef	0,29	0,31	3,18d	3,20d
1	38d	33d	1,25ef	1,22ef	0,96ef	0,91f	0,29	0,29	3,23d	3,29d

<sup>a</sup>Las posiciones son las alturas 1-5 (más baja a la más alta) en ambas caras (E y O) del seto y del top, ilustrado en la Fig. 6.1. <sup>b</sup>Endocarpo incluye la semilla. <sup>c</sup>Mesocarpo/endocarpo expresado en peso fresco. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre posiciones (alturas y caras) de los setos por test MDS a  $p \leq 0,05$ . ns: no significativamente diferente.

**Tabla 6.4.** Número de frutos y peso fresco promedios a cosecha de frutos, mesocarpo y endocarpo por m lineal de seto en diferentes posiciones y caras de setos de olivo orientados E-O, combinado los años 2012 y 2013.

Posiciones del seto <sup>a</sup>	N° frutos/m lineal		Peso fresco (g/fruit <sup>1</sup> )						Mesocarpo/endocarpo <sup>c</sup>	
	N	S	Fruto		Mesocarpo		Endocarpo <sup>b</sup>		N	S
			N	S	N	S	N	S		
Top	466ab		1,73a		1,39ab		0,32 ns		3,97ab	
5	332bc	579a	1,56cd	1,72ab	1,29bcd	1,44a	0,30	0,31	4,03a	3,97ab
4	375bc	556a	1,55cd	1,64abc	1,24cde	1,32abcd	0,31	0,31	3,70bcd	3,85abc
3	420ab	418ab	1,50d	1,69abc	1,19de	1,36abc	0,31	0,33	3,63cd	3,73bcd
2	305bc	357bc	1,49d	1,57bcd	1,16ef	1,25cde	0,33	0,33	3,27ef	3,53de
1	82d	108d	1,35e	1,57cd	1,03f	1,23cde	0,32	0,34	3,17f	3,35ef

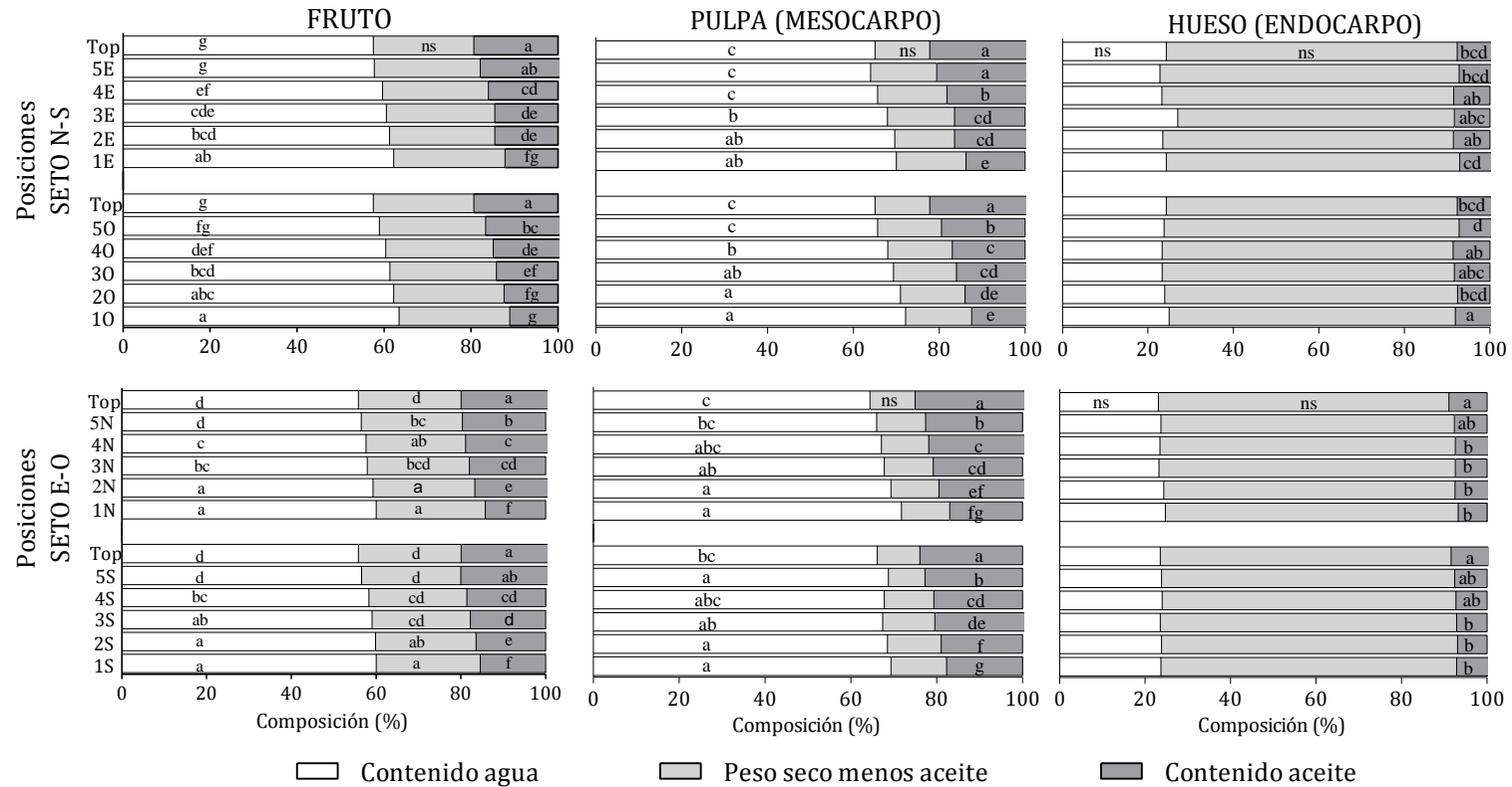
<sup>a</sup>Las posiciones son las alturas 1-5 (más baja a la más alta) en ambas caras (N y S) del seto y del top, ilustrado en la Fig. 6.1. <sup>b</sup>Endocarpo incluye la semilla. <sup>c</sup>Mesocarpo/endocarpo expresado en peso fresco. Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre posiciones (alturas y caras) de los setos por test MDS a  $p \leq 0,05$ . ns: no significativamente diferente.

### 6.3.3.2. Composición de los frutos y sus tejidos

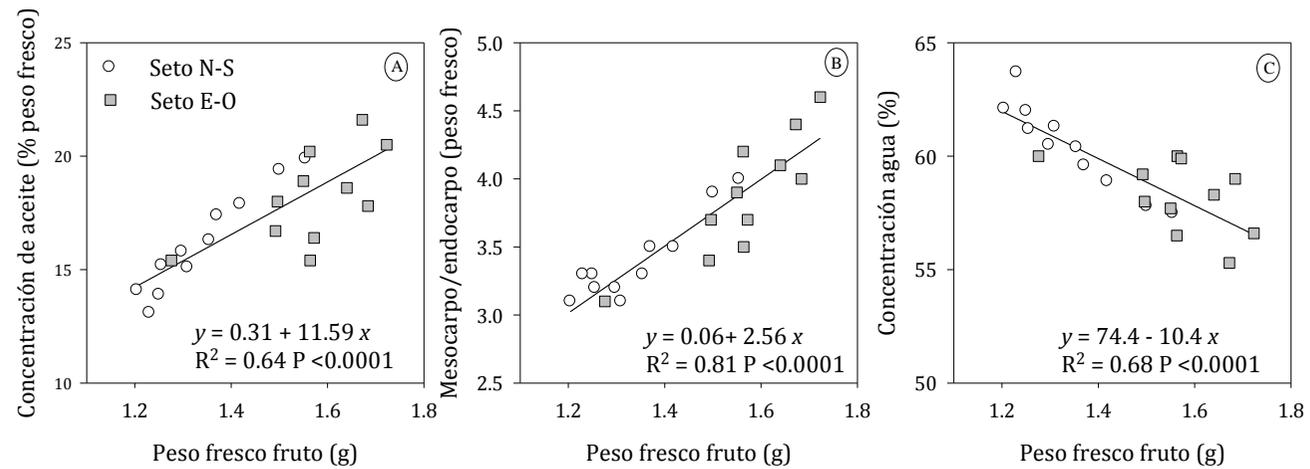
En promedio para las dos estaciones, los contenidos de agua, peso seco menos aceite y de aceite de los frutos y del mesocarpo en la cosecha varió significativamente entre las posiciones de la canopia, mientras la composición del endocarpo se vio afectada sólo ligeramente (Fig. 6.4). La concentración de agua de frutos y mesocarpo aumentó sucesivamente desde el top hacia la base de los setos, más notablemente en ambas caras del seto N-S que en ambas caras del seto E-O, mientras que la concentración de agua del endocarpo fue similar en todas las posiciones de la canopia tanto en el seto N-S como en el seto E-O. La concentración de aceite (% peso fresco) de los frutos y mesocarpo fue mayor en el top del seto y disminuyeron progresivamente hacia las bases, mostrando así una tendencia opuesta a la de la concentración de agua. Sin embargo, al igual que para la concentración de agua, los cambios en la concentración de aceite fueron más evidentes en ambas caras del seto N-S (rango de 11 - 19% en la fruta) que en ambas caras del seto E-O (rango 15 - 20% en la fruta). La concentración de aceite del endocarpo mostró ligeras diferencias entre las posiciones de la canopia, pero sin un claro patrón. El peso seco sin la fracción de aceite del mesocarpo y del endocarpo fue no significativamente diferente entre posiciones, pero para los frutos enteros, en ambas caras del seto E-O presentaron la composición más alta en las posiciones más bajas de la canopia, incrementando hacia el top.

Agrupando los datos de las 22 posiciones de la canopia (11 de cada seto) para el análisis de regresión; las concentraciones de aceite y agua de los frutos y la relación mesocarpo/endocarpo correlacionaron significativamente con el peso fresco de los frutos (Fig. 6.5). La concentración de aceite de los frutos y la relación de mesocarpo/endocarpo aumentó con el aumento del peso fresco de los frutos (Fig 6.5A,  $R^2 = 0,64$ ; Fig. 6.5B,  $R^2 = 0,81$ , respectivamente), mientras que la concentración de agua en el fruto disminuyó linealmente con el aumento del peso fresco de los frutos (Fig. 6.5C,  $R^2 = 0,68$ ).

VI. Características de la hoja y el fruto en distintas posiciones del seto



**Fig. 6.4.** Composición del fruto, pulpa (mesocarpo) y hueso (endocarpo con semilla) de agua, el peso en seco sin aceite y aceite, de frutos recogidos en diferentes posiciones de ambas caras de seto orientado N-S (paneles superiores) y seto orientado E-O (paneles inferiores) en las estaciones 2012 y 2013. Las posiciones de los setos se ilustran en la Fig. 6.1; el top es el mismo para ambas caras, pero aparece dos veces en la figura. El análisis estadístico mediante el test MDS en  $p \leq 0,05$  fue realizado para cada seto por separado. Valores de cada tejido con la misma letra no son significativamente diferentes entre las posiciones y las caras del mismo seto. ns no significativo.



**Fig. 6.5.** La posición del fruto en la canopia determina las relaciones entre peso fresco de los frutos y (A) la concentración de aceite de los frutos, (B) relación mesocarpo/endocarpo, y la concentración de agua de los frutos (C), para los valores de dos años y 22 posiciones diferentes de la canopia, 11 posiciones de frutos de seto N-S (círculos vacíos) y 11 posiciones de frutos en seto E-O (cuadrados grises).

### 6.3.3.3. Tamaño y número de células del mesocarpo

El tamaño de las células del mesocarpo se vio afectado significativamente por la posición de los frutos en la canopia en cada orientación de seto, pero el número de células no fue afectado (Tabla 6.5). En el seto N-S, el tamaño de células del mesocarpo fue mayor en los frutos de la parte superior y disminuyó progresivamente hacia las posiciones más bajas y menos expuestas, con el tamaño de células del mesocarpo más pequeño en los frutos de la posición 10. Se observó un patrón similar entre posiciones en el seto E-O, con el mayor tamaño de células del mesocarpo en la posición 5S, disminuyendo hacia las posiciones más bajas en ambas caras del seto. Además, el tamaño de células mesocarpo de los frutos en posiciones 5S y 1S fueron significativamente más altos que el de los frutos de las posiciones de la canopia sobre la cara opuesta 5N y 1N, respectivamente (Tabla 6.5).

El mesocarpo de los frutos provenientes del seto N-S, presentaron mayor área de las células epidérmicas en los frutos de la posición 1E respecto a 10, mientras que el área de las células epidérmicas de los frutos de las parte alta del seto 5E & O fueron no significativamente diferentes. En contraste, el ancho de las células epidérmicas y el área de cutícula que cubría cada célula no fueron afectados por la posición del fruto (Tabla 6.6). En el seto E-O, el área promedio de las células epidérmicas no fue afectadas por la posición del fruto, sin embargo el mesocarpo de los frutos de la parte alta del seto (posiciones 5S & N) presentaron células epidérmicas de mayor ancho y con mayor área de cutículas que el mesocarpo de los frutos en la base del seto (posiciones 1S & N) (Tabla 6.6).

**Tabla 6.5.** Número y tamaño de las células del mesocarpo a cosecha de frutos de diferentes posiciones de setos de olivo orientados N-S y E-O en el año 2012.

ªPosiciones del seto	Seto N-S				Seto E-O			
	Número células mesocarpo (10 <sup>3</sup> )		Tamaño células mesocarpo x 10 <sup>2</sup> (µm <sup>2</sup> )		Número células mesocarpo (10 <sup>3</sup> )		Tamaño células mesocarpo x 10 <sup>2</sup> (µm <sup>2</sup> )	
	E	O	E	O	N	S	N	S
Top	17,9 ns		48,1a		20,7 ns		48,2ab	
5	16,5	18,4	48,0a	43,3abc	19,6	19,8	47,6bc	53,4a
3	16,3	17,9	46,2ab	42,3bc	19,0	20,5	46,9bc	49,1ab
1	17,3	17,8	45,5abc	40,9c	18,3	20,4	43,3c	48,5ab

<sup>a</sup> El significado de las posiciones del seto son ilustradas en la Fig. 1.

Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto. ns no significativo.

Basado en 30 frutos pos posición del seto

**Tabla 6.6.** Características de las cutículas y de células epidérmicas de frutos en cosecha de diferentes posiciones de setos de olivo orientados N-S y E-O en el año 2012.

ªPosiciones del seto	(Área cutícula/célula epidérmica) x10 <sup>2</sup>		Células epidérmicas			
	µm <sup>2</sup>		Área x10 <sup>2</sup> µm <sup>2</sup>		Ancho µm	
	E	O	E	O	E	O
Seto N-S	E	O	E	O	E	O
5	4,2ns	4,1	2,8ab	2,8ab	21ns	20
1	3,6	3,8	3,1a	2,6b	20	18
Seto E-O	N	S	N	S	N	S
5	4,2a	4,2a	3,0ns	3,1	22a	21a
1	3,5b	3,6b	3,2	3,1	18b	19b

<sup>a</sup> El significado de las posiciones del seto son ilustradas en la Fig. 6.1.

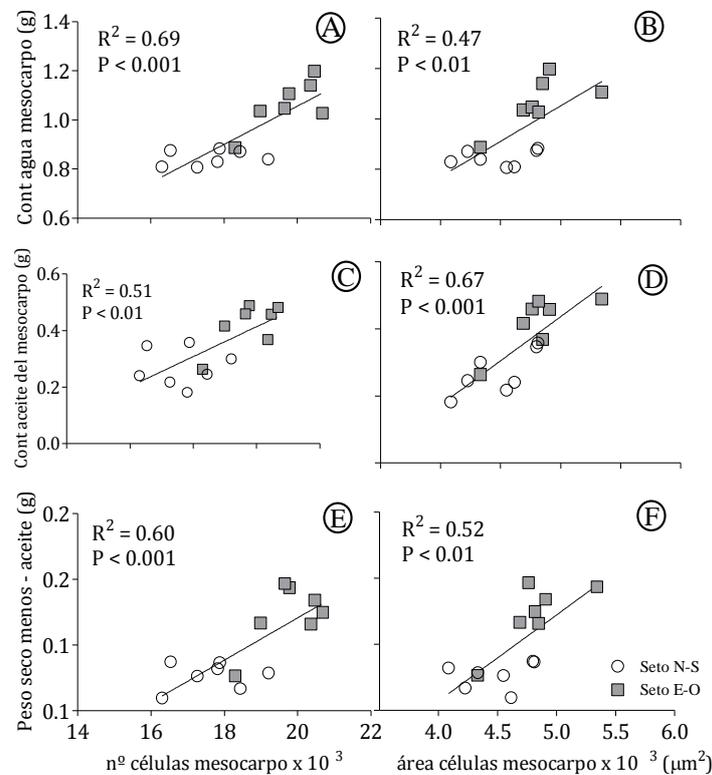
Valores con la misma letra son no significativamente diferentes entre alturas y caras del mismo seto. ns: no significativo.

Basado en 30 frutos pos posición del seto

#### 6.3.3.4. Relaciones entre la composición del mesocarpo y el tamaño y número de células del mesocarpo

Las relaciones entre la composición y el número de células (paneles de la izquierda) y el tamaño celular (paneles de la derecha) del mesocarpo se muestran en la Fig. 6.6, combinando los datos de los dos setos en una sola regresión lineal. El contenido de agua del mesocarpo y el peso en seco sin aceite presentaron más altos coeficientes de determinación con el número de células del mesocarpo ( $R^2 = 0,69$  y  $R^2 = 0,60$ , respectivamente) que con el tamaño de la células ( $R^2 = 0,47$  y  $R^2 =$

0,52, respectivamente). En contraste, el coeficiente de determinación del contenido de aceite del mesocarpo fue mayor con el tamaño de las células del mesocarpo ( $R^2 = 0,67$ ) que con el número de células ( $R^2 = 0,51$ ).



**Fig. 6.6.** Relaciones de la concentración de agua, aceite, y peso seco sin aceite con el número de células (paneles de la izquierda A, C, E) y tamaño de células (células por área transversal, paneles de la derecha B, D, F) del mesocarpo de frutos cosechados en 3 alturas (posiciones 1, 3 y 5) de ambas caras y el top de setos orientados N-S (círculos vacíos) y E-O (cuadrados grises) en el año 2012.

### 6.3.3.5. Relación entre radiación, número de frutos y composición del mesocarpo

La irradiancia total sobre las diferentes posiciones de la canopia durante el crecimiento del fruto fue relacionada significativamente con el número de frutos, el tamaño y la composición del mesocarpo (Tabla 6.7). El número de frutos se relacionó linealmente con la irradiancia ( $R^2 = 0,66$ ), donde las posiciones del seto (los top no estaban totalmente cubiertos con brotes por lo que estas posiciones no fueron consideradas en esta relación) que fueron más iluminadas produjeron un

mayor número de frutos. El peso fresco del mesocarpo (por fruto) varió marcadamente entre posiciones de dosel, con la mayor parte de su variación explicada por la radiación ( $R^2 = 45$ ), pero no por el número de frutos. La relación mesocarpo/endocarpo también se relacionó positivamente con la radiación ( $R^2 = 49$ ), pero no con el número de frutos. El contenido de agua del mesocarpo, en contraste se relacionó negativamente con la radiación ( $R^2 = 63$ ) y con el número de frutos ( $R^2 = 65$ ), y fue el único parámetro probado que mostró una relación negativa. La concentración de aceite del mesocarpo se asoció positivamente tanto con la radiación ( $R^2 = 58$ ) y con el número de frutos ( $R^2 = 60$ ). A nivel celular, ni el número de frutos, ni la radiación se relacionaron significativamente con el número de células del mesocarpo ( $p = 0,41$ ,  $p = 0,93$ , respectivamente) y con tamaño de células del mesocarpo ( $p = 0,07$ ;  $p = 0,61$ , respectivamente).

Las relaciones entre radiación y número de frutos con los parámetros medidos en la epidermis del mesocarpo fueron no estudiados debido a que sólo fueron estudiadas 2 posiciones en cada seto, sin contar con datos en posiciones intermedias que permitan hacer válidas las relaciones obtenidas.

**Tabla 6.7.** Relaciones entre la irradiancia total ( $\text{mol RFA/m}^2$ ) durante el crecimiento de los frutos y el número de frutos con peso fresco y composición de mesocarpo, datos basados (promedio de las estaciones 2012 y 2013) de frutos cosechados a 5 alturas y ambas caras de setos de olivo orientados N-S y E-O ( $n = 20$ ).

Variable (x)	Variable (y)	Regresión lineal	R <sup>2</sup>
Irradiancia total	Número de frutos/ m lineal	$y = 98,3 + 0,17 x$	0,66*
Irradiancia total	Mesocarpo-peso fresco (g)	$y = 1,04 + 0,00006 x$	0,45*
Irradiancia total	Mesocarpo-concentración agua (%)	$y = 70,5 - 0,0017 x$	0,63*
Irradiancia total	Mesocarpo-concentración aceite (%)	$y = 18,1 + 0,002 x$	0,58*
Irradiancia total	Mesocarpo/endocarpo	$y = 3,3 + 0,0002 x$	0,49*
Número de frutos	Mesocarpo-peso fresco (g)	na <sup>b</sup>	na
Número de frutos	Mesocarpo-concentración agua (%)	$y = 70,8 - 0,007 x$	0,65*
Número de frutos	Mesocarpo-concentración aceite (%)	$y = 17,9 + 0,010 x$	0,60*
Número de frutos	Mesocarpo/endocarpo	na	na

El asterisco (\*) indica relaciones lineales significativas a  $p \leq 0,05$ . <sup>b</sup> na = no aplicable debido a la falta de regresión lineal significativa.

## 6.4. Discusión

### 6.4.1. Perfiles de radiación

La estructura de la canopia óptima para obtener una alta productividad en plantaciones de olivos en setos, es el resultado de una combinación adecuada de altura y ancho de la canopia, espaciamiento entre filas y orientación de las filas que permitan incrementar la iluminación. Estos atributos han sido ampliamente investigados con modelos matemáticos de radiación para sistemas de setos en olivo (Connor, 2006), manzano (Cain, 1972), vid (Pieri, 2010) y cítricos (Annandale et al., 2004), y ahora requieren estudios empíricos para identificar las relaciones entre los patrones de iluminación de la canopia, el desarrollo de hojas y fruto, y los componentes del rendimiento (Connor et al., 2014).

Las diferentes orientaciones, caras, y alturas dentro de la canopia de los setos utilizadas en este estudio nos permitieron obtener posiciones de la canopia expuestas a un amplio rango de irradiancia total incidente durante todo el periodo de crecimiento de los frutos (282-3053 mol RFA/m<sup>2</sup>, Fig. 6.2), que condujeron a marcadas diferencias en la morfología y fisiología de las hojas y en el desarrollo y composición de los frutos. La irradiancia sobre la canopia disminuyó con la disminución de la altura de seto, pero varió ampliamente en la evolución y cantidad en función de la orientación del seto.

### 6.4.2. Relación entre radiación y las características de la hoja

La hojas que se desarrollaron en posiciones poco iluminadas de la canopia (1E & O y 1S & N) tuvieron mayor área foliar y AFE, respecto a las hojas de posiciones iluminadas, adaptaciones morfológicas descrita en un amplio rango de especies como mecanismo para incrementar la captura de radiación (Valladares et al., 2007), y reconocido en estudios previos en olivo (Gregoriou et al., 2007; Larbi et al., 2014; Tombesi y Cartechini, 1986). El mayor contenido de clorofila ( $a+b$ ) en hojas ubicadas en las posiciones menos iluminadas de la canopia de los setos orientados N-S y E-O, también ha sido reportado en olivo en respuesta a diferentes intensidad de sombreo artificial (Gregoriou et al., 2007; Melgar et al., 2009). En contraste, Larbi et al. (2014) en un estudio reciente, no encontraron

---

diferencias significativas en el contenido de clorofilas  $a+b$  en hojas de tres posiciones de la canopia (<1 m, 1-2 m y > 2 m) de olivos en seto utilizando el mismo cultivar (Arbequina) pero con mayor ancho de calle (ancho calle 4m x 2 m entre árboles) al estudiado aquí.

En el seto N-S, a bajos niveles de radiación, la tasa fotosintética de las hojas fue similar en todas las alturas y caras. A niveles medio y alto de radiación, sin embargo, las hojas de la base del seto (pos. 1), presentaron menor tasa fotosintética que las hojas en las posiciones 3 y 5, más notable en Septiembre 2013 que en Octubre 2012. Las hojas en las posiciones alta de la canopia 5E & O presentaron también similar o ligeramente menor capacidad fotosintética que las posiciones intermedia de la canopia 3E & O en niveles altos de radiación (1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ ), en correspondencia con estudios realizados recientemente en setos de olivo orientados N-S de los cvs. Arbequina y Arbosana (Larbi et al., 2014). Adicionalmente, en la base de la canopia las hojas sobre la cara E presentaron fotosíntesis significativamente inferior que sobre la cara O.

En el seto orientado E-O, las hojas en posiciones 1S y 3S presentaron consistentemente mayor capacidad fotosintética que hojas en posiciones 1N y 3N a niveles medios y altos de radiación. En el estrato alto de la canopia, estas diferencias se observaron en 2012, pero no en 2013. Las hojas en la posición 1S presentaron ambos años mayor capacidad fotosintética a niveles medios y altos de radiación respecto al resto de la posiciones.

La menor tasa fotosintética de las hojas en posiciones poco iluminadas de la canopia observados en la base del seto N-S y en la cara N del seto E-O en general, ha sido ampliamente reconocido en olivo (Gregoriou et al., 2007; Larbi et al., 2014) y en otros frutales (Hampson et al., 1996; Lombardini et al., 2009), sin embargo nuestros resultados enfatizan también el efecto adicional de la temperatura (baja y alta) para explicar en parte la menor respuesta fotosintética en hojas expuestas a nivel bajo (1E < 1O) o muy alto de radiación (posiciones 5 < 3) durante el desarrollo de las hojas (Bongi et al., 1987). La mayor  $P_n$  desde la posición 1S a 3S y 5S sugiere que las hojas expuestas a niveles de altos de radiación solar diurna y estacionalmente (3S y 5S, Fig. 6.2) podrían estar expuestas a estrés hídrico

---

moderado o fotoinhibición disminuyendo su respuesta fotosintética a incrementos en la intensidad de radiación (Gamon y Pearcy, 1990; Sofo et al., 2009).

Por otro lado, los cambios en la morfología de las hojas como consecuencia del gradiente de radiación estudiados parecen ser permanentes, mientras los cambios fisiológicos no, así las hojas que crecieron en posiciones bajas de la canopia presentaron una elevada capacidad fotosintética, similares que el resto de posiciones, cuando fueron expuestas a niveles medios y altos de radiación. (Gregoriou et al., 2007).

#### **6.4.3. Relación entre radiación y las características del fruto y sus tejidos**

El peso fresco del fruto y del mesocarpo fueron más altos en el de los setos, disminuyendo en posiciones sucesivamente inferiores del seto en correspondencia con las tendencias generales observadas en setos de diferentes cultivos frutales (Farina et al., 2005 en melocotón; Moon et al., 2011 en mandarina; Drogoudi y Pantelidis de 2011, en manzano). Por otro lado, la disminución del peso de los frutos con la altura del seto mostró valores similares en ambas caras del seto N-S, mientras que en el seto E-O, la cara S presentó valores más altos que la N (Tablas 6.3 y 6.4). La variación de peso del mesocarpo entre las diferentes posiciones del seto fue bien explicado por la irradiancia total incidente sobre la canopia ( $R^2 = 0,45$ , Tabla 6.7). La relación positiva entre el peso del fruto y la irradiancia se ha identificado previamente, pero rara vez ha sido cuantificada en la mayoría de los cultivos frutales, tanto en los sistemas de plantación tradicional como en setos (por ejemplo Acebedo et al., 2000; Bartolini et al., 2014 en olivo; Dokoozlian y Kliewer, 1996 en vid; Farina et al., 2005 en melocotón). La pendiente de dicha relación puede ser utilizada para optimizar el tamaño del fruto y el contenido de aceite (Fig. 6.5) a lo largo de toda la profundidad de la pared del seto, a través del diseño de los setos (por ejemplo, ancho de calle) y estrategias de manejo de la canopia (por ejemplo, mantenimiento de ancho de calle libre óptimo mediante la poda).

En adición al efecto directo de la radiación sobre el metabolismo del carbono a través de la fotosíntesis de las hojas, la radiación también podría influir en el crecimiento de los frutos y mesocarpo por otros mecanismos menos directos, tales

---

como: (i) brotes más largos se esperan en las posiciones de la canopia más iluminadas, lo que resulta en una mayor relación fruto:hoja (Cherbiy-Hoffmann et al., 2013), (ii) la radiación interceptada por el mismo fruto puede contribuir a la fotosíntesis de los frutos y a su crecimiento (Proietti et al., 1999) y (iii) mayor exposición de los frutos tiende a aumentar su actividad como sumideros debido a un aumento de la temperatura de la pulpa, lo que incrementa la translocación de carbono y otros asimilados hacia los frutos (Génard y Bruchou, 1993). La competencia entre los frutos por los asimilados disponibles puede complicar la respuesta a la radiación, pero en este estudio las diferencias en el peso fresco del mesocarpo entre posiciones de la canopia no se asociaron con el número de frutos (Tabla 6.7), lo que sugiere que la producción de asimilados fue suficiente para el desarrollo de los frutos y su mesocarpo, incluso en posiciones de la canopia con mayor número frutos.

La concentración de aceite de los frutos y la relación mesocarpo/endocarpo se relacionaron positivamente con la irradiancia total (Tabla 6.7), y con el peso fresco del fruto (Fig. 6.5A, B). En otras palabras, el mayor peso del fruto en posiciones de la canopia cada vez más iluminadas fue debido al aumento de pulpa y de aceite. Estas relaciones reafirman la alta actividad como sumidero del mesocarpo y de la acumulación de aceite en este tejido en frutos de olivo, sugerido anteriormente por Lavee y Wodner (2004), entre otros. En otros cultivos frutales como el manzano y melocotonero, más materia seca en los frutos (peso seco del fruto) tiende a acumularse en las posiciones de la canopia más iluminadas, pero esa respuesta no se traduce a mayor concentración de azúcar (Cantin et al., 2010; Link, 2000).

La concentración de agua de los frutos disminuyó linealmente con el aumento del peso fresco del fruto (Fig. 6.5C), de modo que los frutos más grandes de la parte superior de la canopia contenían más aceite y los frutos de la parte inferior de la canopia eran más pequeños pero con mayor concentración de agua. La correlación negativa entre el tamaño del fruto y la concentración de agua entre las posiciones de los setos es opuesta a los resultados previamente descritos en olivo, donde la concentración de agua de los frutos correlacionó positivamente con el tamaño de frutos, cuando las diferencias en el tamaño de los frutos fueron producidos por

---

déficit hídrico (Alegre et al., 2000; Martín-Vertedor et al., 2011; Motilva et al., 2000) o por las diferencias entre cultivares (Mailer et al., 2007; Trentacoste et al., 2012). Así, el microambiente que rodea los frutos de olivo en diferentes posiciones dentro de los setos afectó diferencialmente la relación entre el crecimiento del fruto y su composición, de tal manera que los frutos más grandes producidos con mayor radiación tenían más aceite pero menos concentración de agua. Evidentemente, las interacciones entre el crecimiento del fruto y la acumulación de aceite son bastante complejos, como es indicado por Génard et al. (2009) para el crecimiento del fruto y la acumulación de hidratos de carbono, y mayor investigación es aún requerida en olivo.

Los marcados gradientes en el tamaño del fruto y la composición desde el top del seto hacia la base en ambas orientaciones de setos, y entre las caras N y S del seto E-O, probablemente resulta de la limitada capacidad del olivo para el transporte de asimilados desde hojas bien iluminadas a zonas con escasa iluminación. Proietti y Tombesi (1996) demostraron la limitada translocación de asimilados dentro de la canopia del olivo en experimentos con sombreado artificial, mientras Corelli-Grabadelli et al. (1994) observaron restringida translocación de asimilados hacia los frutos en posiciones sombreadas en frutales de hoja caduca utilizando marcadores de CO<sub>2</sub> radiactivo. Desde el punto de vista de diseño seto, la confirmación de la limitada capacidad de translocación de asimilados enfatiza la necesidad de lograr una alta iluminación a lo largo de toda la profundidad de la pared del seto.

El tamaño y composición del endocarpo fueron similares entre todas las posiciones dentro de los setos (Tablas 6.3 y 6.4, Fig.6.4). Este hallazgo se apoya en un trabajo reciente (Bartolini et al., 2014) donde el tamaño endocarpo no difirió entre frutos bien expuestos a la luz y frutos situados dentro de la canopia en dos cultivares de olivo. Esta uniformidad podría haber surgido como consecuencia la ausencia de respuesta del crecimiento y desarrollo del endocarpo a condiciones variables de radiación. Una explicación más probable, sin embargo, es que en las posiciones menos iluminados la tasa de crecimiento del endocarpo estuvo limitada por bajos niveles de asimilados disponibles, pero el crecimiento completo del endocarpo y su

---

esclerificación finalmente tuvieron lugar, aunque más lentamente, como también se ha observado durante el crecimiento de frutos de olivo bajo estrés hídrico (Rapoport et al., 2004). La finalización completa del crecimiento endocarpo, incluso a una tasa reducida, podría resultar de la fuerte capacidad como sumidero de este tejido, propuesto como estrategia evolutiva para proteger la semilla (Dardick et al., 2010; Hammami et al., 2013). Por otro lado, como en los experimentos de estrés hídrico (Rapoport et al., 2004), el retraso en el crecimiento y esclerificación del endocarpo a su vez produce un período más prolongado de competencia por asimilados entre el endocarpo y mesocarpo, acentuando la caída en el peso mesocarpo en respuesta a la reducción de la radiación disponible en la canopia. Estudios durante el desarrollo del fruto se están llevando a cabo para verificar esta hipótesis y especificar mejor los factores que intervienen.

#### **6.4.4. Número y tamaño de las células de mesocarpo y su relación con el tamaño y composición del mesocarpo**

El crecimiento del mesocarpo se produce por la interacción de la división celular y la expansión celular. En nuestro experimento el tamaño de las células del mesocarpo fue significativamente diferente entre los frutos cosechados de diferentes posiciones de los setos, pero no el número de células del mesocarpo (Tabla 6.5). En correspondencia con el tamaño del mesocarpo, el tamaño de las células fue mayor en posiciones sucesivamente más altas de la canopia en el seto N-S y significativamente mayor en la cara S que cara N del seto E-O, lo que sugiere que el tamaño celular del mesocarpo limitó el tamaño de los frutos en las posiciones de la canopia expuestos a bajos niveles de radiación. Nuestros resultados concuerdan con estudios que muestran que el tamaño final de células se ve afectada por la disponibilidad de asimilados en frutos de castaño (Famiani et al., 2000) y pepino (Marcelis, 1993). Sin embargo observaciones opuestas en tomate indican que los frutos expuestos a la radiación desarrollan más número pero células más pequeñas en comparación con frutos expuestos a la oscuridad (Okello et al., 2014). El comportamiento celular durante el desarrollo del fruto puede ser influenciado por las características específicas de las diferentes especies frutales; el desarrollo del fruto de olivo se caracteriza por un largo período de maduración,

en el que la expansión celular del mesocarpo se produce simultáneamente con un alto requerimiento energético para el metabolismo y la acumulación de aceite en las células mesocarpo. Además, la etapa final de crecimiento del mesocarpo se superpone con limitaciones ambientales en el suministro de asimilados, debido (i) a la disminución de la radiación disponible en otoño, (ii) los mayores gradientes de radiación incidente entre las posiciones del seto (Fig. 6.2), y (iii) la senescencia de las hojas (Proietti, 2003). Así limitaciones en la disponibilidad de asimilados para los frutos y la competencia interna por los asimilados entre el crecimiento y el metabolismo de aceite podrían producir diferencias en la expansión de células mesocarpo más que en la división celular entre las posiciones de la canopia expuestas al ambiente de manera diferente.

El número y tamaño de células del mesocarpo explicó el 51% y 67% de la variación en el contenido de aceite del mesocarpo entre las posiciones de los frutos, respectivamente (Fig. 6.6 C, D). Mientras que la división celular y la expansión son esenciales en el crecimiento de los tejidos, su relación con el almacenamiento de asimilados sólo está empezando a ser explorado. En este sentido el número de células parece tener efectos sobre la habilidad de los sumideros para atraer asimilados hacia el mesocarpo (Bertin et al., 2002; Gillaspy et al., 1993), mientras que la tasa de expansión celular durante las etapas finales de crecimiento del fruto (i.e. actividad de sumidero) también juega un papel importante en la importación de asimilados hacia los frutos (Génard et al., 1999). La composición del mesocarpo es uno de los criterios comerciales más importantes en olivo y es muy influenciada por la variabilidad entre y dentro de los genotipos, el ambiente y el manejo del cultivo, por lo que la asociación entre los procesos de expansión del mesocarpo, la acumulación de aceite y el desarrollo celular requiere futuros estudios.

### **6.5. Conclusiones**

En este capítulo hemos mostrado y modelado distintos patrones de irradiancia total incidente sobre setos orientados N-S y E-O, y profundizado el conocimiento sobre la interacción entre la radiación y las características de las hojas, el número, tamaño y composición de los frutos a nivel de órgano, tejido y células. Nuestros resultados revelaron un fuerte efecto de la irradiancia recibida por la canopia

---

sobre el área y contenido de clorofila de las hojas y en el tamaño y composición del mesocarpo (agua y aceite), sin efectos sobre el tamaño y la composición endocarpo.

El número de frutos en diferentes posiciones del seto se relacionó con la radiación incidente cuando no se consideraron los estratos superiores de los setos. El número de frutos afectó la composición del mesocarpo a cosecha, pero no el tamaño mesocarpo. A nivel celular, los frutos expuestos a mayores niveles de radiación células del mesocarpo más grandes que los frutos que crecieron en la sombra, pero el número de células no se vio afectado. Nuestros resultados indican que el número y el tamaño de las células del mesocarpo están relacionados con la composición en términos de aceite, agua y peso seco menos aceite, aunque la manera específica en que interactúan queda por determinar.

En el seto orientado N-S, las hojas que se desarrollaron en las posiciones medias de la canopia presentaron alta capacidad fotosintética, mientras que las hojas que desarrollaron en condiciones de baja y alta iluminación de la base y cerca del estrato más alto, respectivamente, presentaron menor capacidad fotosintética cuando fueron transferidas a niveles medios y altos de radiación. En el seto E-O, en cambio, la capacidad fotosintética de las hojas disminuyó desde la base hacia la parte superior del seto, registrando las hojas de la parte baja y media de la canopia mayor capacidad fotosintética sobre la cara S que la N, sugiriendo el efecto negativo de altos niveles de radiación y de alta temperatura asociada sobre la capacidad fotosintética de las hojas en olivo.

## VII. Conclusiones

### 7.1. Discusión general y aplicación práctica

En los últimos 30 años, en el cultivo del olivo se han producidos importantes cambios tecnológicos buscando incrementar la productividad, con tecnologías que combinan el incremento de la densidad de plantación, el riego por goteo, la fertirrigación y el uso de plantas homogéneas desde la plantación. Hoy el desafío es lograr la mecanización completa y continua de las principales tareas, especialmente de la cosecha, para reducir los costes y permitir un manejo rápido y oportuno, lo que le daría mayor competitividad frente a otras oleaginosas. En este contexto las plantaciones superintensivas en seto parecen ser el sistema adecuado para alcanzar estos objetivos ya que permite la recolección con vendimiadora modificada (Connor et al., 2014).

Las primeras plantaciones comerciales en seto se realizaron a principio de 1990 (Rallo et al., 2013), a partir de esa fecha se ha expandido comercialmente en países de la cuenca del Mediterráneo, y en zonas no tradicionales para este cultivo (Cherbiy-Hoffmann et al., 2012). Esto se hizo en ausencia de conocimiento científico adecuado del impacto de esta estructura y la mecanización asociada a ella sobre la respuesta de los árboles y su productividad. En el diseño de los olivares en setos, la orientación de las filas y el ancho de calle son aspectos fundamentales, ambos modifican la cantidad y distribución de la radiación interceptada por la canopia (Connor y Gómez-del-Campo, 2013), y una vez plantado el seto, la orientación de las filas y el ancho de calle no pueden ser modificados, con lo cual, las ventajas o desventajas permanecerán fijas durante toda la vida productiva del olivar.

La mayoría de los olivares en seto se han plantado con filas orientadas N-S, aún en condiciones donde otras orientaciones podrían permitir un uso más eficiente de la

---

geometría y pendiente del terreno y tiempo de operación de la maquinaria, presumiblemente por la idea generalizada, de que esta orientación conduce a mayor productividad del olivar. Por otro lado, el ancho de calle utilizado en olivares en seto, es seleccionado según las dimensiones de la maquinaria utilizada, y no siempre responde al objetivo de incrementar la producción y calidad del aceite. Si bien, fue evidente en olivo la falta de estudios publicados sobre el impacto de la orientación del seto y el ancho de calle en la producción y calidad del aceite, en otros frutales también fueron escasos. La poca atención que han recibido la orientación del seto y el anchos de calle, es explicada porque su estudio requiere de grandes parcelas experimentales, especialmente diseñadas desde su plantación, y largos períodos de espera antes de que se logren estructuras óptimas para obtener resultados válidos. A su vez el mantenimiento de estas parcelas es complejo y costoso.

En este trabajo, utilizando un modelo matemático desarrollado por Connor et al. (2009) se caracterizó el efecto de la orientación de las filas sobre la radiación incidente sobre olivares en seto de 2,5 m altura, 1,0 m de ancho, 3,0 m ancho de calle libre y 30% de porosidad horizontal, características de los setos utilizados en el ensayo. Anualmente, la radiación incidente es mayor en setos orientados N-S y NE-SO o NO-SE que en setos E-O, la diferencia disminuye en promedio del 17 al 4% al aumentar la latitud de 25 a 45 °. La radiación incidente sobre setos N-S y NE-SO o NO-SE es mínima y máxima en invierno y verano, respectivamente, pero el patrón se invierte en setos orientados E-O. La radiación incidente sobre ambas caras de los setos, también cambia según la estación y la orientación del seto. En setos N-S, la radiación es igual entre las caras E y O. En cambio, en los setos E-O, la cara S intercepta radiación durante todo el año, pero la cara N sólo por períodos cortos en la mañana temprano y por la tarde durante el verano (entre los equinoccios de primavera y otoño), mientras durante el resto del año, sólo es iluminado por la radiación difusa y reflejada en las calles y la radiación transmitida a través del seto desde la cara S. En los setos NE-SO y NO-SE, la radiación en las caras SE y SO es notablemente mayor que en los lados NO y NE, respectivamente, durante el invierno, primavera y otoño, pero es similar en verano.

El efecto de cuatro **orientaciones del seto** (N-S, NE-SO, NO-SE y E-O) con similar relación altura de seto/ancho de calle libre (0,70), sobre aspectos fisiológicos y agronómicos del cultivo del olivo fue estudiado experimentalmente. La máxima producción de aceite se consiguió en los setos orientados NE-SO (2,7 t aceite/ha) significativamente más alta que los setos orientados E-O (2,3 t aceite/ha). La producción de aceite no varió significativamente entre los setos orientados N-S (2,5 t aceite/ha) y E-O (2,3 t aceite/ha). Este resultado en olivo, contrasta con lo observado en otros frutales conducidos en seto, donde setos orientados N-S fueron significativamente más productivos que E-O, en el orden del 20% (Christensen et al., 1979; Khemira et al., 1993, Intrieri et al., 1996; Naylor et al., 2001).

En los setos orientados NE-SO, la producción de aceite en la cara SE fue 32% mayor que en la NO, pero el peso seco del fruto, contenido de aceite, concentración de agua e índice de madurez fueron similares entre caras. En los setos orientados N-S, la producción de aceite, componentes del rendimiento y características del fruto no fueron significativamente diferentes entre las caras E y O. En los setos orientados E-O, en contraste, la producción de aceite en la cara S fue 27% más alta que en la cara N, y a su vez los frutos de la cara S presentaron mayor peso seco, contenido de aceite e índice de madurez que en la cara N.

El número de frutos fue el componente más importante para explicar las diferencias productivas entre orientaciones. A su vez, los setos NE-SO presentaron mayor número de yemas desarrolladas y porcentaje de inflorescencias fértiles que los setos E-O. La mayor producción de aceite en los setos NE-SO, podría también, estar asociada con la mayor tasa fotosintética en la mañana, observada en las hojas de la cara iluminada del seto NE-SO respecto al seto E-O.

La temperatura de los frutos tiene un gran impacto sobre el tamaño y contenido de aceite de los frutos y la calidad del aceite (García-Inza et al., 2014). La temperatura de los frutos, además, varía en relación con la posición de los frutos en la copa de los árboles (Orlandini et al., 2005). Midiendo la temperatura interna de los frutos de setos con distintas orientaciones, durante el periodo de síntesis de aceite encontramos: (i) frutos en la cara O del seto N-S tuvieron temperatura media 1 °C más alta que en la cara E, y (ii) los frutos en la caras más iluminadas (SE, SO y S)

---

registraron entre 2 y 3 °C más que los frutos de las caras menos iluminadas (NO, NE y N), en los setos NE-SO, NO-SE y E-O, respectivamente. A pesar de estas diferencias, la calidad del aceite en términos de contenido de ácidos grasos no fue afectada ni por la orientación del seto.

Aportando la misma dosis de riego, los olivares en setos orientados N-S presentaron menor contenido relativo de agua en el suelo que los setos E-O y NO-SE (12 y 9%, respectivamente) durante la estación verano-otoño. Estas diferencias no afectaron el potencial hídrico de tallo medido al mediodía, o a distintas horas durante el día. Estos resultados resaltan el hecho que la productividad de los setos orientados N-S no fue limitada por disponibilidad de agua.

El **ancho de calle** fue evaluado experimentalmente, en olivares en setos orientados N-S y E-O y tres anchos de calle (5, 4 y 2,5 m), lo que correspondió a un incremento de la relación entre la altura del seto y el ancho de calle libre ( $A_l/A_n$ ) desde 0,6 a 0,8 y 1,6, respectivamente. La producción de aceite respondió al ancho de calle, de manera diferente dependiendo de la orientación de las filas. En los setos orientados N-S, la producción de aceite acumulada desde plantación hasta el quinto año, respondió a la reducción del ancho de la calle desde 5,0 a 4,0 y 2,5 m en la secuencia 5,9: 6,7: 8,8 t aceite/ha (i.e. 100: 114: 152%), respectivamente, menos que proporcional que el correspondiente incremento en la longitud de seto productivo por ha. Esto es explicado porque los árboles en el seto con menor ancho de calle (2,5 m) mostraron sólo una leve reducción del tamaño del fruto, contenido de aceite y número de frutos que los setos con mayores anchos de calle (4,0 y 5,0 m), similar a lo observado previamente en olivares en seto (León et al., 2007).

En setos orientados E-O, la producción de aceite acumulada por ha desde plantación hasta el quinto año, no respondió significativamente al ancho de calle, a pesar de duplicar la longitud de seto por ha al reducir desde 5,0 m a 2,5 m el ancho de calle. En esta orientación, los árboles en los setos con el menor ancho de calle tuvieron significativamente menos frutos y con menos contenido de aceite que los setos con calles más espaciadas en el periodo 2011-2013.

El ancho de calle también afectó la calidad del aceite elaborada a partir de frutos cosechados en distintos estratos de la canopia. En los setos orientados N-S, los perfiles verticales del contenido de ácidos grasos mayoritarios presentó mayor gradiente entre estratos del seto con ancho de calle de 2,5 m, en comparación con anchos de 4,0 y 5,0 m. En esta orientación, el aceite en las caras E y O, presentó similares características, independientes del ancho de calle. En los setos orientados E-O, en contraste, el patrón vertical de los ácidos grasos mayoritarios entre los estratos del seto, no fue afectado por el ancho de calle. Sin embargo, con mayor ancho de calle (4,0 y 5,0 m), el aceite de las caras S presentó mayor contenido de ácido palmitoleico, palmítico y linoleico y menor contenido de ácido oleico que en la cara N. Las diferencias en el contenido de ácidos grasos entre caras fueron escasas en los setos con ancho de calle de 2,5 m.

La mayor producción de aceite por hectárea en setos orientados N-S al reducir de 5 a 2,5 m el ancho de calle debe ser contrastado (i) con el mayor coste económico de la implantación y mayor tiempo requerido para las operaciones de la maquinaria y (ii) con el efecto a largo plazo sobre el crecimiento vegetativo, productividad, calidad y los requerimientos de manejo (Pastor et al., 2007). En los setos E-O, sin embargo, no encontramos ventajas en producción y ni en la calidad del aceite reduciendo de 5 a 2,5 m el ancho de calle.

En este trabajo se calibró un modelo para estimar la los perfiles de irradiancia sobre los setos evaluados experimentalmente y cuantificar su relación con los componentes del rendimiento y calidad del aceite. Primero evaluamos un modelo de radiación a partir de mediciones en campo de la porosidad de los setos utilizando un láser de mano, fotografías y ceptómetro. A partir de las mediciones en campo y la calibración del modelo obtuvimos que un coeficiente de extinción ( $k$ ) de 1,2, era apropiado para estimar con el modelo la irradiancia sobre olivares en seto con porosidad horizontal entre 18 y 35%.

El peso seco y rendimiento graso de olivares en seto con cuatro orientaciones de filas se asoció lineal y positivamente ( $R^2 = 0,63$ ) con la irradiancia media diaria (9 a 30 mol RFA/m<sup>2</sup>) estimada para todo el periodo desde floración a cosecha. La densidad de frutos incrementó linealmente con la irradiancia hasta un máximo de

---

550 frutos/m lineal de seto a un valor de radiación de 23 mol RAF/m<sup>2</sup>. Esta última relación reveló una respuesta más compleja que involucra cambios en la estructura del seto debido al manejo del seto y al probable efecto de la radiación sobre la secuencia previa que define el número de frutos que alcanzan la cosecha (yemas desarrolladas, iniciadas, floración y cuaje). Estas relaciones habían sido correctamente modeladas, sólo para setos orientados N-S (Connor et al., 2009)

Los perfiles verticales del contenido de los ácidos grasos mayoritarios del aceite fueron asociados con la irradiancia estimada para olivos en seto orientado N-S y con varios anchos de calle, pero no en setos orientados E-O. Lo que sugiere que otros factores ambientales adicionales a la radiación, como la temperatura, pueden ser necesarios incluir en futuros estudios para modelar adecuadamente la calidad del aceite (García-Inza et al., 2014; Rondanini et al., 2014). En setos N-S, el incremento de irradiancia estimada en el rango de 9-19 mol RFA/m<sup>2</sup>, produjo un incremento lineal en el contenido de ácido palmitoleico y linoleico del aceite, mientras el contenido de ácido oleico disminuyó linealmente en ese rango de radiación. El contenido de polifenoles totales aumentó linealmente para un rango más amplio de irradiancia (9 a 30 mol RFA/m<sup>2</sup>).

Utilizando un análisis jerárquico estudiamos y cuantificamos la influencia de la radiación estimada en la canopia del seto sobre las características morfológicas de las hojas, el peso del fruto, la composición elemental de los tejidos y la diferenciación histológica del mesocarpo (número y tamaño de células). Las hojas que desarrollaron en la base de los setos tuvieron mayor área foliar, área foliar específica y contenido de clorofila respecto a las hojas en estratos medio y alto del seto, adaptación que les permite a las hojas de estratos poco iluminados una mayor eficiencia en la captura de radiación (Larbi et al., 2014). En setos orientados N-S, las hojas del estrato medio del seto y en ambas caras presentaron la mayor capacidad fotosintética, cuando fueron expuestas a intensidades de radiación de 500 y 1200  $\mu\text{mol RFA/m}^2/\text{s}$ . La capacidad fotosintética disminuyó en las hojas desarrolladas en los estratos más bajo y alto del seto. En los setos E-O, las hojas sobre la cara S presentaron mayor capacidad fotosintética que sobre la cara N, a su vez la respuesta fotosintética de las hojas incrementó desde la base hacia los

---

estratos medio y alto del seto, cuando fueron expuestas a intensidades de radiación de 100, 500 y 1200  $\mu\text{mol RFA}/\text{m}^2/\text{s}$ .

El peso y contenido de aceite del mesocarpo disminuyeron desde el estrato más alto hacia la base del seto, y estuvieron positiva y linealmente relacionado con la irradiancia. En contraste el contenido de agua del mesocarpo incrementó desde el estrato superior hacia la base, lineal pero negativamente relacionado con la irradiancia. Así, el aumento en el peso fresco de los frutos hacia posiciones del seto más iluminadas estuvo positivamente asociado con un incremento en la concentración de aceite y de la relación mesocarpo/endocarpo, e inversamente relacionado con la concentración de agua de los frutos. El peso y composición del endocarpo fue similar entre todas las posiciones dentro de la canopia de los setos, reflejando el desarrollo temprano y su naturaleza conservativa como activo sumidero (Rapoport et al., 2004). Los frutos que crecieron y desarrollaron en posiciones de la canopia expuestas a mayores niveles de radiación desarrollaron en el mesocarpo células de mayor tamaño, respecto a los frutos ubicados en posiciones del seto pobremente iluminadas. En contraste, el número de células del mesocarpo no fue afectado por la posición del fruto en el seto. El contenido de aceite del mesocarpo estuvo estrechamente relacionado con el tamaño de las células.

Finalmente, las aplicaciones prácticas obtenidas de esta tesis, después de evaluar olivares en seto bien formados durante dos campañas son:

1. La orientación NE-SO ha resultado ser la más productiva. Las diferencias en producción de aceite entre orientaciones en setos con relación altura del seto/ancho de calle libre de 0,7, fue sólo del 11%. Por tanto, no es recomendable forzar la orientación del seto cuando existen limitaciones relacionadas con la forma y geometría del terreno, o condiciones ambientales (riego de heladas, drenaje).
2. Las orientaciones de setos N-S y E-O no presentaron diferencias estadísticas en la producción de aceite. El ancho de calle más productivo para setos N-S fue de 2,5 m (relación altura seto/ancho de calle libre = 1,6).

Mientras que en setos E-O, la producción de aceite no incrementó significativamente por reducir el ancho de calle, por tanto la rentabilidad de la plantación será mayor con ancho de calle 5,0 m (relación altura seto/ancho de calle libre = 0,6).

3. La orientación del seto no afectó a la calidad del aceite en términos de ácidos grasos. En setos N-S incrementando el ancho de calle, la calidad del aceite fue más homogénea entre los estratos del seto. En oposición a setos E-O, donde con el ancho de calle más estrecho (2,5 m) se obtuvo menor variabilidad entre estratos en la calidad del aceite.

La evaluación de los ensayos en los próximos años será importante para corroborar estas conclusiones.

## **7.2. Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones**

En esta tesis nos centramos en el impacto de cambios en la estructura del seto sobre la irradiancia incidente y su relación con los componentes del rendimiento y la calidad del aceite. Si bien, hemos hecho un avance en la interpretación de la radiación disponible en setos al incluir la porosidad de la canopia, aún es necesario definir y medir con mayor precisión la radiación en el interior de la canopia. Adicionalmente, hay todavía un gran margen para optimizar el diseño de los setos a condiciones específicas, incluyendo el impacto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico, crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos.

El análisis preliminar de la radiación incidente sobre el seto en respuesta a la orientación de las filas y a la latitud del sitio, sugieren la necesidad de estudios experimentales que cubran un rango latitudinal adecuado para proporcionar comparaciones en las latitudes medias, donde el olivo ha sido cultivado en Europa durante siglos, así como las bajas latitudes en las zonas subtropicales en el que el cultivo se está expandiendo.

El impacto de la orientación de la filas fue evaluado en igualdad de dimensiones y ancho de calle. Bajo estas condiciones, la radiación incidente en base anual es menor en setos orientados E-O que N-S. Una comparación interesante en fututos

---

trabajos podría ser igualar la radiación entre orientación, por ejemplo reduciendo el ancho de calle en setos E-O.

La respuesta del ancho de calle en setos orientados N-S, revelan la necesidad de continuar las mediciones durante los próximos años para evaluar si la ventaja productiva en setos con calle estrecha se mantiene en el tiempo. Al mismo tiempo, más años experimentales son requeridos para confirmar el escaso gradiente vertical en la calidad del aceite observado en ambas caras de setos orientados E-O.

Los resultados expuestos en esta tesis en relación a la orientación de los setos y al ancho de calle fueron obtenidos evaluando experimentalmente y modelando setos estrechos de olivo (profundidad 2,5 m y ancho de la canopia 1-1,5 m) donde los frutos se localizan principalmente sobre la parte externa del seto y la canopia presenta porosidad horizontal entre 18 y 30% que favorece la transmisión de la radiación, lo que es particularmente importante en setos orientados E-O. En setos anchos (profundidad 4,5 m y ancho de la canopia 4,0 m), sin embargo, la distribución horizontal de los frutos dentro de la canopia puede ser importante y la porosidad horizontal notablemente inferior, por lo que las conclusiones podrían diferir entre los tipos de setos. Esta tesis puede ser una guía para hacer más eficientes futuros estudios en setos de distintas dimensiones.

En esta tesis nos acercamos a la cuestión del impacto de la radiación sobre el desarrollo y composición de los tejidos de los frutos, utilizando el gradiente natural entre distintas posiciones de la canopia. Es evidente, sin embargo, que hay una oportunidad para estudios histológicos más detallados en olivo que podrían requerir la modificación artificial de la radiación incidente (intensidad y tiempo), y muestreos en distintos momentos durante el desarrollo de los frutos.

## Referencias

- Abraha, M.G., Savage, M.J., 2010. Validation of a three-dimensional solar radiation interception model for tree crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 636–652.
- Acebedo, M.M., Cañete, M.L., Cuevas, J., 2000. Processes affecting fruit distribution and its quality in the canopy of olive trees. *Adv. Hortic. Sci.* 14, 169–175.
- Agam, N., Cohen, Y., Berni, J.A.J., Alchanatis, V., Kool, D., Dag, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., 2013. An insight to the performance of crop water stress index for olive trees. *Agric. Water Manag.* 118, 79–86.
- Aguirrezábal, L., Martre, P., Pereyra-Irujo, G., Izquierdo, N., Allard, V., 2009. Management and breeding strategies for the improvement of grain and oil quality. *Crop physiology. Applications for genetic improvement and agronomy*. V.O. Sadras; D. Calderini (eds). pp 389–423.
- Alegre, S., Marsal, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J., Tovar, M.J., 2002. Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) for oil production. *Acta Hort.* 586, 259–262.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Al-Shdiefat, S.M., Qrunfleh, M.M., 2008. Alternate bearing of the olive (*Olea europaea* L.) as related to endogenous hormonal content. *Jordan J. Agric. Sci.* 4, 12–24.
- 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.

- Annandale, J.G., Jovanovic, N.Z., Campbell, G.S., Du Sautoy, N., Benadé, N., 2003. A two-dimensional water balance model for micro-irrigated hedgerow tree crops. *Irri. Sci.* 22, 157–170.
- Annandale, J.G., Jovanovic, N.Z., Campbell, G.S., Du Sautoy, N., Lonit, P., 2004. Two-dimensional solar radiation interception model for hedgerow fruit trees. *Agric. Forest Meteorol* 121, 207–225.
- Auzmendi, I., Mata, M., Lopez, G., Girona, J., Marsal, J., 2011. Intercepted radiation by apple canopy can be used as a basis for irrigation scheduling. *Agric. Water Manag.* 98, 886–892.
- Awad, M.A., Wagenmakers, P.S., de Jager, A., 2001. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples. *Sci. Hortic.* 88, 289–298.
- Ayerza, R., Sibbett, G.S., 2001. Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84, 277–285.
- Ayton, J., Maile, R.J., Haigh, A., Tronson, D., Conlan, D., 2007. Quality and oxidative stability of Australian olive oil according to harvest date and irrigation. *J. Food Lipids* 1, 138–156.
- Baktir, I., Ulger, S., Kaynak, L., Himelreck, D.G., 2004. Relationship of seasonal changes in endogenous plant hormones and alternate bearing of olive trees. *HortSci.* 39, 987–990.
- Barranco, D., Rallo, L., 2000. Olive cultivars in Spain. *HortTechnol.* 10, 107–110.
- Barranco, D., Ruiz, N., Gómez-del-Campo, M., 2005. Frost tolerance of eight olive cultivars. *HortSci.* 40, 558–560.
- Bartolini, S., Leccese, A., Andreini, L., 2014. Influence of canopy fruit location on morphological, histochemical and biochemical changes in two oil olive cultivars. *Plant Biosystems* 148, 1221–1230.
- Bergqvist, J., Dokoozlian, N., Ebisuda, N., 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52, 1–7.
-

- Bertin N, Gautier H, Roche C. 2002. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. *Plant Growth Regulation* 36, 105–112.
- Beyhan, N., 2007. Effects of planting density on yield and quality characteristics of hazelnut (cv. Palaz) in a hedgerow training system. *Can. J. Plant Sci.* 87, 595–597.
- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F.J., Fereres, E., 1999. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. *Irrig. Sci.* 18, 205–211.
- Bongi, G., Long, S.P., 1987. Light-dependent damage to photosynthesis in olive leaves during chilling and high temperature stress. *Plant Cell Environ.* 10, 241–249.
- Bongi, G., Mencuccini, M., Fontanazza, G., 1987. Photosynthesis of olive leaves: effect of light flux density, leaf age, temperature, peltates, and H<sub>2</sub>O vapor pressure on gas Exchange. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 112, 143–148.
- Bonora, E., Noferini, M., Vidoni, S., Costa, G., 2013. Modelling fruit ripening for improving peach homogeneity in planta. *Sci. Hortic.* 159, 166–171.
- Bustan, A., Avin, A., Lavee, S., Zipori, I., Yeselson, Y., Schaffer, A.A., Riov, J., Dag, A., 2011. Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Tree Physiol.* 31, 519–530.
- Cain, J.C., 1972. Hedgerow orchard design for most efficient interception of solar radiation. Effects of tree size, shape, spacing, and row direction. *Search Agric.* 2, 1–14.
- Campbell, R.J., Marini, R.P., 1992. Light environment and time of harvest affect 'Delicious' apple fruit quality characteristics. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 551–557.
- Cantin, C.M., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., 2010. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) breeding progenies. *Euphytica* 171, 211–226.

- Celano, G., Minnocci, A., Sebastiani, L., D'Auria, M., Xiloyannis, C., 2009. Changes in the structure of the skin of kiwifruit in relation to water loss. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 41–46.
- Centritto, M., Wahbi, S., Serraj, R., Chaves, M.M., 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate II. Photosynthetic responses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106, 303–311.
- Charles-Edwards, D.A., Thorpe, M.R., 1976. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Ann. Bot.* 40, 603–613.
- Chen, J., Saunders, S.C., Crow, T.R., Naiman, R.J., Brosofske, K.D., Mroz, G.D., Brookshire, B.L., Fanklin, J.F., 1999. Microclimate in forest ecosystem. *BioSci.* 49, 288–297.
- Cherbiy-Hoffmann, S.U., Hall, A.J., Rousseaux, M.C., 2013. Fruit, yield, and vegetative growth responses to photosynthetically active radiation during oil synthesis in olive trees. *Sci. Hortic.* 150, 110–116.
- Cherbiy-Hoffmann, S.U., Searles, P.S., Hall, A.J., Rousseaux, M.C., 2012. Influence of light environment on yield determinants and components in large olive hedgerow following mechanical pruning in the subtropics of the southern hemisphere. *Sci. Hortic.* 137, 36–42.
- Christensen, J.V., 1979. Effects of density, rectangularity and row orientation on apple trees, measured in multivariated experimental design. *Sci. Hortic.* 10, 155–165.
- Cohen, S., Fuchs, M., 1987. The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti orange hedgerow orchard. Part I. Leaf area and radiation. *Agric. Forest Meteorol.* 40, 123–144.
- Cohen, S., Fuchs, M., Moreschet, S., Cohen, Y., 1987. The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti Orange hedgerow orchard. Part II Photosynthesis, transpiration and the effect of row shape and orientation. *Agric. Forest Meteorol.* 40, 145–162.

- Conde, C., Delrot, S., Gerós, H., 2008. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. *J. Plant Physiol.* 165, 1545–1562.
- Connor, D.J., 2006. Towards optimal designs for hedgerow olive orchards. *Aust. J. Agric. Res.* 57, 1067-1072.
- Connor, D.J., Centeno, A., Gómez-del-Campo, M., 2009. Yield determination in olive hedgerow orchards. II. Analysis of radiation and fruiting profiles. *Crop Pasture Sci.* 60, 443–452.
- Connor, D.J., Fereres, E., 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Hortic. Rev.* 31, 155–229.
- Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., 2013. Simulation of oil productivity and quality of N-S oriented olive hedgerow orchards in response to structure and interception of radiation. *Sci. Hortic.* 150, 92–99.
- Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Comas, J., 2012. Yield characteristics of N-S oriented olive hedgerow orchards, cv. Arbequina. *Sci. Hortic.* 133, 31–36.
- Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M.C., Searles, P.S., 2014. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: A review. *Sci. Hortic.* 169, 71–93.
- Corelli-Grappadelli, L., Lakso, A.N., 2004. Fruit development in deciduous tree crops as affected by physiological factors and environmental conditions. *Acta Hortic.* 636, 425–441.
- Corelli-Grappadelli, L., Lakso, A.N., Flore, J.A., 1994. Early season patterns of carbohydrate partitioning in exposed and shaded apple branches. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 119, 596–603.
- Cortell, J.M., Kennedy, J.A., 2006. Effect of shading on accumulation of flavonoid compounds in (*Vitis vinifera* L.) Pinot Noir fruit and extraction in a model system. *J. Agric. Food Chem.* 54, 8510–8520.
- Dai, Z.W., Vivin, A.P., Robert, T., Milin, S., Li, S.H., Génard, M., 2009. Model-based analysis of sugar accumulation in response to source–sink ratio and water supply in grape (*Vitis vinifera*) berries. *Funct. Plant Biol.* 36, 527–540.
-

- Dardick, C., Callahan, A., Chiozzotto, R., Schaffer, R., Piagnani, M.C., Scorza, R., 2010. Stone formation in peach fruit exhibits spatial coordination of the lignin and flavonoid pathways and similarity to *Arabidopsis* dehiscence. *BMC Biol.* 8, 13.
- de la Rosa, R., León, L., Guerrero, N., Rallo, L., Barranco, D., 2007. Preliminary results of an olive cultivar trial at high density. *Aust. J. Agric. Res.* 58, 392–395.
- DeJong, T.M., Doyle, J.F., 1985. The effect of row orientation on light distribution in hedgerow peach tree canopies. *Acta Hort.* 173, 159–166.
- del Río, C., Romero, A., 1999. Whole, unmilled olives can be used to determine their oil content by nuclear magnetic resonance. *HortTechnol.* 9, 675–680.
- De-Melo Abreu, P., Snyder, R.L., Ribeiro, A.C., 2002. Modeling radiation transmission, interception and reflection in a hedgerow apple orchard in the Northeastern Portugal. *Acta Hort.* 584, 73–80.
- Devyatov, A.S., Gorny, A.V., 1978. Effect of espalier orientation on light status and cropping of apple trees. *Fruit Sci. Rep.* 5, 1–8.
- Di Giovacchino, L., Solinas, M., Miccoli, M., 1994. Effect of extraction systems on the quality of virgin olive oil. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 71, 1189–1194.
- Díaz-Espejo, A., Nicolás, E., Fernández, J.E., 2007. Seasonal evolution of diffusional limitations and photosynthetic capacity in olive under drought. *Plant Cell Environ.* 30, 922–933.
- Dokoozlian, N.K., Kliewer, W.M., 1996. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121, 869–874.
- Drake, B.G., Raschke, K., Salisbury, F.B., 1970. Temperatures and transpiration resistances of xanthium leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed. *Plant Physiol.* 46, 324–330.
- Drogoudi, P.D., Pantelidis, G., 2011. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico-chemical and antioxidant properties in different apple cultivars. *Sci. Hortic.* 129, 752–760.
-

- Dussi, M.C., Giardina, G., Sosa, D., González, R., Junyent, A., Zecca, A., Reeb, P., 2005. Shade nets effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apple cv. Fuji. *Span. J. Agric. Res.* 3, 253–260.
- Fabbri, A., Benelli, C., 2000. Flower bud induction and differentiation in olive. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 131–141.
- Fallahi, E., Colt, W.M., Fallahi, B., Chun, I.J., 2002. The importance of apple rootstocks on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition, and photosynthesis with an emphasis on 'Fuji'. *HortTechnol.* 12, 38–44.
- Famiani, F., Proietti, P., Palliotti, A., Ferranti, F., Antognozzi, E., 2000. Effects of leaf to fruit ratios on fruit growth in chesnut. *Sci. Hortic.* 85, 145–152.
- Fanwoua, J., de Visser, P.H.B., Heuvelink, E., Angenent, G., Yin, X., Marcelis, L.F.M., Struik, P.C., 2012. Histological and molecular investigation of the basis for variation in tomato fruit size in response to fruit load and genotype. *Funct. Plant Biol.* 39, 754–763.
- Fanwoua, J., de Visser, PHB, Heuvelink E, Yin X, Struik PC, Marcelis LFM. 2013. A dynamic model of tomato fruit growth integrating cell division, cell growth and endoreduplication. *Funct. Plant Biol.* 40, 1098–1114.
- Farina, V., Lo Bianco, R., Inglese, P., 2005. Vertical distribution of crop load and fruit quality whitin vase- and Y-shaped canopies of 'Elegant Lady' peach. *HortSci.* 40, 587–591.
- Ferguson, L., 2006. Trends in Olive Harvesting. *Grasas Aceites.* 57, 9–15.
- Ferguson, L., Rosa, U.A., Castro-García, S., Lee, S.M., Guinard, J.X., Burns, J., Krueger, W.H., O'Connell, N.V., Glozer, K., 2010. Mechanical harvesting of California table and oil olives. *Adv. Hortic. Sci.* 24, 53–63.
- Fernández-Escobar, R., Moreno, R., Sánchez-Zamora, M.A., 2004. Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *HortSci.* 39, 1406–1411.
- Fernández, J.E., Cuevas, M.V., 2010. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agric. Forest Meteorol.* 150, 135–150.

- Fernández, J.E., Moreno, F., Girón, I.F., Blázquez, O.M., 1997. Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant Soil* 190, 179–192.
- Fernández, J.E., Pérez-Martin, A., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V., Rodríguez-Domínguez, C.M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J.M., Hernández-Santana, V., Díaz-Espejo, A., 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil* 372:279–295.
- Ferree, D.C., McArtney, S.J., Scurlock, D.M., 2001. Influence of irradiance and period of exposure on fruit set of french–american hybrid grapes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 126, 283–290.
- Ferree, D.C., Schupp, J.R., 2003. Pruning and training physiology. In *Apples, Botany, production and uses*. D.C. Ferree and I.J. Warrington (eds), CABI publishing. Wallingford, Oxon, United Kingdom.
- Fishman, S., Génard, M., 1998. A biophysical model of fruit growth: simulation of seasonal and diurnal dynamics of mass. *Plant Cell Environ.* 21, 739-752.
- Flore, J.A., Layne, D.R., 1990. The influence of tree shape and spacing on light interception and yield in sour cherry (*Prunus cerasus* cv. Montmorency). *Acta Hortic.* 285, 91–96.
- Fouché, J.R. Roberts, S.C., Midgley, S.J.E., Steyn, W.J., 2010. Peel color and blemishes in ‘Granny Smith’ apples in relation to canopy light. *HortSci.* 45, 899–905.
- Freixa, E., Gil, J.M., Tous, J., Hermoso, J.F., 2011. Comparative study of the economic viability of high- and super-high-density olive orchards in Spain. *Acta Hortic.* 924, 247–254.
- Gamon, J.A., Pearcy, R.W., 1990. Photoinhibition in *Vitis californica*. The role of temperature during high-light treatment. *Plant Physiol.* 92, 487–494.
- García-Inza, G.P., Castro, D.N., Hall, A.J., Rousseaux, M.C., 2014. Responses to temperature of fruit dry weight, oil concentration, and oil fatty acid composition in olive (*Olea europaea* L. var. ‘Arauco’). *Eur. J. Agron.* 54, 107–115.

- Génard, M., Bruchou, C., 1993. A functional and exploratory approach to studying growth: the example of the peach fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118, 317–323.
- Génard, M., Gibert, C., Bruchou, C., Lescourret, F., 2009. An intelligent virtual fruit model focusing on quality attributes. *J. Hortic. Sci. Biotechnol. Special Issue* 157–163.
- Génard, M., Huguet, J.G., 1996. Modeling the response of peach fruit growth to water stress. *Tree Physiol.* 16, 407–415.
- Génard, M.M., Lobit, R.P., Besset, J., 1999. Correlations between sugar and acid content and peach growth. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74, 772–776.
- Gijzen, H., Goudriaan, J., 1989. A flexible and explanatory model of light distribution and photosynthesis in row crops. *Agric. Forest Meteorol.* 48, 1–20.
- Gillaspy G, Ben-David H, Gruissem W. 1993. Fruits: a developmental perspective. *The Plant Cell* 5, 1439–1451.
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., Marsal, J., 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irri. Sci.* 24, 115–127.
- Giuliani, R., Magnanini, E., Fragassa, C., Nerozzi, F., 2000. Ground monitoring the light-shadow windows of a tree canopy to yield canopy light interception and morphological traits. *Plant Cell Environ.* 23, 783–796.
- Giuliani, R., Nerozzi, F., Magnanini, E., Corelli-Grappadelli, L., 1997. Influence of environmental and plant factors on canopy photosynthesis and transpiration of apple trees. *Tree Physiol.* 17, 637–645.
- Glenn, D.M., Prado, E., Erez, A., McFerson, J., Puterka, G.J., 2002. A reflective, processed-Kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 188–193.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., Cohen, M., 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124, 437–444.

- Gómez-del-Campo, M., 2013a. Summer deficit-irrigation strategies in a hedgerow olive orchard cv. 'Arbequina': effect on fruit characteristics and yield. *Irr. Sci.* 31, 259–269.
- Gómez-del-Campo, M., 2013b. Summer deficit-irrigation strategies in a hedgerow olive orchard cv. 'Arbequina': relationship between soil and tree water status, and growth and yield components. *Span. J. Agric. Res.* 11, 547–557.
- Gómez-del-Campo, M., Centeno, A., Connor, D.J., 2009. Yield determination in olive hedgerow orchards. I. Yield and profiles of yield components in north–south and east–west oriented hedgerows. *Crop Pasture Sci.* 60, 434–442.
- Gómez-del-Campo, M., García, J.M., 2012. Canopy fruit location can affect olive oil quality in 'Arbequina' hedgerow orchards. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 89, 123–133.
- Gonçalves, B., Correia, C.M., Silva, A.P., Bacelar, E.A., Santos, A., Moutinho-Pereira, J.M., 2008. Leaf structure and function of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.) cultivars with open and dense canopies. *Sci. Hortic.* 116, 381–387.
- González-Talice, J., Yuri, J.A. del Pozo, A., 2013. Relations among pigments, color and phenolic concentrations in the peel of two Gala apple strains according to canopy position and light environment. *Sci. Hortic.* 151, 83–89.
- Goodwin, I., Whitfield, D.M., Connor, D.J., 2006. Effects of tree size on water use of peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Irri. Sci.* 24, 59–68.
- Greer, D.H., Weedon, M.M., 2012. Interactions between light and growing season temperatures on, growth and development and gas exchange of Semillon (*Vitis vinifera* L.) vines grown in an irrigated vineyard. *Plant Physiol. Biotechnol.* 54, 59–69.
- Gregoriou, K., Pontikis, K., Vemmos, S., 2007. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 45, 172–181.
- Grossman, Y.L., DeJong, T.M., 1998. Training and pruning system effects on vegetative growth potential, light interception, and cropping efficiency in peach trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123, 1058–1064.
-

- Gucci, R., Lodolini, E.M., Rapoport, H.F., 2009. Water deficit-induced changes in mesocarp cellular processes and the relationship between mesocarp and endocarp during olive fruit development. *Tree Physiol.* 29, 1575–1585.
- Hadari, M., (Master Sci. Agric. Eng.) 2004. A three-dimensional model of the light regime in an avocado orchard. Israel Institute of Technology.
- Hammami, S.B.M., Costagli, G., Rapoport, H.F., 2013. Cell and tissue dynamics of olive endocarp sclerification vary according to water availability. *Physiol. Plantarum* 149, 571–582.
- Hammami, S.B.M., Manrique, T., Rapoport, H.F., 2011. Cultivar-based fruit size in olive depends on different tissue and cellular processes throughout growth. *Sci. Hortic.* 130, 445–451.
- Hampson, C.R., Azarenko, A.N., Potter, J.R., 1996. Photosynthetic rate, flowering, and yield component alteration in hazelnut in response to different light environments. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121, 1103–1111.
- He, F.L., Wang, F., Wei, Q.P., Wang, X.W., Zhang, Q., 2008. Relationships between the distribution of relative canopy light intensity and the peach yield and quality. *Agric. Sci. China* 7, 297–302.
- Hernández, M.L., Guschina, I.A., Martínez-Rivas, J.M., Mancha, M., Harwood, J.L., 2008. The utilization and desaturation of oleate and linoleate during glycerolipid biosynthesis in olive (*Olea europaea* L.) callus cultures. *J. Exp. Bot.* 59, 2425–2435.
- Hicks, B.B., 1973. Eddy fluxes over a vineyard. *Agric. Meteorol.* 12, 203–215.
- Higgins, S.S., Larsen, F.E., Bendel, R.B., Radamakeff, G.K., Bassman, J.H., 1992. Comparative gas exchange characteristics of potted, glasshouse-grown almond, apple, fig, grape, olive, peach and asian pear. *Sci. Hortic.* 52, 313–329.
- Hummell, A.K., Ferree, D.C., 1998. Interaction of crop level and fruit cluster exposure on 'Seyval Blanc' fruit composition. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123, 755–761.
-

- Hunter, J.J., 1998. Plant spacing implications for grafted grapevine II. Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 19, 35–51.
- Inskip, W.P., Bloom, P.R., 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N dimethylformamide and 80 % acetone. *Plant Physiology* 77, 483–485.
- Intrieri, C., Poni, S., Barbara, R., Magnanini, E., 1998. Row orientation effects on whole-canopy gas exchange of potted and field-grown grapevines. *Vitis* 37, 147–154.
- Intrieri, C., Silvestroni, O., Rebucci, B., Poni, S., Filippetti, I., 1996. The effects of row orientation on growth, yield, quality and dry matter partitioning in Chardonnay vines trained to simple curtain and spur-pruned cordon. *Proc. 4th Int. Symp. Cool Clim. Vitic. Enol.* 10–15.
- Jackson, D.I., Coombe, B.G., 1966. The growth of apricot fruit. I. Morphological changes during development and effects of various tree factors. *Aust. J. Agric. Res.* 17, 465–477.
- Jackson, J.E., 1980. Light interception and utilization by orchard systems. *Hortic. Rev.* 2, 208–267.
- Jackson, J.E., Palmer, J.W., 1972. Interception of light by model hedgerow orchards in relation to latitude, time of year and hedgerow configuration and orientation. *J. Appl. Ecol.* 9, 341–357.
- Jifon, J.L., Syvertsen, J.P., 2001. Effects of moderate shade on citrus leaf gas exchange, fruit yield, and quality. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 114, 117–181.
- Jon M. Welles, J.M., Cohen, S., 1996. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *J. Exp. Bot.* 302, 1335–1342.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M.M., Grant, O.M., 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *J. Exp. Bot.* 378, 2249–2260.

- Kapper, F., Quamme, H.A., 1993. Orchard training systems influence early canopy development and light microclimate within apple tree canopies. *Can. J. Plant Sci.* 73, 237–248.
- Khemira, H., Lombard, P.B., Sugar, D., Azarenko, A.N., 1993. Hedgerow orientation affects canopy exposure, flowering, and fruiting of ‘Anjou’ pear trees. *HortSci.* 28, 984–987.
- Klepper, B., 1968, Diurnal Pattern of Water Potential in Woody Plants. *Plant Physiol.* 43, 1931-1934.
- Kramer, P.J., 1983. *Water relations of plants.* Orlando: Academic Press.
- Larbi A., Vázquez S., El-Jendoubi H., Msallem M., Abadía A., Morales F., 2014. Canopy light heterogeneity drive leaf anatomical, eco-physiological, and photosynthetic changes in olive trees grown in a high-density plantation. *Photosynthesis Res.* In press
- 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 Hortic.* 356, 143–147.
- Lavee, S., Haskal, A., Avidan, B., 2012. The effect of planting distances and tree shape on yield and harvest efficiency of cv. Manzanillo table olives. *Sci. Hortic.* 142, 166–173.
- 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. Hortic.* 99, 267–277.
- Lazzaro, L., Otto, S., Zanin, G., 2008. Role of hedgerow in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 317–327.
- Léchaudel, M., Vercambre, G., Lescourret, F., Normand, F., Génard, M., 2007. An analysis of elastic and plastic fruit growth of mango in response to various assimilate supplies. *Tree Physiol.* 27, 219–230.

- León, L., de la Rosa, R., Rallo, L., Guerrero, N., Barranco, D., 2007. Influence of spacing on the initial production of hedgerow 'Arbequina' olive orchards. *Span. J. Agric. Res.* 5, 554–558.
- Lescourret, F., Moitrier, N., Valsesia, P., Génard, M., 2011. QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. I. Model development. *Trees* 25, 519–530.
- Link, H., 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regul.* 31, 17–26.
- Liu, H.F., Génard, M., Guichard, S., Bertin, N., 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. *J. Exp. Bot.* 58, 3567–3580.
- Lombard, P.B., Westwood, M.N., 1977. Effect of hedgerow orientation on pear fruiting. *Acta Hortic.* 69, 175–182.
- Lombardini, L., Restrepo-Diaz, H., Volder, A., 2009. Photosynthetic light response and epidermal characteristics of sun and shade pecan leaves. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 134, 372–378.
- Loomis, R.S., Williams, W.A., 1963. Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Sci.* 3, 67–72.
- Lopresti, J., Goodwing, I., McGlasson, B., Holford, P., Golding, J., 2014. Variability in size and soluble solids concentration in peaches and nectarines. *Hortic. Rev.* 42, 253–299.
- Mailer, R.J., Ayton, J., Conlan, D., 2007. Influence of harvest timing on olive (*Olea europaea*) oil accumulation and fruit characteristics under Australian conditions. *J. Food Agric. Environ.* 5, 58–63.
- Marcelis, L.F.M., 1993. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber 2. Effect of irradiance. *Sci. Hortic.* 54, 123–130.
- Marini, R.P., Sowers, D.L., 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight, and flowering of peach as influenced by shade. *HortSci.* 25, 331–334.

- Marini, R.P., Sowers, D.L., Marini, M.C., 1991. Peach fruit quality is affected by shade during final swell of fruit growth. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116, 383–389.
- Mariscal, M.J., Orgaz, F., Villalobos, F.J., 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agric. Forest Meteorol.* 100, 183–197.
- Martínez, J.M., Muñoz, E., Alba, J., Lanzón, A., 1975. Report about the use of the “Abencor” analyzer. *Grasas y Aceites* 26, 379–385.
- Martínez-Cob, A., Faci J.M., 2010. Evapotranspiration of an hedge-pruned olive orchard in a semiarid area of NE Spain. *Agric. Water Manag.* 97, 410–418.
- 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 (*Olea europaea* L., cv. Morisca). II: Water use, fruit and oil yield. *Agric. Water Manag.* 98, 950–958.
- Martre, P., Bertin, N., Salon, C., Génard, M., 2011. Modelling the size and composition of fruit, grain and seed by process-based simulation models. *New Phytol.* 191, 601–618.
- Matteucci, M., D’Angeli, S., Errico, S., Lamanna, R., Perrotta, G., Altamura, M.M., 2011. Cold affects the transcription of fatty acid desaturases and oil quality in the fruit of *Olea europaea* L. genotypes with different cold hardiness. *J. Exp. Bot.* 62, 3403–3420.
- McCutchan, H., Shackel, K.A., 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 607–611.
- McFadyen, L.M., Hutton, R.J., Barlow, E.W.R., 1996. Effects of crop load on fruit water relations and fruit growth in peach. *J. Hortic. Sci.* 71, 469–480.
- Melgar J.C., Guidi, L., Remorini, D., Agati, G., Degl’ Innocenti, E., Castelli, S., Camilla Baratto, M., Faraloni, C., Tattini, M., 2009. Antioxidant defences and oxidative damage in salt-treated olive plants under contrasting sunlight irradiances. *Tree Physiol* 29, 1187–1198

- Menz, G., Vriesekoop, F., 2010. Physical and chemical changes during the maturation of Gordal Sevillana olives (*Olea europaea* L., cv. Gordal Sevillana). *J. Agric. Food Chem.* 58, 4934–4938.
- Middleton, S., McWaters, A., James, P., Jotic, P., Sutton, J., Campbell, J., 2002. The productivity and performance of apple orchard systems in Australia. *Compact Fruit Tree* 35, 43–47.
- Montanaro, G., Dichio, B., Xiloyannis, C., Celano, G., 2006. Light influences transpiration and calcium accumulation in fruit of kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*). *Plant Sci.* 170, 520–527.
- Moon, D.G., Joa, J.H., Moon, Y.E., Seong, K.C., Kim, C.H., Ahn, Y.K., 2011. Plant growth and fruit quality as affected by canopy locations in ‘Shiranuhi’ mandarin. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 52, 443–447.
- Moore, J.N., Brown, M.V., Bordelon, B.P., 1993. Yield and fruit size of ‘Bluecrop’ and ‘Blueray’ highbush blueberries at three plant spacing. *HortSci.* 28, 1162–1163.
- Morandi, B., Manfrini, L., Losciale, P., Zibordi, M., Corelli-Grappadelli, L., 2010. Changes in vascular and transpiration flows affect the seasonal and daily growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) berry. *Ann. Bot.* 105, 913–923.
- Morandi, B., Rieger, M., Corelli-Grappadelli, L., 2007. Vascular flows and transpiration affect peach (*Prunus persica* Batsch.) fruit daily growth. *J. Exp. Bot.* 58, 3941–3947.
- Morettini, A., 1972. *Olivicoltura*. Ramo editoriale degli agricoltori. Rome. Italy.
- Moriana, A., Orgaz, F., Fereres, E., Pastor, M., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128, 425–431.
- Moriana, A., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficit. *Plant Cell Environ.* 25, 395–405.
- Motilva, M.J., Tovar, M.J., Romero, M.P., Alegre, S., Girona, J., 2000. Influence of regulated deficit irrigation strategies applied to olive trees (Arbequina

- cultivar) on oil yield and oil composition during the fruit ripening period. *J. Sci. Food Agric.* 80, 2037–2043.
- Nasini, L., Proietti, P., 2014. Olive harvesting. In “The extra-virgin olive oil handbook”. (Ed. C. Peri) (John Willey and Sons).pp. 90-105.
- Naylor, A.P., Creasy, G.L., Trought, M.C.T., Van Hanen, L., 2000. The effects of row orientation and fruit exposure on the juice composition of Sauvignon blanc (*Vitis vinifera* L.). *Proc. 5th Int. Symp. Cool Clim. Vitic. Oenol. Aust.*
- Norman, J.M., Welles, J.M., 1983. Radiative transfer in an array of canopies. *Agron. J.* 75, 481–488.
- Okello, R.C.O., Heuvelink, E., Visser, P.H.B., Lammers, M., de Maagd, R.A., Marcelis, L.F.M., Struik, P.C., 2014. Fruit illumination stimulates cell division but has no detectable effect on fruit size in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Physiol. Plantarum* (in press).
- Olesen, T., Morris, S., McFadyen, L., 2007. Modelling the interception of photosynthetically active radiation by evergreen subtropical hedgerows. *Aust. J. Agric. Res.* 58, 215–223.
- Oliveira, C.M., Priestley, C.E., 1988. Carbohydrate reserves in deciduous fruit trees. *Hort. Rev.* 10, 403–430.
- Oliveira, K.M.G., De Carvalho, L.G., Lima, L.A., Gomez, R.C.C., 2012. Modelling for estimating the orientation of coffee planting rows. *Eng. Agríc.* 32, 293–305.
- Olivo, N., Girona, J., Marsal, J., 2009. Seasonal sensitivity of stem water potential to vapour pressure deficit in grapevine. *Irrig. Sci.* 27, 175–182.
- Orlandini, S., Belcari, A., Dalla Marta, A., Sabatini, F., Sacchetti, P., 2005. Dynamics of temperature in olive tree (*Olea europaea* L.) fruit pulp. *Adv. Hortic. Sci.* 19, 42–46.
- Oyarzun, R.A., Stöckle, C.O., Whiting, M.D., 2007. A simple approach to modeling radiation interception by fruit-tree orchards. *Agric. Forest Meteorol.* 142, 12–24.

- Pallas, J.E., Michel, B.E., Harris, D.G., 1967. Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiol.* 42, 76–88.
- Palmer, J.W., 1989. The effects of row orientation, tree height, time of year and latitude on light interception and distribution in model apple hedgerow canopies. *J. Hortic. Sci.* 64, 137–145.
- Palmer, J.W., Avery, D.J., Wertheim, S.J., 1992. Effect of apple tree spacing and summer pruning on leaf area distribution and light interception. *Sci. Hortic.* 52, 303–312.
- Pastor, M., García-Vila, M., Soriano, M.A., Vega, V., Fereres, E., 2007. Productivity of olive orchards in response to tree density. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 82, 555–562.
- Pérez-Priego, O., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F.J., 2010. A large closed canopy chamber for measuring CO<sub>2</sub> and water vapour exchange of whole trees *Environ. Exp. Bot.* 68, 131–138.
- Pieri, P., 2010. Modelling radiative balance in a row-crop canopy: Cross-row distribution of net radiation at the soil surface and energy available to clusters in a vineyard. *Ecol. Model.* 221, 802–811.
- Piner, G.P., 1988. Planting citrus ultra high densities. A review of developments in Southern Africa with special reference to angle planting. *Proc. 6th Int. Citrus Congr. Isr.*
- Policarpo, M., Talluto, G., Lo Bianco, R., 2006. Vegetative and productive responses of ‘Conference’ and ‘Williams’ pear trees planted at different in-row spacing. *Sci. Hortic.* 109, 322–331.
- Proietti, P., 2003. Changes in photosynthesis and fruit characteristics in olive in response to assimilate availability. *Photosynth.* 41, 559–564.
- Proietti, P., Famiani, F., 2002. Diurnal and seasonal changes in photosynthetic characteristics in different olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Photosynth.* 40, 171–176.
-

- Proietti, P., Famiani, F., Tombesi, A., 1999. Gas exchange in olive fruit. *Photosynth.* 36, 423–432.
- Proietti, P., Prezios, P., Tombesi, A., 1988. Influence of shading on olive leaf photosynthesis. In: *Proceedings of the 2nd international meeting on mediterranean tree crops*, Chania, pp 334–342
- Proietti, P., Tombesi, A., 1996. Translocation of assimilates and source-sink influences on productive characteristics of the olive tree. *Adv. Hortic. Sci.* 10, 11–14.
- Prudent, M., Bertin, N., Génard, M., Muños, S., Rolland, S., Garcia, V., Petit, J., Baldet, P., Rothan, C., Causse, M., 2010. Genotype-dependent response to carbon availability in growing tomato fruit. *Plant Cell Environ.* 33, 1186–1204.
- Prudent, M., Dai, Z.W., Génard, M., Bertin, N., Causse, M., Vivin, P., 2014. Resource competition modulates the seed number–fruit size relationship in a genotype-dependent manner: A modeling approach in grape and tomato. *Ecol. Model.* 290, 54–64.
- Rallo, L., Barranco, D., Castro-García, S., Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Rallo, P., 2013. High-density olive plantations. J. Janick (Ed.), *Wiley-Blackwell*, New York. *Hortic. Rev.* 41, 303–384.
- Ramli, U.S., Baker, D.S., Quant, P.A., Hardwood, J.L., 2002. Control mechanisms operating for lipid biosynthesis differ in oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and olive (*Olea europaea* L.) callus cultures. *Biochem. J.* 364, 385–391.
- Rapoport, H.F., Costagli, G., Gucci, R., 2004. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129, 121–127.
- Rapoport, H.F., Pérez-López, D., Hammami, S.B.M., Agüera, J., Moriana, A., 2013. Fruit pit hardening: physical measurement during olive fruit growth. *Ann. Appl. Biol.* 163, 200–208.
- Ravetti, L., 2008. Evaluation of new olive mechanical harvesting technologies in Australia. *Acta Hortic.* 791, 387–392.
-

- Reynolds, A.G., Naylor, A.P., 1994. "Pinot noir" and "Riesling" grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity. *HortSci.* 29, 1505–1510.
- Reynolds, A.G., Pool, R.M., Mattick, L.R., 1986. Influence of cluster exposure on fruit composition and wine quality of Seyval blanc grapes. *Vitis* 25, 85–95.
- Ribeiro, R.V., Machado, E.C., dos Santos, M.G., 2005. Leaf temperature in sweet orange plants under field condition: influence of meteorological elements. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 13, 378–388.
- Rieger, M., 2006. Introduction to fruit crops. Haworth Press, Binghamton.
- Ritchie, J.T., 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 8, 1204–1213.
- Rius, X., Lacarte, J.M., 2010. La revolución del olivar. El cultivo en seto. Agromillora. Bayer Crop Sci. New Holland. Olinto. Naszo. Teodolito. Barcelona. ISBN: 978-0-646-53737-5.
- Robinson, T., 2011. Advances in apple culture worldwide. *Rev. Bras. Frutic.* Vol Spe. 37–47.
- Robinson, T., Hoying, S.A., DeMareee, A., Iungerman, K., Fargione, M., 2007. The evolution towards more competitive apple orchards systems in New York. *New York Fruit Q.* 15, 3–9.
- Robinson, T.L., 2003. Apple-orchard planting systems In *Apples, Botany, production and uses*. D.C. Ferree and I. Warrington (eds), CABI publishing. Wallingford, Oxon, United Kingdom.
- Robinson, T.L., Lakso, A.N., 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116, 188–194.
- Rojas-Lara, B.A., Morrison, J.C., 1989. Differential effects of shading fruit or foliage on the development and composition of grape berries. *Vitis* 28, 199–208.
- Rondanini, D.P., Castro, D.N., Searles, P.S., Rousseaux, M.C., 2011. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in

- warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas aceite* 62, 399–409.
- Rondanini, D.P., Castro, D.N., Searles, P.S., Rousseaux, M.C., 2014. Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *Eur. J. Agron.* 52, 237–246.
- Rosell, J.R., Llorens, J., Sanz, R., Arnó, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escola, A., Camp, F., Solanelles, F., Gracia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S., Palacín, J., 2009. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agric. Forest Meteorol.* 149, 1505–1515.
- Ruzin, S., 1999. *Plant microtechnique and microscopy*. Oxford University Press, New York, 334 pp.
- Ryugo, K., Mikuckis, F., 1969. Sweet cherry. Hedgerow planting. *Calif. Agric.* 14–15.
- Sadras, V.O., Bubner, R.A., Moran, M.A., 2012. A large-scale, open-top system to increase temperature in realistic vineyard conditions. *Agric. Forest Meteorol.* 154–155, 187–194.
- Sadras, V.O., McCarthy, M.G., 2007. Quantifying the dynamics of sugar concentration in berries of *Vitis vinifera* cv. Shiraz: a novel approach based on allometric analysis. *Aust. J. Grape Wine Res.* 13, 66–71.
- Sakai, W.S., 1973. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using Toluidine blue O. *Stain Technol.* 48, 247–249.
- Sánchez, J., De La Osa, C., Harwood, J.L., 1990. In: Quinn P.J., Harwood J.L., (eds.) *Plant lipid biochemistry, structure and utilization*. London: Portland Press.
- Saudreau, M., Marquier, A., Sinoquet, H., 2011. Modelling fruit-temperature dynamics within apple tree crowns using virtual plants. *Ann. Bot.* 108, 1111–1120.
- Saudreau, M., Sinoquet, H., Santin, O., Marquier, A., Adam, B., Lonqueness, J.J., Guilioni, L., Chelle, M., 2007. A 3D model for simulating the spatial and temporal distribution of temperature within ellipsoidal fruit. *Agric. Forest Meteorol.* 147, 1–15.
-

- Sepulcre-Cantó, G., Zarco-Tejada, P.J., Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., de Miguel, E., Villalobos, F.J., 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agric. Forest Meteorol.* 136, 31–44.
- Sinnott, E.W., 1960. *Plant morphogenesis*. New York: McGraw Hill book company.
- Smart, R.E., Dick, J.K., Gravett, I.M., Fisher, B.M., 1990. Canopy management to improve grape yield and wine quality-Principles and practices. *South Afr. J. Enol. Vitic.* 11, 3–17.
- Snyder, R.L., de Melo-Abreu, J.P., 2005. *Frost Protection: fundamentals, practice and economics*. Vol. 1. FAO Environ. Natural Resour.
- Sofa A, Dichio B, Montanaro G, Xiloyannis C (2009) Photosynthetic performance and light response of two olive cultivars under different water and light regimes. *Photosynthetica* 47, 602–608.
- Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 3, 171–182.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., 2012. *Crop Yield Response to Water*. FAO, Rome.
- Tanny, J., Cohen, S., 2003. The effect of a small shade net on the properties of wind and selected boundary layer parameters above and within a citrus orchard. *Biosyst. Eng.* 84, 57–67.
- Tarara, J.M., Ferguson, J.C., Hoheisel, G.A., Perez Peña, J.E., 2005. Asymmetrical canopy architecture due to prevailing wind direction and row orientation creates an imbalance in irradiance at the fruiting zone of grapevines. *Agric. Forest Meteorol.* 135, 144–155.
- Tarara, J.M., Lee, J., Spayd, S.E., Scagel, C.F., 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin Merlot grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 59, 235–247.
- Tombesi, A., Boco, M., Pilli, M., 1998. Microclima del frutto. Influenza della luce sull'accrescimento e sulla sintesi dell'olio. *Riv. Frutticoltura* 7/8, 63–67.

- Tombesi, A., Cartechini, A., 1986. L'effetto dell'ombreggiamento della chioma sulla differenziazione delle gemme a fiore dell'olivo. Riv. Ortoflorofrut. It. 70, 277–285.
- Tous, J., Romero, A., Hermoso, J.F., 2010. New trends in olive orchard design for continuous mechanical harvesting. Adv. Hortic. Sci. 24, 43–52.
- Tous, J., Romero, A., Hermoso, J.F., Msallem, M., Larbi, A., 2012. Olive orchard design and mechanization: present and future. Acta Hortic. 1057, 231–246.
- Trentacoste, E.R., Puertas, C.M., Sadras, V.O., 2010. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). Eur. J. Agron. 32, 249–254.
- Trentacoste, E.R., Puertas, C.M., Sadras, V.O., 2012. Modelling the intraspecific variation in the dynamics of fruit growth, oil and water concentration in olive (*Olea europea* L.). Eur. J. Agron. 38, 83–93.
- Tuzet, A., Perrier, A., Leuning, R., 2003. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. Plant Cell Environ. 26, 1097–1116.
- Uceda, M., Frías, L., 1975. Harvest dates. Evolution of the fruit oil content, oil composition and oil quality. In 'Segundo Seminario Oleícola Internacional'. pp. 125–128. (COI: Córdoba, Spain).
- Ulger, S., Sonmez, S., Karkacier, M., Estoy, N., Akdesir, O., Aksu, M., 2004. Determination of endogenous hormones, sugar and mineral nutrition level during the induction, initiation and differentiation stage and their effects on flower formation in olive. Plant Growth Regul. 42, 89–95.
- Valladares, F., Gianoli, E., Gómez, J.M., 2007. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. New Phitol. 176, 749–763.
- Verreyne, J.S., Rabe, E., Theron, K.I., 2004. Effect of bearing position on fruit quality of mandarin types. South Afr. J. Plant Soil 21, 1–7.
- Vieri, M., Sarri, D., 2010. Criteria for introducing mechanical harvesting of oil olives: results of a five-year project in Central Italy. Adv. Hortic. Sci. 24, 78–90.

- Wagenmakers, P.S., 1991. Planting systems for fruit trees in temperate climates. *Crit. Rev. Plant Sci.* 10, 369–385.
- Welles, J.M., Cohen, S., 1996. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *J. Exp. Bot.* 47, 1335–1342.
- Wheaton, T.A., Castle, W.S., Tucker, D.P.H., 1978. Higher density plantings for Florida citrus-concepts. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 91, 27–33.
- Wheaton, T.A., Whitney, J.D., Castle, W.S., Muraro, R.P., Browning, H.W., Tucker, D.P.H., 1995. Citrus scion and rootstock, topping height, and tree spacing affect tree size, yield, fruit quality, and economic return. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 120, 861–870.
- Williams, L.E., Ayars, J.E., 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agric. Forest Meteorol.* 132, 201–211.
- Williamson, J.G., Coston, D.C., Cornell, J.A., 1992. Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 362–367.
- Wood, B.W., Stahmann, D., 2004. Hedge pruning pecan. *HortTechnol.* 14, 63–72.
- Wünsche, J.N., Lakso, A.N., 2000. The relationship between leaf area and light interception by spur and extension shoot leaves and apple orchard productivity. *HortSci.* 35, 1202–1206.
- Yamada, H., Ohmura, H., Arai, C., Terui, M., 1994. Effect of preharvest fruit temperature on ripening, sugar, and watercore occurrence in apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 119, 1208–1214.

## Anejo

Los datos de número de fruto, peso seco del fruto y rendimiento graso promedio de los años 2012 y 2013, obtenidos del “Ensayo 1: Evaluación olivar en seto plantado con cuatro orientaciones de filas”, se presentan en las Tablas A.1, A2 y A.3, respetivamente. Estos datos fueron utilizados para las relaciones con la radiación presentadas en la Fig. 5.3 (Capítulo V).

**Tabla A.1.** Número de frutos por m lineal en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013.

Número de frutos m lineal de seto								
Estrato (m)	Orientación							
	N-S		NE-SO		NO- SE		E-O	
	E	O	SE	NO	SO	NE	S	N
1,6-2,0	348	456	569	390	601	607	565	487
1,2-1,6	492	572	637	713	595	684	602	549
0,8-1,2	417	612	815	512	518	522	675	401
0,4-0,8	457	427	538	422	374	352	374	255
0,0-0,4	135	102	278	144	138	85	113	95

**Tabla A.2.** Peso seco del fruto en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013.

Peso seco del fruto (g)								
Estrato (m)	Orientación							
	N-S		NE-SO		NO- SE		E-O	
	E	O	SE	NO	SO	NE	S	N
1,6-2,0	0,55	0,55	0,57	0,56	0,59	0,61	0,58	0,60
1,2-1,6	0,51	0,52	0,55	0,52	0,54	0,54	0,56	0,53
0,8-1,2	0,50	0,46	0,52	0,47	0,51	0,50	0,51	0,47
0,4-0,8	0,49	0,45	0,50	0,48	0,48	0,48	0,50	0,47
0,0-0,4	0,50	0,43	0,51	0,45	0,47	0,46	0,48	0,47

**Tabla A.3.** Rendimiento graso (% peso seco) en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con cuatro orientación de filas, promedio 2012 y 2013.

Rendimiento graso (% peso seco)								
Estrato (m)	Orientación							
	N-S		NE-SO		NO-SE		E-O	
	E	O	SE	NO	SO	NE	S	N
1,6-2,0	45,70	44,90	44,40	45,20	43,30	43,60	44,50	44,40
1,2-1,6	43,80	42,10	43,50	42,70	41,30	42,00	42,50	42,20
0,8-1,2	41,50	40,40	41,10	40,00	38,80	40,90	41,50	40,60
0,4-0,8	40,40	39,00	39,90	38,90	38,10	39,00	40,90	39,40
0,0-0,4	39,00	37,30	39,40	37,90	37,80	38,70	40,10	38,50

Los datos de contenido de ácidos grasos, polifenoles totales y estabilidad oxidativa del aceite, obtenidos del “Ensayo 2 y 3: Evaluación olivar en seto plantado con tres anchos de calle y filas orientadas N-S y E-O”, se presentan en las Tablas A.4, A5, A.6, A.7, A.8, A.9 y A.10. Estos datos fueron utilizados para las relaciones con la radiación presentadas en la Figs. 5.4 y 5.5 (Capítulo V).

**Tabla A.4.** Contenido de ácido palmítico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

Ácido palmítico (%)							
Ancho calle	Orientación N-S						
	5,0 m		4,0 m		2,5 m		
	E	O	E	O	E	O	
Estrato (m)							
1,6-2,0	14,43	14,46	14,33	14,46	14,45	14,21	
1,2-1,6	14,17	14,33	14,30	14,20	14,30	14,06	
0,8-1,2	14,21	14,20	14,32	14,14	14,18	13,80	
0,4-0,8	13,88	14,11	14,02	14,12	13,55	13,77	
0,0-0,4	13,89	14,09	14,06	14,02	13,06	13,10	
Orientación E-O							
Estrato (m)	S	N	S	N	S	N	
1,6-2,0	14,32	14,24	14,39	14,09	14,53	14,30	
1,2-1,6	14,39	14,09	14,43	13,97	14,43	13,33	
0,8-1,2	14,43	14,01	14,45	14,01	14,45	14,19	
0,4-0,8	14,47	14,17	14,46	14,06	14,46	14,02	
0,0-0,4	14,55	14,18	14,45	14,10	13,30	14,05	

**Tabla A.5.** Contenido de ácido palmitoleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

Ácido palmitoleico (%)						
Orientación N-S						
Ancho calle	5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)	E	O	E	O	E	O
1,6-2,0	1,02	1,02	1,12	1,11	1,12	1,09
1,2-1,6	1,02	0,99	1,09	1,07	1,10	1,08
0,8-1,2	0,96	0,98	1,10	1,05	1,06	1,02
0,4-0,8	1,04	1,02	0,99	1,05	0,84	1,05
0,0-0,4	1,00	0,99	1,01	0,99	0,85	0,84
Orientación E-O						
Estrato (m)	S	N	S	N	S	N
1,6-2,0	1,13	1,15	1,27	1,14	1,19	1,15
1,2-1,6	1,18	1,09	1,23	1,09	1,23	1,17
0,8-1,2	1,15	1,08	1,22	1,12	1,22	1,15
0,4-0,8	1,23	1,15	1,20	1,08	1,20	1,16
0,0-0,4	1,24	1,13	1,19	1,08	0,84	0,84

**Tabla A.6.** Contenido de ácido esteárico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

Ácido esteárico (%)						
Orientación N-S						
Ancho calle	5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)	E	O	E	O	E	O
1,6-2,0	1,97	1,96	2,01	1,98	2,08	1,88
1,2-1,6	1,99	1,93	1,97	1,97	2,08	1,87
0,8-1,2	1,91	1,90	1,93	1,94	2,07	1,90
0,4-0,8	1,90	1,88	1,94	1,97	2,02	1,86
0,0-0,4	1,95	1,94	1,95	1,97	1,89	1,83
Orientación E-O						
Estrato (m)	S	N	S	N	S	N
1,6-2,0	2,11	2,12	2,15	2,21	2,19	2,20
1,2-1,6	2,06	2,14	2,11	2,22	2,11	2,22
0,8-1,2	2,07	2,14	2,12	2,16	2,12	2,16
0,4-0,8	2,08	2,02	2,15	2,14	2,15	2,14
0,0-0,4	1,99	2,00	2,13	2,20	2,23	2,11

**Tabla A.7.** Contenido de ácido oleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

		Ácido oleico (%)					
		Orientación N-S					
Ancho calle		5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)		E	O	E	O	E	O
1,6-2,0		70,56	70,06	70,55	70,17	70,74	70,79
1,2-1,6		70,78	70,05	70,37	70,76	70,57	71,56
0,8-1,2		70,58	70,50	70,61	71,41	70,86	72,24
0,4-0,8		70,78	71,49	71,52	71,11	72,95	71,76
0,0-0,4		71,43	71,42	71,80	71,37	73,88	72,3
		Orientación E-O					
Estrato (m)		S	N	S	N	S	N
1,6-2,0		70,63	71,32	70,68	70,66	70,16	70,00
1,2-1,6		70,30	71,51	69,71	70,75	69,71	72,95
0,8-1,2		71,11	71,34	70,20	70,84	70,20	70,41
0,4-0,8		70,20	71,41	70,83	70,83	70,83	71,10
0,0-0,4		70,89	70,97	70,60	71,64	72,94	71,09

**Tabla A.8.** Contenido de ácido linoleico (%) del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

		Ácido linoleico (%)					
		Orientación N-S					
Ancho calle		5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)		E	O	E	O	E	O
1,6-2,0		8,83	8,89	8,51	8,82	8,72	8,26
1,2-1,6		8,63	8,79	8,59	8,45	8,51	8,01
0,8-1,2		8,58	8,74	8,62	8,44	8,19	7,67
0,4-0,8		8,57	8,28	8,10	8,21	7,25	7,81
0,0-0,4		8,08	8,42	8,17	8,15	6,76	7,28
		Orientación E-O					
Estrato (m)		S	N	S	N	S	N
1,6-2,0		8,68	8,64	8,81	8,39	8,96	8,95
1,2-1,6		8,67	8,36	8,72	8,18	8,72	8,65
0,8-1,2		8,72	8,27	8,71	8,20	8,71	8,48
0,4-0,8		8,56	8,33	8,71	8,20	8,71	8,29
0,0-0,4		8,54	8,33	8,62	8,15	7,18	8,15

**Tabla A.9.** Contenido polifenoles totales del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

Polifenoles totales (ppm ácido cafeico)						
Orientación N-S						
Ancho calle	5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)	E	O	E	O	E	O
1,6-2,0	397	396	387	358	339	340
1,2-1,6	388	305	258	301	303	280
0,8-1,2	310	403	231	253	192	248
0,4-0,8	248	416	266	228	132	185
0,0-0,4	268	260	279	266	109	109
Orientación E-O						
Estrato (m)	S	N	S	N	S	N
1,6-2,0	235	256	327	229	242	320
1,2-1,6	315	192	216	358	216	292
0,8-1,2	259	224	282	201	282	326
0,4-0,8	224	253	260	192	260	282
0,0-0,4	339	247	178	140	210	178

**Tabla A.10.** Estabilidad oxidativa del aceite obtenido de frutos recolectados en 5 estratos (altura) y en cada cara de olivares en seto plantados con tres anchos de calle y con filas orientadas N-S y E-O, promedio 2012 y 2013.

Estabilidad oxidativa (h)						
Orientación N-S						
Ancho calle	5,0 m		4,0 m		2,5 m	
Estrato (m)	E	O	E	O	E	O
1,6-2,0	36,0	35,7	31,1	36,05	35,5	36,9
1,2-1,6	35,0	30,0	30,2	33,85	29,5	26,7
0,8-1,2	28,5	33,2	29,0	29,35	27,7	32,5
0,4-0,8	30,5	35,8	33,0	29,25	21,6	36,7
0,0-0,4	32,3	28,8	32,8	30,60	24,6	24,6
Orientación E-O						
Estrato (m)	S	N	S	N	S	N
1,6-2,0	27,1	32,4	26,5	29,1	29,6	33,8
1,2-1,6	32,0	28,1	26,1	33,5	26,1	32,3
0,8-1,2	31,2	31,7	32,3	26,5	32,3	31,5
0,4-0,8	29,8	30,0	30,0	28,3	30,0	23,3
0,0-0,4	24,5	31,4	18,8	20,3	24,2	24,0