



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFFECTO DE LA ALTERNANCIA PRODUCTIVA EN LA FENOLOGÍA Y  
ALGUNAS VARIABLES PRODUCTIVAS EN OLIVO (*Olea europaea* L.)  
'FRANTOIO' EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de  
Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención: Producción Frutícola

**VÍCTOR MANUEL BEYÁ MARSHALL**

Director de Tesis  
THOMAS FICHET LAGOS

Profesores consejeros  
GABINO REGINATO MEZA  
JOSÉ IGNACIO COVARRUBIAS

SANTIAGO - CHILE  
2014

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFFECTO DE LA ALTERNANCIA PRODUCTIVA EN LA FENOLOGÍA Y ALGUNAS  
VARIABLES PRODUCTIVAS EN OLIVO (*Olea europaea* L.) 'FRANTOIO' EN LA  
REGIÓN METROPOLITANA**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención  
Producción Frutícola

**VÍCTOR MANUEL BEYÁ MARSHALL**

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)	Firma
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Thomas Fichet Lagos Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0	Aprobado	
<b>PROFESORES CONSEJEROS</b>			
Gabino Reginato Meza Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	7,0	Aprobado	
José Ignacio Covarrubias Peña Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Dr.	6,8	Aprobado	

Santiago, Chile  
2014

*“¡HASTA LA VICTORIA SIEMPRE!”*  
*(Ernesto Guevara de la Serna)*

## AGRADECIMIENTOS

El mayor de mis agradecimientos es a mi madre querida que, con su esfuerzo, dedicación, amor, paciencia, perseverancia y sabiduría entregada, he podido llevar a buen término este proceso. Gracias por dejar toda tu vida por nosotros, por entregarme lo único que realmente nos va ayudar a realizar nuestros sueños: la educación. Gracias por tenerla siempre como prioridad, porque supiste entregarnos la mejor de las herramientas. Gracias por enseñarme y promover mi idealismo y capacidad de soñar, es una de las cosas que me hacen mantenerme en pie y seguir avanzando, gracias por demostrar que nada es imposible y, sobre todo, por confiar en mí.

A la familia en general, padre y hermanos, a los que compartieron conmigo en casa todos estos años. A mi hermana Rocío, por entregarme los valores del amor, cariño, incondicionalidad y respeto, y por todo el apoyo brindado.

A mi director de tesis, profesor Thomas Fichet, por su apoyo incondicional, confianza, sabiduría, amistad, dedicación, ejemplo y enseñanzas entregadas todos estos años. Ha sido un orgullo trabajar con usted todo este tiempo. Al profesor Gabino Reginato por su ejemplo y sus constantes consejos y críticas constructivas que, a su manera, me han entregado gran parte de mi formación profesional; a usted, muchas gracias. A los profesores Nicolás Franck, Karen Sagredo y José Ignacio Covarrubias por todos los consejos y enseñanzas entregadas en el término de la presente tesis.

A mis amigos Julio Herrera, Emmanuel Campana, Felipe Reyes, Felipe Cartes, Camila Ribalta, Fernanda Collao, Catalina Pinto, Sergio González y a todos los integrantes de la 2008, por todos los momentos de felicidad, diversión, compañía, enojos, y sobre todo, amistad. Gracias totales.

A Lucía Michel, por su compañía, apoyo, dedicación, cariño, alegría y amor entregado, sin ti este proceso no habría sido el mismo. Gracias por todo este tiempo compartido, de arduo trabajo pero, a la vez, de una grandiosa compañía. Gracias por todos tus precisos consejos y correcciones.

Finalmente, agradezco a Don Horacio Guzmán, administrador del campo, por la ayuda brindada en los momentos críticos de la fase experimental.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	1
Fenología.....	1
Ciclo vegetativo .....	1
Ciclo reproductivo.....	4
Inducción y diferenciación floral .....	4
Floración, desarrollo floral y cuajado .....	4
Crecimiento de fruto .....	5
Síntesis y acumulación de aceite.....	5
Síntesis de antocianinas.....	6
Clorofila .....	6
Regulación de carga mediante ácido naftalén acético.....	7
LITERATURA CITADA.....	9
CAPÍTULO II: EFECTO DE LA ALTERNANCIA PRODUCTIVA EN LA FENOLOGÍA Y ALGUNAS VARIABLES PRODUCTIVAS EN OLIVO ( <i>OLEA EUROPAEA</i> L.) 'FRANTOIO' EN LA REGIÓN METROPOLITANA .....	16
RESUMEN.....	16
ABSTRACT .....	17
INTRODUCCIÓN .....	18
Hipótesis.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
Ubicación del estudio.....	20
Metodología .....	20
Seguimiento de ciclo vegetativo .....	21
Seguimiento del ciclo reproductivo .....	21
Aplicación de ácido naftalén acético (NAA) .....	21
Evaluaciones .....	22
Datos agroclimáticos.....	22
Crecimiento vegetativo .....	22
Crecimiento de raíces (olivo principal).....	22
Crecimiento de brotes (olivo principal). .....	22
Producción y sus componentes .....	23

Flores perfectas y estaminíferas.....	23
Porcentaje de cuaje.....	23
Producción de fruta.....	23
Crecimiento y maduración de frutos.....	23
Crecimiento de frutos y fecha del endurecimiento de carozo.....	23
Índice de coloración de Ferreira.....	24
Acumulación y rendimiento de aceite.....	24
Evolución de la concentración de aceite.....	24
Rendimiento de aceite.....	24
Concentración de clorofila en hoja.....	24
Análisis estadístico.....	25
RESULTADOS.....	26
Análisis climático.....	26
Estados fenológicos del olivo asociados a acumulación térmica (días-grado).....	26
Ciclo vegetativo.....	27
Ciclo reproductivo.....	29
Producción de fruta y sus componentes.....	32
Rendimiento de aceite y sus componentes.....	33
Alternancia productiva.....	36
Clorofila.....	37
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIONES.....	46
LITERATURA CITADA.....	47
APÉNDICE.....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimiento de calor acumulado, en días-grado (DG°) con base 10°C, desde brotación, para cumplir cada uno de los estados fenológicos, y su fecha cronológica asociada, en olivos 'Frantoio', durante las temporadas 2011-2012 y 2012-2013. ....	27
Cuadro 3. Parámetros de producción de fruta y de rendimiento de aceite y sus componentes en olivos en dos temporadas consecutivas: baja y alta carga frutal. ....	33
Cuadro 4. Concentración de clorofila en hojas de olivo, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura promedio y precipitación mensual durante las temporadas 2011-2012 y 2012-2013. ....	26
Figura 2. Crecimiento de brotes, raíces y frutos del olivo principal, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	28
Figura 3. Distribución del crecimiento de brotes y raíces, expresado en porcentaje del crecimiento entre los diferentes estados fenológicos sobre el total de la temporada, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	28
Figura 4. Distribución del crecimiento de raíces, expresado en porcentaje del crecimiento producido a diferentes profundidades del suelo sobre el total de una temporada. A: temporada 2011-2012; B: temporada 2012-2013. ....	29
Cuadro 2. Proporción de flores perfectas y estaminíferas, y cuaje, expresado en porcentaje, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	29
Figura 5. Porcentaje de cuaje absoluto y cuaje relativo, de olivos, como función de su carga floral, expresada en número de flores/árbol, en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	30
Figura 6. Porcentaje de frutos remanentes en función de los días después de plena flor, en olivos durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).. ....	30
Figura 7. Volumen de frutos, en cm <sup>3</sup> , en función de los días-grado acumulados desde floración, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	31
Figura 8. Acumulación de aceite y crecimiento de fruto en función de los días-grado acumulados desde floración, durante la temporada 2012-2013, en olivos con distintas carga frutal: baja, media y alta. A: peso fresco de fruto (g), concentración de aceite en base a materia seca (b.m.s) y fresca (b.m.f); B: contenido de aceite, en gramos/fruto.....	32
Figura 9. Relaciones entre variables productivas y características del fruto, considerando dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). A: volumen; B: pulpa (PS)/carozo; C: peso seco y fresco; D: humedad; E: aceite y mesocarpo; A, B, C, D, E en función de la carga frutal; F: contenido de aceite en función de los gramos de PS del mesocarpo. ....	34
Figura 10. Producción total, en kg/árbol, en función de la carga frutal, en frutos/árbol, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).. ....	35
Figura 11. Concentración de aceite en base materia seca (b.m.s) y fresca (b.m.f) en función de la producción, en kg/árbol, para olivos durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). ....	35

Figura 12. Rendimiento graso, en kg de aceite/árbol, en función de la producción, en kg de fruta/árbol, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).....	36
Figura 13. Producción individual de olivos, expresada en kg/árbol, en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013), y promedio de producción de ambas temporadas. ....	37
Figura 14. Producción relativa, en términos del potencial máximo de fructificación, entre dos temporadas consecutivas, “n” y “n+1”. Los datos de las diferentes variedades fueron obtenidos en estudios de Tous et al. (1998), Lavee, (2007), Dag et al. (2009), Fichet, (2013) y Conde et al. (2013); los datos de la variedad Frantoio pertenecen a esta investigación...	44

## ÍNDICE DE APÉNDICES

Figura 1. Días-grado acumulados desde plena floración hasta cosecha durante ambas temporadas, 2011-2012 y 2012-2013.....	54
Cuadro 1. Distribución del crecimiento de brotes y raíces, expresado en porcentaje del crecimiento entre los diferentes estados fenológicos sobre el total de la temporada, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). .....	54
Cuadro 2. Carga frutal y producción por árbol durante dos temporadas consecutivas: baja y alta carga frutal.....	55
Figura 2. Análisis de conglomerados jerárquico para los árboles evaluados en la temporada 2012-2013 de acuerdo a carga frutal, producción, relación pulpa/carozo, rendimiento de aceite, peso seco de fruto y contenido de aceite del fruto a cosecha. ....	55

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El olivo se caracteriza por ser una especie que presenta alternancia en la producción, lo que se conoce como, vecería o añerismo, es decir, pasa de un año con alta fructificación a uno de escasa, o nula producción. Actualmente, esto constituye un problema que deben enfrentar los olivicultores nacionales. Así, en Chile, existen olivares comerciales que pueden ver reducida su producción entre un año y otro en más de un 90%, especialmente en variedades aceiteras como Coratina, Frantoio, Koroneiki, Kalamata, Barnea, entre otras (Fichet, 2013). Los huertos en producción son severamente afectados debido a que, usualmente, todos los árboles dentro del huerto están sincronizados en dicha alternancia, producto de las condiciones climáticas previas o circunstancias patológicas (Cuevas et al., 1994; Goldschmidt, 2005).

En los últimos 10 años, las causas de la alternancia productiva en el olivo han atraído una considerable atención (Lavee y Avidan, 1994; Baktir et al., 2004; Ulger et al., 2004; Fernández-Escobar et al., 2004; Lavee, 2007), siendo la carga frutal una de las causas más importantes. Sin embargo, los estudios sobre la carga frutal se han centrado principalmente en el efecto del suministro de agua, debido a que la producción, por lo general, no es controlada mediante el raleo de fruta como en otros frutales (Patumi et al., 1999; Moriana et al., 2003; Tognetti et al., 2006; Gucci et al., 2007; Iniesta et al., 2009; Martin-Vertedor et al., 2011). Por ello, el conocimiento de la fenología del olivo, ciclo vegetativo y reproductivo, adquiere una gran importancia, más aún cuando varía de un año a otro, producto del comportamiento vecero de esta especie (Monselise y Goldschmidt, 1982; Lavee, 1986; Fichet y González, 2011).

#### Fenología

Según el Diccionario de Ciencias Hortícolas (SECH, 1998), la fenología se puede definir de manera general como “el estudio de las relaciones entre las condiciones climáticas y fenómenos biológicos periódicos, como la floración de las plantas”.

La fenología del olivo presenta un ciclo bienal de fructificación, en el cual se traslapan el ciclo de crecimiento vegetativo y reproductivo.

#### Ciclo vegetativo

El crecimiento vegetativo ocurre en dos períodos a lo largo del año. El de mayor crecimiento es el primero, que ocurre en primavera después del reposo invernal, principalmente de

noviembre a enero, donde aparecen los brotes terminales y axilares, de los cuales algunos tendrán flores y frutos al año siguiente. En huertos regados y en árboles con baja carga frutal, el crecimiento de brotes continúa en el verano y parte de otoño, aunque con baja intensidad (Rallo y Cuevas, 2008). El segundo período de crecimiento es en otoño o post-estival, marzo-abril, pero es prácticamente nulo o de magnitud muy limitada en Chile (Fichet y González, 2011).

Los ciclos de crecimiento vegetativo y reproductivo ocurren simultáneamente, por lo que se produce una serie de interacciones de competencia entre sumideros (brotes, frutos, raíces y yemas), que afectarán la fructificación del árbol en todo su ciclo productivo (Monselise y Goldschmidt, 1982). Al respecto, Wright (1989) describe un orden de prioridad entre sumideros, siendo los más fuertes las semillas y, posteriormente, frutos, ápices en crecimiento y hojas, cambium, raíces y, por último, madera para reserva. De hecho, Márquez et al. (1990) encontraron que una vez que la carga frutal está definida, unos 35 a 45 días después de plena floración (Lavee, 1986), los frutos ejercen una elevada demanda, determinando así la partición de los asimilados. Incluso, al producirse una fuerte floración y posterior cuaja, puede que algunas hojas adultas, de más de un año de edad, se vuelvan amarillas y caigan, debido a la alta demanda de fotoasimilados por parte de los frutos (Fichet y González, 2011).

Las yemas florales en el olivo se sitúan en las axilas de los nudos de la madera de un año, por lo tanto, la formación de brotes, su largo y número de nudos, condicionan la producción del año siguiente (Ramírez, 2001). Así, el efecto de una alta carga frutal en el crecimiento vegetativo induce una reducción del peso seco de brotes, hojas y raíces, lo que explica, en parte, el comportamiento vecero de la especie (Rallo y Suárez, 1989; Fernández-Escobar et al., 1992).

De esta forma, en un año de alta fructificación, las pocas yemas laterales encargadas del crecimiento vegetativo y la extensión de las yemas apicales, en general vegetativas, se inhiben o desarrollan brotes más débiles. En tales condiciones, el número de yemas disponibles y su potencial para la diferenciación y fructificación en el año siguiente es muy bajo, incluso bajo condiciones ambientales favorables. En cambio, un año de baja carga frutal se caracteriza, generalmente, por un crecimiento vegetativo vigoroso; los brotes son relativamente largos y fuertes durante estos años, pudiendo soportar un gran número de yemas bien desarrolladas, que, bajo condiciones ambientales apropiadas, estén listas para la inducción y diferenciación floral. Así, el gran número de yemas que podría diferenciarse en reproductoras es la base para un año de alta carga frutal (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008; Fichet y Prat, 2013).

Así, la producción de la temporada depende principalmente del crecimiento vegetativo de la temporada anterior. De este modo, se debe buscar el equilibrio entre la cantidad de fruta en desarrollo y el crecimiento vegetativo, debido a que éste afectará y controlará el potencial de producción de fruta para la siguiente temporada (Fichet, 2013). Por otro lado, la carga óptima va a depender fundamentalmente de la variedad, de la edad del huerto, estado fitosanitario y de la densidad de plantación. En olivos, cuya producción se destina para aceite, resulta de alta importancia equilibrar la carga frutal, debido a los inconvenientes que se producen con

la logística de la cosecha y el procesamiento de las aceitunas en la almazara, en los años de alta producción (Lavee, 2007; Dag et al., 2009).

En relación a las raíces, el período de mayor crecimiento se concentra en primavera (octubre, noviembre y diciembre). Durante el verano (enero y febrero), el desarrollo de raíces es menor y presenta un patrón de crecimiento cíclico activo (Fichet y González, 2011; Ibacache et al., 2001; Fernández et al., 1992); este comportamiento también ha sido descrito para otras especies frutales (Tapia, 1993; Ibacache et al., 1999; Ibacache y Lobato, 1995). En los estudios realizados en olivos, por Ibacache et al. (2001) y Fichet y González (2011), se observó que las raíces crecieron mayormente entre brotación y cuaja. Después de este período se registró una drástica reducción del crecimiento de raíces. Esto, probablemente, se debió a la prioridad de los frutos frente a los demás sumideros (Wright, 1989; Palese et al., 2000).

En cuanto al desarrollo de raíces, aunque las características del crecimiento radical de las diferentes especies vegetales están determinadas genéticamente, éstas son muy susceptibles a ser modificadas por el medio ambiente en el que se desarrollan, variando en función de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, del clima y de las condiciones de cultivo. De éstas últimas, las más influyentes son la carga frutal (Dichio, 2002; Fichet y González, 2011) y la disponibilidad de agua, siendo este factor el más importante (Fernández et al., 1991; Fernández et al., 1992; Palese et al., 2000; Dichio, 2002). Al respecto, Fichet y González (2011) observaron que, en la temporada de alta carga frutal, existió un menor crecimiento radical en relación al año de baja producción. En este sentido, se ha observado en duraznero una relación lineal negativa entre la carga frutal y la acumulación de materia seca en las raíces (Inglese et al., 2002). Por otro lado, Agustí (2000), en cítricos, señala que, en un año de alta fructificación, la reducción de reservas de carbohidratos en las raíces puede ser un factor limitante en la floración siguiente.

El estudio del período de crecimiento de las raíces constituye información relevante para entender el funcionamiento del sistema radical y su relación con la parte aérea, además de identificar los períodos de mayor absorción de agua y elementos minerales por parte de los frutales (Fernández y Moreno, 1999; Ibacache et al., 2001). En este sentido, el uso de cámaras de observación, o rizotrones, constituye un método no destructivo que permite examinar el crecimiento de las raíces en condiciones de campo por un largo período (Fernández et al., 1992; Ibacache et al., 2001).

A pesar de que, generalmente, los huertos adultos presentan añerismo, hay pocos estudios que hayan evaluado la influencia de la alternancia productiva sobre el patrón de crecimiento de raíces y su relación con la parte aérea. De hecho, la mayor parte de las investigaciones se han centrado en el efecto del suministro de agua en el crecimiento radical (Fernández et al., 1992; Nuzzo et al., 1997; Palese et al., 2000).

De esta manera, el conocimiento de la dinámica del crecimiento radical en condiciones de vecería, es importante para entender de mejor manera el comportamiento vecero del olivo y, de esta forma, poder realizar manejos agronómicos que permitan disminuirlo.

## Ciclo reproductivo

**Inducción y diferenciación floral.** El ciclo reproductivo comienza en verano y se completa en dos años. Durante el primero, en las yemas localizadas en las axilas de las hojas del brote de la temporada, se producen cambios histoquímicos, como acumulación de ARN y citoquininas (Andreini et al., 2008), que provocan que una yema vegetativa se convierta en flor, proceso que se denomina inducción floral (Ibacache, 2003). El período más importante para la inducción pareciera ser de enero a marzo, aunque las yemas pueden permanecer en condición de reversibilidad hasta agosto, influenciadas, sobre todo, por la disponibilidad de fotoasimilados (Fernández-Escobar et al., 1992). En este sentido, el éxito de la inducción y diferenciación floral está fuertemente relacionado con dicha disponibilidad, la cual puede ser carente en condiciones de baja luminosidad (Therios, 2009), estrés hídrico (Alegre et al., 2001), estrés biótico y exceso de carga frutal (Fichet y González, 2011). Respecto al último factor, en condiciones normales de manejo y sin estrés, más de un 50 % de disminución en la producción de la temporada puede deberse a un exceso de carga frutal del año anterior (Fichet y Prat, 2013).

El segundo año, en la madera de la temporada anterior, se produce la floración, cuaje, crecimiento y maduración de frutos, proceso que comienza entre octubre y noviembre.

**Floración, desarrollo floral y cuajado.** La brotación de las yemas florales inicia el crecimiento y desarrollo de las inflorescencias y flores. Este proceso es un gran consumidor de fotoasimilados (De la Rosa et al., 2000). Un árbol de olivo adulto, en un año normal, puede producir alrededor de 500.000 flores, pero sólo el 1 a 2% de ellas terminará en frutos que alcanzarán la madurez. Existen dos tipos de flores en el olivo: estaminíferas y hermafroditas o perfectas. Los principales factores que afectan la proporción entre ellas son la radiación, temperatura, posición de las yemas, balance hídrico, disponibilidad de nutrientes (Fabbri y Benelli, 2000), condiciones genéticas y el nivel de producción de frutos del año anterior (Lavee et al., 1996), por lo que puede variar de año en año, de árbol en árbol, de rama en rama, y de inflorescencia en inflorescencia (Badr y Hartmann, 1972), siendo estos factores determinantes en la fase de desarrollo floral, como también en el aborto pistilar (Cuevas y Polito, 2004). En este sentido, Cuevas et al. (1994) observaron que, en el mismo año, en árboles con baja carga floral, el porcentaje de inflorescencias perfectas fue mayor que en aquellos con alta carga, debido a un menor nivel de competencia por los nutrientes entre las inflorescencias presentes. Además, el efecto de la carga floral influyó en el porcentaje de frutos cuajados. Según Lavee (1986), el número final de frutos puede llegar a un 6 o 7% cuando hay poca floración. Sin embargo, la carga frutal no solamente se controla con la competencia dentro de cada inflorescencia, sino que también depende de la fructificación potencial del árbol (Cuevas y Rallo, 1990; Lavee et al., 1996). Por otro lado, se ha constatado que los árboles con baja fructificación presentan una longevidad del óvulo mayor (Cuevas et al., 1994). Así, la producción de un árbol viene definida por su fructificación potencial, dada por la cantidad de flores y su fructificación real, constituida por los frutos restantes tras la caída de postantesis (Rallo y Cuevas, 2008).

**Crecimiento de fruto.** El fruto del olivo es una drupa compuesta por tres tejidos: el exocarpo, que es la capa exterior, fina y protectora; el mesocarpo, que es la pulpa, y el endocarpo endurecido, que es el carozo (King, 1938). De estos tejidos, la pulpa es el de mayor interés económico, al ser la parte comestible del fruto y en donde se acumula el 95% del aceite total, representando éste, aproximadamente, el 10 a 30 % del peso fresco de la fruta (Conde et al., 2008). La carga frutal, en árboles expuestos a las mismas condiciones ambientales, es el principal factor que modula el crecimiento y, por lo tanto, el tamaño final de la fruta (Lavee y Wodner, 2004).

Según Rapoport (2008), el crecimiento de fruto tiene tres fases;

**Fase I**, en la que se produce un crecimiento rápido del endocarpo y mesocarpo debido a una intensa división y posterior expansión celular. Esta fase se completa entre 8 a 10 semanas después de la floración; una vez finalizada la expansión del endocarpo, se inicia su esclerificación o endurecimiento.

**La Fase II** es en la cual se produce un crecimiento acelerado del embrión, alcanzando su máximo una vez definido el tamaño de la semilla. A su vez, se ralentiza el crecimiento del mesocarpo y se inicia la acumulación de ácidos grasos, la cual presenta un curva de evolución simple sigmoidea (Tombesi, 1994). Esta etapa culmina con el endurecimiento del endocarpo o carozo.

**La Fase III** es de crecimiento rápido, producto de una fuerte expansión celular del mesocarpo, el que aumenta su área transversal aproximadamente al doble (Gucci et al., 2009). Este período es importante porque, una vez iniciado, comienza una intensa acumulación de lípidos en la pulpa, entre los 60 y 120 días después de plena flor (DDPF) (Lavee y Wonder, 2004). Al término de esta etapa, el embrión alcanza su madurez y, a su vez, comienza el cambio de color de la epidermis (envero), coincidiendo con el término de la acumulación de aceite.

**Síntesis y acumulación de aceite.** La biosíntesis y acumulación de aceite en el mesocarpo están influenciadas por condiciones ambientales y culturales, mientras que el rendimiento graso, tamaño y contenido final de aceite en el fruto es, además, dependiente de la genética (Lavee y Wodner, 1991). En olivos cuya producción se destina para aceite de oliva interesa el mayor rendimiento de aceite, con las mejores características organolépticas posibles. Este rendimiento, o cantidad de aceite producida por un olivo, es altamente dependiente de las temperaturas (Fichet y Prat, 2013) y, además, parece estar regulada principalmente por el tamaño del mesocarpo disponible para la biosíntesis de lípidos (Del Río y Caballero, 2008). La relación mesocarpo/endocarpo dentro de cada variedad está fuertemente relacionada con el tamaño del fruto y, por lo tanto, está afectada por la carga frutal. En este sentido, una alta carga frutal disminuye esta relación (Barone et al., 1994; Gucci et al., 2007; Trentacoste et al., 2010), afectando principalmente al mesocarpo (Morettini, 1972, citado por Lavee y

Wonder, 2004). Así, el endocarpo tiene una mayor prioridad como sumidero, compitiendo por agua y nutrientes (Rapoport et al., 2004; Morales-Sillero et al., 2008). A su vez, la concentración de aceite de la fruta y su tasa de acumulación también puede disminuir (Barone et al., 1994; Lavee, 2007; Gucci et al., 2007). Incluso, una alta fructificación influiría en la proporción de los distintos ácidos grasos que componen el aceite de oliva (Barone et al., 1994; Beltrán et al., 2004). La vinculación de la carga frutal con el rendimiento de aceite, y su relación con el potencial productivo, considerando en este último punto la alternancia productiva, aún no ha sido estudiada.

**Síntesis de antocianinas.** Durante la maduración se produce la acumulación de aceite, antocianinas y carotenos, siendo estos últimos los involucrados en la coloración violeta o púrpura del fruto (Roca y Mínguez-Mosquera, 2001). A su vez, la actividad fotosintética disminuye y las concentraciones de ambas clorofilas y carotenoides decrecen progresivamente (Salvador et al., 2001); esto es porque la fotosíntesis del fruto depende, en parte, de la concentración de clorofila (Tombesi, 1994). En España, la coloración es el índice más utilizado para decidir el momento de cosecha en olivos, y sirve como un marcador común del grado de maduración, expresado como índice de madurez (Ferreira, 1979, citado por Beltrán et al., 2008). Sin embargo, se ha observado en varios ambientes que la tasa de cambio de color depende de la carga frutal (Barone et al., 1994; Tognetti et al., 2006; Trentacoste et al., 2010; Dag et al., 2011). Al respecto, Dag et al. (2011) observaron que durante las temporadas de alta carga frutal, el índice de madurez aumenta lentamente, mientras que en las temporadas de baja carga, éste avanza más rápido. Así, el uso del índice de madurez para la toma de decisiones de cosecha debe ser considerado según la carga frutal del huerto (Trentacoste et al., 2010).

### Clorofila

Las hojas del olivo, las cuales persisten por 2 o más años, tienen un alto potencial de síntesis de carbohidratos y de almacenamiento, lo que las convierte en el principal órgano de reserva (Bustan et al., 2011). En este sentido, la clorofila de las hojas juega un papel fundamental en la fotosíntesis y, por su composición, constituye una reserva de nitrógeno. Al respecto, Boussadia et al. (2011) encontraron que la concentración de clorofila se correlaciona directamente con la fotosíntesis y el nivel de concentración de nitrógeno. Este elemento, junto con el potasio, son los más extraídos por las olivas (Fichet y Razeto, 2011).

La oliva en desarrollo es un fuerte sumidero que requiere un suministro continuo de nutrientes (Proietti et al., 1999). Así, la fruta compite con éxito con el crecimiento de brotes, tanto por fotoasimilados de la temporada como por carbohidratos de reserva, previamente acumulados en diferentes tejidos del árbol, principalmente en las hojas (Bustan et al., 2011). La mayoría de los fotoasimilados demandados por los frutos en desarrollo son suministrados por las hojas ubicadas en los mismos brotes que ellos (Rallo y Suárez, 1989). En este sentido, en paltos (*Persea americana* Mill.) con elevada intensidad de floración, se ha observado que en el momento de la floración y, posteriormente, en la fase inicial del crecimiento de fruto,

la concentración de clorofilas totales disminuye fuertemente en las hojas circundantes a los frutos, mostrando una clorosis significativa y llegando, incluso, a provocar la caída de estas hojas, lo que deja los árboles evidentemente afectados (Gandolfo, 2008). Por otro lado, en un estudio realizado sobre el efecto del raleo de frutos en mandarinos Satsuma, indicaría que, a mayor carga frutal, mayor sería la concentración de clorofila en hojas (Agustí et al., 2007); lo mismo ha sido observado en manzano (Wünsche et al., 2005). En cuanto al olivo, también se ha observado mayores concentraciones de clorofila a cosecha cuando la relación fuente-sumidero ha sido baja, relacionándose, a su vez, con una mayor tasa fotosintética (Proietti et al., 2006).

A pesar de que existe escasa información sobre el movimiento estacional de la clorofila, el conocimiento de este movimiento durante un ciclo de alternancia productiva es importante, debido a que, según Boussadia et al. (2011), esta molécula se vincula con el nivel de nitrógeno y la tasa de fotosíntesis.

### **Regulación de carga mediante ácido naftalén acético**

El olivo, como ha sido anteriormente señalado, presenta una fuerte alternancia productiva. Una alternativa para regular la carga frutal, en los años de alta fructificación, es el uso del ácido naftalén acético (NAA) (Lavee, 1986; Rallo y Cuevas, 2008; Dag et al., 2009; Therios, 2009; Fichet, 2013). Esta auxina de síntesis actúa aumentando la síntesis de etileno endógeno en los órganos asperjados, el cual activa las zonas de abscisión del fruto (Fichet, 2013). El raleo de frutos con NAA suele uniformar y adelantar la maduración, pero esto no es debido a un efecto del NAA per se, sino a la reducción de la carga del árbol que éste ocasiona (Lavee, 1986). Las aplicaciones suelen ser efectivas, observándose efectos positivos en el retorno floral y en la calidad de la fruta, tales como, tamaño de fruto, relación pulpa/carozo y contenido de aceite (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008; Dag et al., 2009; Fichet, 2013). Sin embargo, el grado de raleo obtenido con NAA depende de varios factores, los cuales pueden causar un exceso o nulo raleo de frutos. Algunos de estos factores son: edad del árbol, vigor, nivel de floración, grado de polinización, humedad y temperatura ambiental, concentración de ingrediente activo (i.a.), volumen y momento de aplicación (Rallo y Cuevas, 2008; Therios, 2009). Respecto al momento de aplicación, Rallo y Cuevas (2008) señalan que éste se puede determinar en base a dos criterios: días después de plena floración y tamaño de fruto. El primer criterio consiste en aplicar  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de i.a. por cada día, entre 12 y 18 DDPF, con un volumen de aplicación que asegure una buena cobertura del árbol. En el segundo criterio, sugieren que las aplicaciones sean realizadas con un tamaño de fruto entre 3-5 mm para la variedad de mesa ‘Manzanilla de Sevilla’, debido a que ese momento indica que la fecundación ha terminado y el crecimiento de fruto se ha iniciado. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en variedades de mesa de EE.UU. e Israel (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008) y, últimamente, se ha empezado a investigar en variedades para aceite (Dag et al., 2009; Fichet, 2013).

La alternancia productiva en frutales se ha conocido desde la antigüedad y, sin embargo, sigue siendo un problema. Monselise y Goldschmidt (1982) señalan que la fructificación

irregular es el comportamiento normal de los árboles en su ambiente natural; de hecho, Goldschmidt (2005) propone que, en un sentido evolutivo amplio, la vecería, tal vez, se debe entender como un fenómeno de la homeostasis. A pesar de que, en las últimas décadas, se ha introducido la intensificación de huertos con riego y nutrición mineral, con el fin de alcanzar mayores y más estables rendimientos para la industria del aceite (Rallo y Cuevas, 2008), los que en efecto se han obtenido (Moriana et al., 2003), la reducción de la alternancia en los olivares sigue siendo un problema.

**LITERATURA CITADA**

- Agustí, M. 2000. Brotación y floración. (cap. 6, pp. 121-138). En: Citricultura. 2ª edición. España: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 416p.
- Agustí, M.; M. Juan and V. Almela. 2007, Aug. Response of 'Clausellina' Satsuma mandarin to 3, 5, 6-trichloro-2-pyridiloxycetic acid and fruitlet abscission. *Plant Growth Regulation*, 53(2): 129-135.
- Alegre, S.; Girona, J; A. Arbonés; M. Mata y J. Marsal. 2001. Estrategias de riego deficitario controlado para el riego del olivar. *Fruticultura Profesional*, 120: 19-28.
- Andreini, L.; S. Bartolini; A. Givarc'h; D. Chriqui and C. Vitagliano. 2008, Nov. Histological and immunohistochemical studies on flower induction in the olive tree (*Olea europaea* L.). *Plant Biology*, 10(5): 588-595.
- Badr, S. and H. T. Hartmann. 1972, Dec. Flowering response of the olive (*Olea europaea* L.) to certain growth regulators applied under inductive and noninductive environments. *Botanical Gazette*, 133(4): 387-392.
- Baktir, I.; S. Ulger; L. Kaynak and D.G. Himmelreck. 2004, Aug. Relationship of seasonal changes in endogenous plant hormones and alternate bearing of olive trees. *HortScience*, 39(5): 987-990.
- Barone, E., G. Gullo, R. Zappia and P. Inglese. 1994. Effect of crop load on fruit ripening and olive oil (*Olea europaea* L.) quality. *Journal of Horticultural Science*, 69(1): 67-73.
- Beltrán, G.; C. Del Río; S. Sanchez and L. Martínez. 2004, Oct. Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13): 1783-1790.
- Beltrán, G.; M. Uceda; M. Hermoso y L. Frias. 2008. Maduración. (cap. 6, pp. 163-184). En: Barranco, R. Fernández.-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España. Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.
- Boussadia, O.; K. Steppe; H. Zgallai; S. Ben El Hadj; M. Braham; R. Lemeur and M.C. Van Labeke. 2011, Mar. Nondestructive determination of nitrogen and chlorophyll content in olive tree leaves and the relation with photosynthesis and fluorescence parameters. *Photosynthetica*, 49(1): 149-153
- Bustan, A.; A. Avni; S. Lavee; I. Zipori; Y. Yeselson; A. Schaffer; J. Riov; A. Dag and M. Ryan. 2011, May. Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Journal Tree Physiology*, 31(5): 519-530.

- Conde, C.; S. Delrot and H. Gerós. 2008, Oct. Physiological, biochemical and molecular change occurring during olive development and ripening. *Journal of plant physiology*, 165(15): 1545-1654.
- Cuevas, J. and L. Rallo. 1990, Jan. Response to cross-pollination in olive trees with different levels of flowering. *Acta Horticulturae*, 286: 179-182.
- Cuevas, J. and V. Polito. 2004, May. The role of staminate flowers in the breeding system of *Olea europaea* (*Oleaceae*): an andromonoecious, wind-pollinated taxon. *Annals of Botany*, 93(5): 547-553.
- Cuevas, J.; L. Rallo and H.F. Rapoport. 1994, Oct. Crop load effects on floral quality in olive. *Scientia Horticulturae*, 59(2): 123-130.
- Dag, A.; Z. Kerem; N. Yogeve; I. Zipori; S. Lavee and A. Ben-David. 2011, Jan. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 127(3): 358-366.
- Dag, A., A. Bustan, A. Avni, S. Lavee and J. Riov. 2009. Fruit thinning using NAA shows potential for reducing biennial bearing of Barnea and Picual oil olive trees. *Crop and Pasture Science*, 60(12): 1124-1130.
- De la Rosa, R.; L. Rallo and H.F. Rapoport. 2000, Dec. Olive floral bud growth and starch content during winter rest and spring budbreak. *HortScience*, 35(7):1223–1227.
- Del Río, C. and J.M. Caballero, 2008, Jun. Variability and classification of olive cultivars by fruit weight, flesh/stone ratio and oil percentage. *Acta Horticulturae*, 791(2): 39–44.
- Dichio, B.; M. Romano; V. Nuzzo and C. Xiloyannis. 2002, Oct. Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees (cv. Coratina). *Acta Horticulturae*, 586: 255-258.
- Fabbri, A. and C. Benelli. 2000, Mar. Flower bud induction and differentiation in olive. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 75(2): 131-141.
- Fernández-Escobar, R.; M., C. Benlloch; Navarri and C. Martín. 1992, Mar. The time of floral induction in the olive. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(2): 304-307.
- Fernández-Escobar, R.; R. Moreno and M.A. Sánchez-Zamora. 2004, Oct. Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *HortScience*, 39(6): 1406–1411.
- Fernández, J.E. and F. Moreno. 1999. Water use by the olive tree. *Journal of crop production*, 2 (2): 101-162.

- Fernández, J.E.; F. Moreno; F. Cabrera; J.L. Arrúe and J. Martín-Aranda. 1991, Jun. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and Soil*, 133(2): 239–251.
- Fernández, J.E.; F. Moreno; J. Martín-Aranda and E. Fereres. 1992. Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agricultura Mediterranea*, 122(3): 225–235.
- Fichet, T. 2013. Manejo de la carga frutal y su relación con el añerismo. (cap. 2, pp. 39-70). En: Fichet, T. y J.L. Henríquez (Eds.). Aportes al conocimiento del cultivo del olivo en Chile. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 264p. (Serie de Actas Agronómicas N° 21)
- Fichet, T. y C. González. 2011. Comportamiento fenológico del olivo en la Región de Atacama. (cap. 1, pp. 9-22). En: Fichet, T.; B. Razeto y T. Curcovik (Eds.). El olivo: Estudio agronómico en la Región de Atacama. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 170p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 16).
- Fichet, T. y B. Razeto. 2011. Evolución estacional de elementos minerales en hojas y frutos. (cap. 4, pp. 67-88). En: Fichet, T.; B. Razeto y T. Curcovik (Eds.). El olivo: Estudio agronómico en la Región de Atacama. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 170p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 16).
- Fichet, T y L. Prat. 2013. Comportamiento fenológico del olivo en Chile. (cap. 2, pp.15-38). En: Fichet, T. y J.L. Henríquez (Eds.). Aportes al conocimiento del cultivo del olivo en Chile. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 264p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 21).
- Gandolfo, S.P., 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. Tesis Doctoral. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. 211p.
- Goldschmidt, E.E. 2005, Jan-Feb. Regulatory aspects of alternate bearing in fruit trees. *Italus Hortus*, 12(1):11–17.
- Gucci, R.; E. Lodolini and H.F. Rapoport. 2007, Jul. Productivity of olive trees with different water status and crop load. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82(4): 648–656.
- Gucci, R.; E. Lodolini and H.F. Rapoport. 2009, Oct. Water deficit induced changes in mesocarp cellular processes and the relationship between mesocarp and endocarp during olive fruit development. *Tree Physiology*, 29: 1575–1585
- Ibacache, A. 2003. Floración, cuaja y fructificación. (cap. 2, pp. 21-26). En: Tapia, F; M. Astorga; A. Ibacache; L. Martínez; C. Sierra; C. Quiroz; P. Larraín y F. Riveros. Manual del cultivo del olivo. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intahuasi. 128p. (Boletín INIA N° 101).

- Ibacache, A. y Lobato, A. 1995. Periodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola*, 16: 23-26.
- Ibacache, A; F. Tapia y P. Olivares. 2001. Estudio de la fenología aérea y radicular del olivo. (cap. 1, pp. 76-78). En: Jornadas Olivícolas Nacionales (5<sup>a</sup>, 17, 18, 19 de octubre 2001, Vallenar, Chile). Serie Actas N° 14. Salvatierra, A; C. Quiroz; C. Zóccola; F. Tapia; A. Ibacache y M. Astorga. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intahuasi. 152p.
- Ibacache, A., Rojas, N. y Jopia, C. 1999, Aug. Growing period of roots in cherimoya trees (*annona cherimola* Mill.) in the north of Chile. *Acta Horticulturae*, 497: 339-345.
- Iniesta, F.; L. Testi; F. Orgaz and F.J. Villalobos. 2009, May. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*, 30(4): 258–265.
- Inglese, P., T., Caruso; G. Gugliuzza and L.S. Pace. 2002, Sep. Crop load and rootstock influence on dry matter partitioning in trees of early and late ripening peach cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(5): 825-830.
- King, J. R. 1938. Morphological development of the fruit of the olive. *Hilgardia*, 11:437-458.
- Lavee, S. 2007. Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). *Annales: Series Historia Naturalis*, 17(1):101- 112.
- Lavee, S. 1986. Olive. (cap. 3, pp. 261-276). In: Monselise, S. (Ed). CRC Handbook of fruit set and development. Florida, USA: CRC Press, Boca Ratón. 568p. (CRC Series in Nutrition and Food)
- Lavee, S. and N. Avidan. 1994, Jan. Protein content and composition of leaves and shoot bark in relation to alternate bearing of olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Horticulturae*, 356 (1): 143-147.
- Lavee, S and M. Wodner. 1991, Sep. Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 66(5):583-591
- Lavee, S. and M. Wonder. 2004, May. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea* L.), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae*, 99(3-4): 267-277.
- Lavee, S.; L. Rallo; H. F. Rapoport and A. Troncoso. 1996, Oct. The floral biology of the olive: effect of flower number, type and distribution on fruitset. *Scientia Horticulturae*, 66(3-4): 149-158.

- Márquez, J. A.; M. Benlloch and L. Rallo. 1990, Dec. Seasonal changes of glucose, potassium and rubidium in 'Gordal Sevillana' olive in relation to fruitfulness. *Acta Horticulturae*, 286: 191-194
- Martin-Vertedor, A.; J. Pérez Rodríguez; H. Prieto Losada and E. Fereres. 2011, Jan. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) II. – Water use, fruit and oil yield. *Agricultural Water Management*, 98: 950-95.
- Monselise, P.S. and E.E. Goldschmidt. 1982. Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural Reviews*, 4(1):128–173.
- Morales-Sillero, A.; H.F. Rapoport; J.E. Fernández and A. Troncoso. 2008, Jun. Olive fruit pulp and pit growth under differing nutrient supply. *Scientia Horticulturae*, 117(2): 182-184.
- Moriana, A.; F. Orgaz; M. Pastor and E. Fereres. 2003, May. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128(3):425-431.
- Nuzzo, V; C. Xiloyannis; B. Dichio; G. Montanaro and G. Celano. 2007, Aug. Growth and yield in irrigated and non-irrigated olive trees cultivar Coratina over four years after planting. *Acta Horticulturae*, 449(1): 75-82.
- Palese, A.M.; B. Dichio; G. Celano; M. Romano and C. Xiloyannis. 2000, Oct. The influence of soil water content on root density in young olive trees. *Acta Horticulturae*, 537(2): 329-336.
- Patumi, M.; R. DiAndria; G. Fontanazza; G. Morelli; P. Giorio and Sorrentino, G. 1999, Oct. Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 74(6): 729–737.
- Proietti, P., F. Famiani and A. Tombesi. 1999, Aug. Gas exchange in olive fruit. *Photosynthetica*, 36(3): 423–432.
- Proietti, P.; L. Nasini, and F. Famiani. 2006. Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (*Olea europaea* L.) *Photosynthetica*, 44(2): 275-285.
- Rallo, L. y J. Cuevas. 2008. Fructificación y producción. (cap. 5, pp. 126-162). En: Barranco, R. Fernández.-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España. Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.
- Rallo, L. and M.P. Suárez. 1989. Seasonal distribution of dry matter within the olive fruit-bearing limb. *Advanced Horticultural Science*, 3(2): 55-59.

- Ramírez, M. 2001. Variabilidad de la producción en olivo (*Olea europaea* L.). Relación entre la alternancia, floración, vigor y productividad. Tesis Doctoral en Ciencias Agronómicas. Córdoba, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba. 200p.
- Rapoport, H.F. 2008. Botánica y morfología. (cap. 2, pp. 39-62). En: Barranco, R. Fernández.-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España. Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.
- Rapoport, H.F.; G. Costagli and R. Gucci. 2004, Jan. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1): 121-127.
- Roca, M. and M.I. Mínguez-Mosquera. 2001, Jan. Change in the natural ratio between chlorophylls and carotenoids in olive fruit during processing for virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(1): 133-138.
- Salvador, M.D.; F. Aranda and G. Fregapane. 2001, Apr. Influence of fruit ripening on Cornicabra virgin olive oil quality. A study of four successive crop seasons. *Food Chemistry*, 73(1): 45-53.
- Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 1999. Diccionario de Ciencias Hortícolas. Madrid: Mundi-Prensa Libros. 605p.
- Tapia, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass, para la zona de Quillota, V Región. Memoria Ingeniero Agrónomo. Quillota, Chile: Universidad Católica de Valparaíso. 135p.
- Therios, I. 2009. Flower bud induction and differentiation. (cap. 9, pp. 93-109). In: Atherton, J. and A. Rees (Eds). Olives. Greece: CAB International. 398p. (Crop Production Science Horticulturae Series, N°18)
- Tombesi, A. 1994, Jan. Olive fruit growth and metabolism. *Acta Horticulturae*, 356:225-232.
- Tognetti, R.; R. Di Andria; A. Lavini and G. Morelli. 2006, Nov. The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). *European Journal Agronomy*, 25(4): 356-364.
- Trentacoste, E.; C. Puertas and V. Sadras. 2010, May. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). *European Journal of Agronomy*, 32(4): 249-254.
- Ulger, S.; S. Sonmez; M. Karkacier; N. Estoy; O. Akdesir and M. Aksu. 2004, Jan. 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 Regulation*, 42(1): 89-95.

Wünsche, J.N.; D.H. Greer; W.A. Laing and J.W. Palmer. 2005, Oct. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiology*, 25(10):1253–1263.

Wright, C. J. 1989. Interactions between vegetative and reproductive growth. (cap. 2. pp. 15-27). In: Wright, C. J. Manipulation of fruiting. Londres, Inglaterra: Butterworths & Co. Ltd. 414p.

## **CAPÍTULO II: EFECTO DE LA ALTERNANCIA PRODUCTIVA EN LA FENOLOGÍA Y ALGUNAS VARIABLES PRODUCTIVAS EN OLIVO (*OLEA EUROPAEA* L.) ‘FRANTOIO’ EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

### **RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue estudiar la influencia de la carga frutal en el grado de alternancia productiva de olivos ‘Frantoio’, y sus efectos en el comportamiento fenológico, variables vegetativas, productivas y de rendimiento de aceite, con el fin de permitir al olivicultor generar estrategias de manejo conducentes a disminuir la vecería mediante una mejor integración de las prácticas agronómicas. Para ello, durante las temporadas 2011-2012 y 2012-2013, de baja y alta carga frutal, respectivamente, se realizó un seguimiento quincenal de variables fenológicas; crecimiento vegetativo: brotes y raíces; y reproductivo: tipo de flor, cuaje, crecimiento de fruto y acumulación de aceite. Además, se midió la producción por árbol, y se estimó la carga frutal y el rendimiento de aceite a cosecha.

Los principales resultados muestran una fuerte influencia de la carga frutal en las variables evaluadas. La distribución e intensidad del crecimiento vegetativo, radical y aéreo, fue más acotado y de menor intensidad en la temporada de alta fructificación, produciéndose, gran parte del crecimiento vegetativo, previo a la floración. Respecto a las variables reproductivas, se observó, en la temporada de baja floración, un mayor porcentaje de flores perfectas y cuaje respecto a la de alta carga. Estos resultados sugieren un mecanismo parcial de compensación en condiciones de baja floración; sin embargo, este mecanismo no alcanza a compensar la menor producción de la temporada.

En relación a la producción y rendimiento de aceite, se observó que la producción promedio de un árbol, en dos temporadas consecutivas, de baja y alta carga frutal, es constante, independiente del nivel de producción de los árboles, sugiriendo un potencial óptimo de producción en el cual no se presenta alternancia productiva. Éste, a su vez, parece estar relacionado con la tasa de ganancia máxima de rendimiento de aceite por kg de fruta producido. De esta manera, al sobrepasar el óptimo de producción, en un año de alta carga frutal, esta tasa disminuye. Sin embargo, aún se requieren más estudios que profundicen estos resultados, en otras condiciones y variedades.

**Palabras clave:** aceite, carga frutal, crecimiento, raíces, rendimiento.

## ABSTRACT

The aim of this research was to study the influence of crop load on the degree of alternate bearing of 'Frantoio' olive trees and its effects on phenology, vegetative growth, yield level and oil yield variables. This would allow an olive grower to generate management strategies leading to decrease the biennial bearing through better integration of agronomic practices. Accordingly, during the 2011-2012 and 2012-2013 seasons, a bi-weekly monitoring of phenological variables was performed; vegetative growth: shoots and roots; and reproductive: type of flowers, fruit set, fruit growth and oil accumulation. Moreover, the production per tree was measured and crop load and oil yield at harvest was estimated.

The main results show a strong influence of crop load on the variables evaluated. The radical and shoot growth distribution and intensity was more limited and less intense in high-fruited season (On-year), producing much of vegetative growth before flowering. Regarding reproductive variables it was observed a higher percentage of perfect flowers and fruit set relative to the high crop load in the low flowering season (Off-year). These results suggest a partial compensation mechanism when low levels of flowering occurs; however, this mechanism, can not compensate the lower yield of that season.

Regarding total and oil yield, it was found that the average yield of a tree in two consecutive seasons, with low and high crop load, is constant, independent of tree yield level, suggesting an optimal yield where alternate bearing is not present. This, in turn, appears to be related to the maximum gain rate of oil yield per kg of fruit produced. Thus, the optimal yield exceeds in a year of high crop load, this rate decreases. However, further studies to explore these results in other conditions and varieties are required.

**Keywords:** oil, crop load, growth, root, yield

## INTRODUCCIÓN

La alternancia productiva es un fenómeno generalizado en muchos frutales, que causa serios problemas en la logística y comercialización de la producción, afectando de este modo la rentabilidad de los huertos (Monselise y Goldschmidt, 1982; Goldschmidt, 2005; Lavee, 2007). El olivo (*Olea europaea* L.) es una especie que, genéticamente, presenta una fuerte alternancia productiva (Lavee, 2007). Esto se debe al ciclo bienal de fructificación del olivo, en el cual se traslapan el ciclo de crecimiento vegetativo y reproductivo (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008), los que son afectados por factores endógenos: señales fitohormonales, demanda por fotoasimilados, nutrientes y agua; y exógenos: condiciones edafoclimáticas y manejos agronómicos (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008; Therios, 2009, Fichet y González, 2011). De éstos, la carga frutal es uno de los factores más influyentes, al ser la fruta el principal competidor dentro de la planta (Rallo y Cuevas, 2008).

Goldschmidt (2005) señala que, al estudiar el fenómeno de la alternancia, es útil distinguir entre el activador, es decir, lo que induce e inicia la alternancia, y los mecanismos que operan en la perpetuación de la condición cíclica, dada por un año de alta seguido por uno de baja carga frutal. Respecto a este último punto, la competencia por fotoasimilados, desencadenada por los frutos en crecimiento, es el caso más representativo de las relaciones fuente-sumidero en el olivo, siendo éstos los principales responsables de la perpetuación de la condición de vecería (Goldschmidt, 2005; Rallo y Cuevas, 2008). Así, en años de alta fructificación, los frutos no sólo afectan la producción de la temporada siguiente, disminuyendo el crecimiento vegetativo, la inducción y diferenciación, sino también las características de la fruta de esa misma temporada, produciendo frutos pequeños, de maduración tardía y con una menor tasa de acumulación de aceite (Lavee, 2007). Trentacoste et al. (2010) señalan que la comprensión de los efectos de la carga frutal sobre el rendimiento de aceite y sus componentes, producción, relación pulpa/fruto y acumulación de aceite, y como éstos se relacionan con el potencial productivo del huerto, es necesaria para generar estrategias de manejo conducentes hacia la reducción de la vecería y lograr las primeras estimaciones de la producción de aceite. No obstante, es importante destacar que la relación entre la carga frutal y el potencial productivo de aceite, considerando la alternancia productiva, aún no ha sido estudiada.

Por otro lado, existen pocos estudios sobre la competencia entre el crecimiento de raíces y el de brotes y frutos (Rallo y Cuevas, 2008). Estos autores señalan que la distribución de fotoasimilados entre sumideros alternativos parece jugar un papel relevante en los procesos de crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta. En este sentido, Polverigiani et al. (2012) indican que, conocer cómo los factores ambientales y las relaciones fuente-sumidero afectan el crecimiento de las raíces, es fundamental para entender cómo las plantas se adaptan a las condiciones climáticas, y también es esencial para realizar un manejo agronómico eficiente de los huertos frutales. Por otro lado, Fichet y González (2011) señalan que el conocimiento de la fenología del olivo representa una herramienta de gran importancia para el olivicultor, permitiendo entender de mejor manera el comportamiento del olivo y, de esta forma, intervenirlos según sus ciclos: vegetativo, crecimiento de brotes y raíces, y/o reproductivo, floración y crecimiento de los frutos.

### **Hipótesis**

La alternancia productiva modifica la fenología, el crecimiento vegetativo y reproductivo, y las variables productivas en olivos.

### **Objetivo**

Evaluar la influencia de la alternancia productiva sobre la fenología, crecimiento vegetativo reproductivo, y las variables productivas en olivos 'Frantoio'.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del estudio**

La investigación se llevó a cabo entre agosto de 2011 y agosto de 2013, en el fundo “ El Oliveto”, Agrícola Valle Grande Limitada, ubicado en el kilómetro 17,5 de la Ruta G-546, en el sector Pallocabe, localidad de Cholqui, Comuna de Melipilla, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana, Chile (33°48' S y 71°05' O, 345 m.s.n.m).

El huerto de olivos, en el cual se realizó esta investigación, fue plantado en 1998; es un predio con manejo orgánico desde el año 2001, polivarietal y bajo riego por goteo, con goteros de 2 L h<sup>-1</sup> dispuestos en hilera simple cada 50 cm, alcanzando un aporte de 4000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los olivos estudiados están plantados en un marco de plantación 6 x 4 m, con una orientación Norte-Sur y corresponden a la variedad Frantoio. Las labores agronómicas, como riego, fertilización y poda, se realizaron de acuerdo al criterio y manejo implementado por la empresa.

Los análisis de clorofila y concentración de aceite se realizaron en el laboratorio de Fisiología del Estrés y Análisis Foliar, respectivamente, del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación meteorológica marca Spectrum Technologies Inc, modelo WatchDog, EE.UU., ubicada en el predio.

### **Metodología**

El estudio de la influencia de la alternancia productiva en el comportamiento del olivo se realizó mediante un seguimiento quincenal de variables fenológicas y crecimiento vegetativo y reproductivo durante dos temporadas. Este seguimiento se realizó en árboles uniformes, en cuanto a desarrollo, vigor y altura, rodeados completamente por otros olivos y sin problemas nutricionales y patológicos. Las evaluaciones comenzaron el 16 de agosto del 2011, período en el cual los olivos se encontraban en fase de reposo invernal. En la temporada 2011-2012, los árboles presentaron baja carga frutal (año de baja), es decir, con poca cantidad de frutos; el término de las mediciones fue en agosto de 2013, en el cual había terminado la temporada de alta fructificación, 2012-2013 (año de alta).

Para identificar los estados fenológicos vegetativos y reproductivos, en los cuales se realizaron las mediciones, se utilizó la escala estandarizada de Sanz-Cortés et al. (2002). De esta manera, las siguientes fenofases: reposo invernal, brotación, plena floración, cuajado, endurecimiento de carozo y envero corresponden, en dicha escala, al estadio 00 del desarrollo de las yemas vegetativas, 31 del desarrollo del brote, 65 y 69 de la floración, 75 del desarrollo

del fruto y 81 de la maduración del fruto, respectivamente. La fecha de cosecha se realizó según la programación comercial del huerto.

### **Seguimiento de ciclo vegetativo**

Se marcó un olivo, denominado olivo principal, que se encontraba en condiciones de baja carga frutal y se realizó un seguimiento quincenal de crecimiento de raíces por el método de interceptación de raíces (Van Noordwijk et al., 2000). A su vez, se le midió el crecimiento de brotes y la producción frutal (kg y N° de frutos a cosecha) en ambas temporadas.

### **Seguimiento del ciclo reproductivo**

En plena floración (BBCH 65, PF) en noviembre de 2011, se seleccionaron seis olivos que se encontraban en condiciones similares al olivo previamente señalado, en cuanto a intensidad de floración y área de sección transversal de tronco (ASTT). En ambas temporadas se les evaluó: porcentaje de flores perfectas y estaminíferas, porcentaje de cuaje, crecimiento de los frutos, fecha de endurecimiento de carozo (BBCH 75, EC), índice de coloración de Ferreira (1979, citado por Beltrán et al., 2008), concentración de aceite a cosecha, producción frutal y concentración de clorofila en hojas.

Adicionalmente, en la fenofase de cuaje (BBCH 69, FC), se marcaron dos olivos que evidenciaban, visualmente, una mayor carga frutal respecto a los seis olivos previamente señalados, los cuales se incluyeron en las mediciones posteriores.

### **Aplicación de ácido naftalén acético (NAA)**

Debido a la fuerte alternancia productiva presente en el huerto, se realizó un raleo de frutos con el objetivo de obtener un nivel de carga frutal intermedia. Para llevar a cabo lo anterior, en la temporada 2012-2013, correspondiente a la de alta carga frutal, se aplicó NAA, 25 días después de plena floración (DDPF), en la tarde del 15 de diciembre de 2012, cuando estaba terminando la caída natural de frutos, los cuales presentaban 0,4 a 0,6 cm de diámetro ecuatorial. Se aplicó NAA a 150 y 300 mg·L<sup>-1</sup>, utilizando el producto comercial NAA-800® (BASF Chile S.A.; 20,2% (p/v) de ácido 1-naftalenacético), con un volumen de mojamiento de 4 L por árbol; el adyuvante Break® (BASF Chile S.A.) fue agregado a 58 mL·hL<sup>-1</sup>, y las aplicaciones fueron realizadas con un pulverizador de espalda con motor, de 12 L de capacidad (Modelo 444, Solo Chile Ltda.). Cada tratamiento se asperjó a 3 árboles distintos, con similar carga frutal (alta fructificación). En ellos se realizaron las mismas mediciones que a los olivos señalados anteriormente.

## Evaluaciones

### Datos agroclimáticos

Se llevó el registro horario de la temperatura (°C), humedad ambiental (%HR) y precipitaciones a través de una estación meteorológica existente en el predio.

El cálculo de los días-grado acumulados se consideró como T° umbral 10°C y se utilizó la siguiente fórmula para estimarlos (González, 1995):

$$DG = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} + T_{8:00} + T_{20:00} - T^{\circ} \text{ umbral}}{4}$$

Donde:

DG: días-grado

T máx: Temperatura máxima

T min: Temperatura mínima

T 8:00: Temperatura a las 8:00 AM.

T 20:00: Temperatura a las 8:00 PM.

T umbral: Temperatura umbral (10°C)

### Crecimiento vegetativo

**Crecimiento de raíces (olivo principal).** El crecimiento radical se evaluó utilizando una cámara de observación de raíces (“rizotrón”), la cual estaba ubicada en el suelo, y construida en base a madera en enero de 2011; sus medidas eran de 84 cm de ancho, 84 de largo y 104 cm de profundidad. Poseía un vidrio en el costado próximo a la planta, de 72 cm de ancho, 100 cm de largo y 8 mm de espesor. El vidrio estaba cubierto con un plástico negro, cubriendo permanentemente el vidrio mientras no se realizaban las mediciones; además contaba con una puerta de madera desplegable por la cual se accedía a la cámara y que también servía de techo.

Se evaluó el crecimiento de raíces, cada 15 días; éste fue medido mediante el método del conteo de las interceptaciones de raíces nuevas (Van Noordwijk et al., 2000). Se utilizó un lápiz de distinto color para marcar las interceptaciones, cada vez que se realizaba un nuevo conteo. También, se hizo un seguimiento del crecimiento de las raíces en profundidad, utilizando el cuadriculado del vidrio, determinando sectores de mayor o menor crecimiento radicular.

**Crecimiento de brotes (olivo principal).** Durante el reposo invernal (BBCH 00, RE), se marcaron con una cinta 10 brotes homogéneos, con un ángulo de inserción de los brotes con respecto al eje Y (eje vertical) entre 150° y 170°, provenientes de madera de un año y se les midió el crecimiento. Los brotes estaban distribuidos alrededor de toda la copa, a una altura

de 1,5 metros, aproximadamente, y su distribución espacial seguía la siguiente configuración; tres a cada costado, tanto oriente como poniente (entre las hileras), y dos para cada costado sobre la hilera.

### **Producción y sus componentes**

**Flores perfectas y estaminíferas.** Se determinó la proporción de flores perfectas y estaminíferas cuando los olivos se encontraban en plena floración (BBCH 65, PF). Para ello, se extrajo una muestra de 600 a 1000 flores por árbol, a las cuales se les determinó, individualmente, si correspondía a una flor perfecta (presencia de pistilo) o estaminífera (ausencia de pistilo). Estas flores se extrajeron tanto del sector oriente como poniente del árbol.

**Porcentaje de cuaje.** Se contó el número de frutos que permanecieron en el árbol desde floración (BBCH 65, PF) hasta cosecha (BBCH 89, CO). Para esto, se seleccionaron 100 inflorescencias de un total de 10 ramas, y se revisaron cada 15 días, contando las flores y luego los frutos en estas ramillas. Además, se determinó el periodo en que se produjo la caída de frutos.

**Producción de fruta.** Se determinó la producción individual de todos los olivos del estudio. El total de la fruta fue pesada mediante una balanza digital (kg), registrando los kilogramos obtenidos por cada árbol. Para el peso promedio de frutos, se utilizó una balanza analítica de 0,1 g de sensibilidad. Para la variable peso de fruto se utilizó una muestra de 100 frutos pesados en conjunto, expresándose como peso promedio por fruto. Luego, de acuerdo a los kilogramos totales cosechados por árbol, se estimó el número aproximado de frutos por árbol. La cosecha 2012 se realizó según la cosecha comercial del huerto; la de 2013 se realizó en base a los mismos días-grado acumulados desde la floración a cosecha en la temporada anterior, 2011-2012.

### **Crecimiento y maduración de frutos**

**Crecimiento de frutos y fecha del endurecimiento de carozo.** Se seleccionaron tres ramillas por árbol en la fase de cuaje (BBCH 69, FC). Cada ramilla poseía entre 5-8 frutos, aproximadamente. Se midió cada 15 días el diámetro transversal y longitudinal de los frutos, utilizando un pie de metro. Luego, se estimó el volumen del fruto usando la fórmula para un esferoide prolato ( $V = (\pi/6) a^2 \cdot b$ , donde a y b eran el diámetro ecuatorial y polar, respectivamente). Además, se realizó un seguimiento para determinar la fecha del endurecimiento de carozo (BBCH 75, EC), cortando, de manera transversal, 100 frutos por árbol, distintos a los anteriormente señalados, cada 7 días, a partir del 15 de enero.

**Índice de coloración de Ferreira.** Para medir el índice de maduración del fruto a lo largo de la temporada, se utilizó el índice de coloración de Ferreira (1979), citado por Beltrán et al. (2008). Este índice de madurez permite la clasificación según la variación de color en los frutos. Cada color presenta un determinado valor; el número de frutos se multiplica por el valor correspondiente, luego se suman los valores obtenidos por cada color y se divide por cien, obteniéndose así el Índice de Ferreira, el cual refleja el grado de madurez con el cual se llega a cosecha. En la temporada 2011-2012, debido a la baja carga frutal, no se pudo realizar un seguimiento semanal, ya que para medir el índice de Ferreira se requería extraer 100 frutos por árbol, por lo que esta medición se realizó al momento de cosechar los frutos. En el caso de la temporada 2012-2013, año de alta carga frutal, se realizó un seguimiento semanal a partir de finales de abril hasta cosecha.

### **Acumulación y rendimiento de aceite**

**Evolución de la concentración de aceite.** La concentración de aceite en la pulpa se determinó mediante el método de Soxhlet (A.O.A.C., 1984). Esto se realizó muestreando 20 frutos por árbol, cada 7 días. En la temporada 2012-2013, se midió desde finales de abril hasta cosecha, mientras que, en la temporada anterior, sólo fue posible medir en cosecha, debido a la baja carga frutal de los árboles. Se obtuvo el peso fresco de la pulpa de estas muestras mediante una balanza digital. Luego, éstas se llevaron a un horno de secado a una temperatura entre 48-52 °C, por el tiempo necesario hasta obtener un peso seco constante; posteriormente, fueron molidas manualmente para formar una muestra homogénea. Se determinó el porcentaje de aceite, en base materia seca y fresca, porcentaje de humedad y materia seca en cada muestreo.

**Rendimiento de aceite.** El rendimiento de aceite a cosecha se calculó por árbol, según la siguiente ecuación:  $(\% \text{ CAM}) \times (\text{PS/PF}) \times (\text{M/F}) \times (\text{P})$ , donde CAM es la concentración de aceite del mesocarpo en base a materia fresca, PS/PF es la relación entre el peso seco y fresco de la pulpa, M/F es la relación mesocarpo/fruta y P es la producción en kg.

### **Concentración de clorofila en hoja**

Se determinó la concentración de clorofila en las hojas de la parte media de la ramilla de la temporada, en 3 épocas distintas; plena floración (BBCH 65, PF), endurecimiento de carozo (BBCH 75, EC) y cosecha (BBCH 89, CO), según el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Se recolectaron 4 hojas por árbol, 2 para el costado oriente y 2 para el costado poniente. Éstas se extrajeron a una altura de 1,5 metros, aproximadamente.

### **Análisis estadístico**

La caracterización de la dinámica de crecimiento de brotes, raíces y frutos, durante las dos temporadas de estudio, se presentaron en forma descriptiva, mediante figuras.

Se ajustaron modelos de regresiones simples, lineales y lineales segmentadas, para describir la variabilidad de cada variable estudiada en función de la carga frutal. Para la determinación de la bondad de ajuste de los modelos seleccionados se valoraron los criterios de selección “Akaike Information Criterion” (AIC) (Akaike, 1974) y “Bayesian Information Criterion” (BIC) (Schwarz, 1978); (Yang, 2005).

Con el fin de caracterizar la influencia de la carga frutal en la evolución de la concentración de aceite, tanto en base materia fresca como seca, para la temporada 2012-2013, se clasificaron los 14 árboles en tres rangos de carga frutal. Para ello, se utilizó un análisis de conglomerados jerárquico, utilizando el método del Promedio (“Average Linkage”) con el cálculo de las distancias Euclideas, considerando las variables: carga frutal, producción, peso seco de fruto, relación pulpa/carozo, contenido de aceite en el fruto y rendimiento de aceite por árbol. Se evaluó mediante ANOVA la diferencia de los grupos conformados respecto a la carga. Para la determinación del algoritmo de conglomerado usado se calculó la Correlación Cofenética (Balzarini et al., 2008).

El programa estadístico utilizado fue InfoStat versión 2013 (Di Rienzo et al., 2013).

## RESULTADOS

### Análisis climático

La temperatura media, durante el período de brotación y endurecimiento de carozo, fue similar en ambas temporadas (Figura 1). Sin embargo, la etapa de biosíntesis de aceite, que va desde endurecimiento de carozo hasta cosecha, durante la temporada de alta carga frutal, (2012-2013) fue más fría que la anterior, viéndose retrasada la fecha de cosecha en esta temporada (Cuadro 1 y Apéndice, Figura 1). A su vez, el período de otoño e invierno del año 2013 también fue más frío, debido a que la temperatura media para estos meses se mantuvo cercana a los 10°C, mientras que, en el año 2012, sólo el mes de julio presentó una temperatura promedio aproximada de 10° C. El otoño-invierno 2013 no sólo fue más frío, sino también más seco (Figura 1), presentando, entre mayo y agosto, una precipitación acumulada de 160 mm, en comparación con 283 milímetros en el 2012.

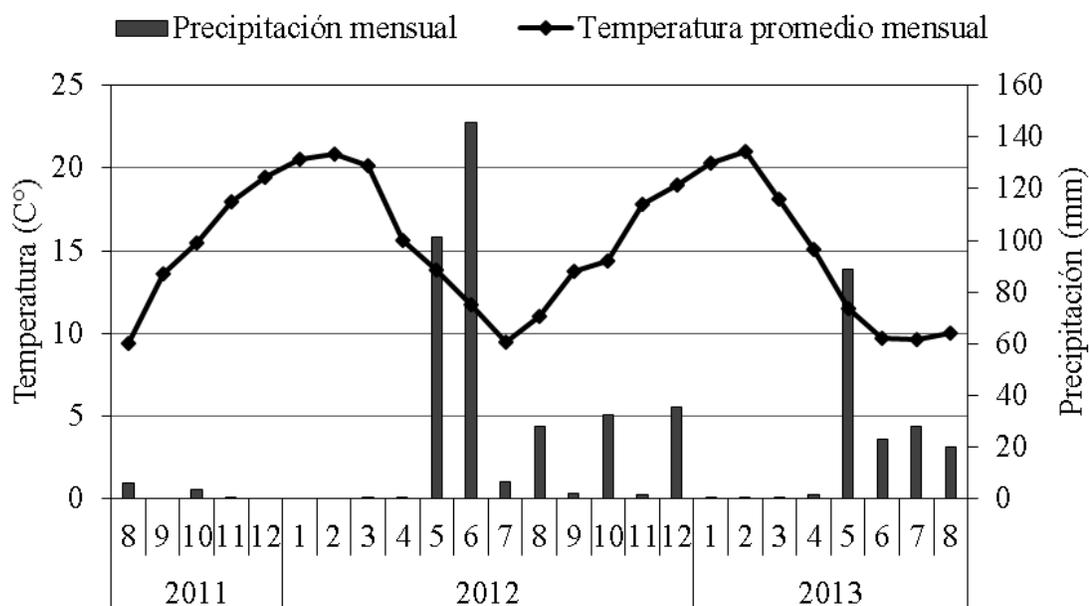


Figura 1. Temperatura promedio y precipitación mensual durante las temporadas 2011-2012 y 2012-2013.

### Estados fenológicos del olivo asociados a acumulación térmica (días-grado)

En el Cuadro 1, se presenta la evolución fenológica de los olivos asociada a la acumulación de días-grado, desde brotación hasta cosecha, para las dos temporadas estudiadas. Se consideró como fecha de inicio (0 días-grado) el momento en que se observó el comienzo del crecimiento vegetativo de la temporada (brotación). La duración de las fenofases, hasta endurecimiento de carozo (EC), no presentó diferencias respecto a la acumulación de días-

grado. En este punto, cabe destacar que, en ambas temporadas, tampoco se observó variación en la fecha de endurecimiento de carozo entre árboles con distinta carga frutal. Sin embargo, la duración de la etapa fenológica entre endurecimiento de carozo a inicio de envero, sí se vio afectada por la carga frutal entre temporadas (Cuadro 1), viéndose retrasado el inicio del envero cuando los árboles presentaron una alta carga frutal (> 20 kg) en la temporada 2012-2013 (Apéndice, Cuadro 2).

Cuadro 1. Requerimiento de calor acumulado, en días-grado (DG°) con base 10°C, desde brotación, para cumplir cada uno de los estados fenológicos, y su fecha cronológica asociada, en olivos 'Frantoio', durante las temporadas 2011-2012 y 2012-2013.

Estados Fenológicos	Requerimiento de calor/Fecha			
	2011-2012		2012-2013	
	DG° acumulado	Fecha	DG° acumulado	Fecha
Inicio brotación	0	31-08-2011	0	12-09-2012
Floración	279,6	17-11-2011	283,2	19-11-2012
Cuaje	414,4	02-12-2011	402,1	03-12-2012
Endurecimiento de carozo	966,1	27-01-2012	967,2	31-01-2013
Inicio envero	1647,2	09-04-2012	1707,9	08-05-2013
Cosecha	1730,4	30-04-2012	1722,3	22-05-2013

### Ciclo vegetativo

Bajo las condiciones climáticas de este estudio, el crecimiento de raíces ocurrió, prácticamente, durante todo el año (Figura 2). A inicios de ambas temporadas (agosto-octubre), se observó un activo crecimiento radical, el que se mantuvo constante hasta la floración. Durante el período de la floración y posterior crecimiento de los frutos, el número de interceptaciones de raíces disminuyó considerablemente, siendo esta disminución más fuerte en la temporada de alta carga frutal. El crecimiento, aunque de menor intensidad, se mantuvo durante el verano; posteriormente se observó, en ambas temporadas, una fuerte reducción en el número de interceptaciones de raíces previo a la cosecha (marzo-mayo), siendo esta disminución aún más drástica el año de alta carga. El crecimiento de raíces se reactivó durante los meses de invierno, siendo éste de mayor intensidad en el periodo invernal de 2012.

La cantidad de raíces producidas varió considerablemente entre temporadas, siendo el año de alta carga 33,3% menor (Apéndice, Cuadro 1). A su vez, la distribución del período de crecimiento también varió entre temporadas, produciéndose el 37 y 69% del crecimiento total de la temporada entre brotación y floración, en el año de baja y alta fructificación, respectivamente (Figura 3 y Apéndice, Cuadro 1). En relación a la distribución de las raíces en profundidad, la mayor parte de las raíces creció en los primeros 45 cm de profundidad, representando el 75 y 81% del crecimiento total de la temporada 2011-2012 y 2012-2013, respectivamente (Figura 4).

Respecto al crecimiento de los brotes, éste comenzó, en ambas temporadas, a principio de septiembre y se extendió hasta final de enero. Sin embargo, este crecimiento se vio afectado por la carga frutal, no sólo en su largo final sino también en su posibilidad de desarrollo en la temporada, es decir, la duración del período durante el cual puede desarrollarse, produciéndose, aproximadamente, el 80% del crecimiento total de la temporada de alta carga entre brotación y floración (Figura 3 y Apéndice, Cuadro 1).

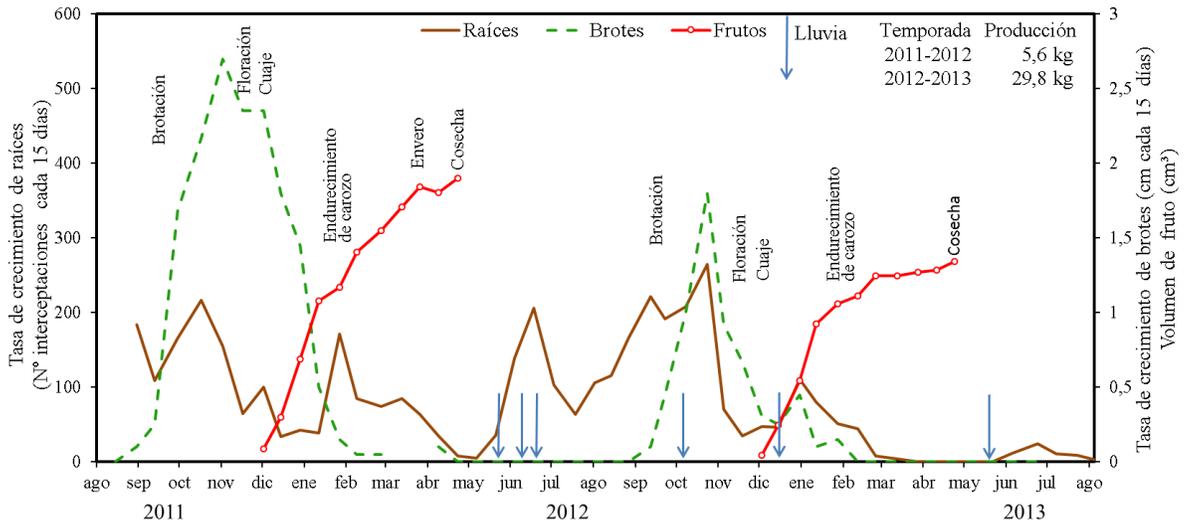


Figura 2. Crecimiento de brotes, raíces y frutos del olivo principal, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

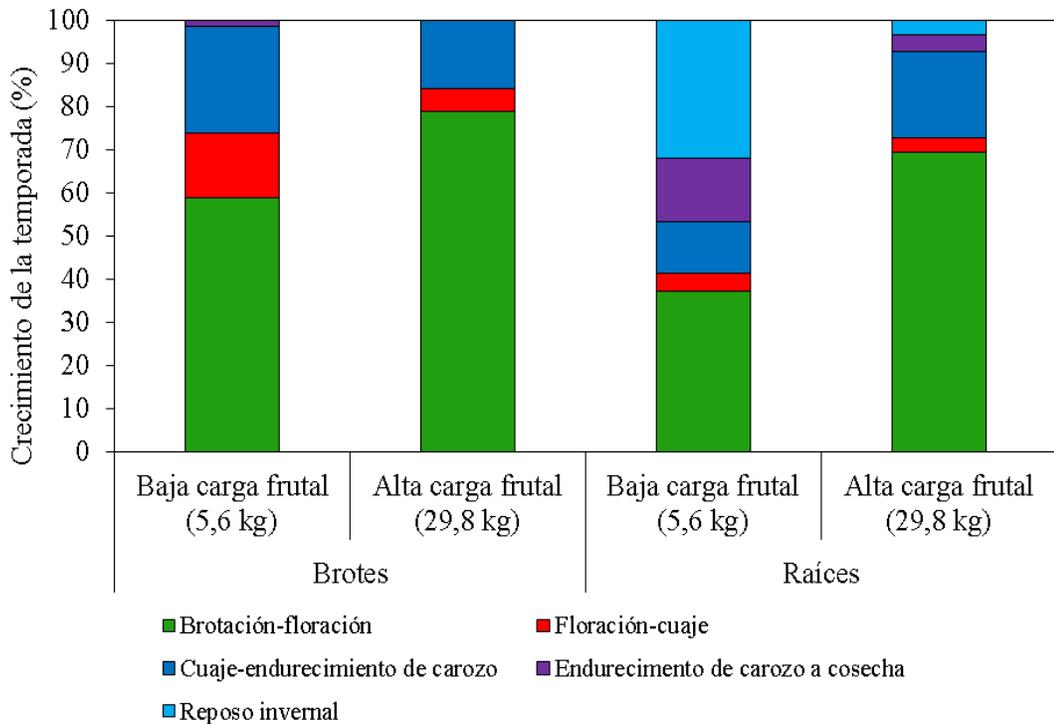


Figura 3. Distribución del crecimiento de brotes y raíces, expresado en porcentaje del crecimiento entre los diferentes estados fenológicos sobre el total de la temporada, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

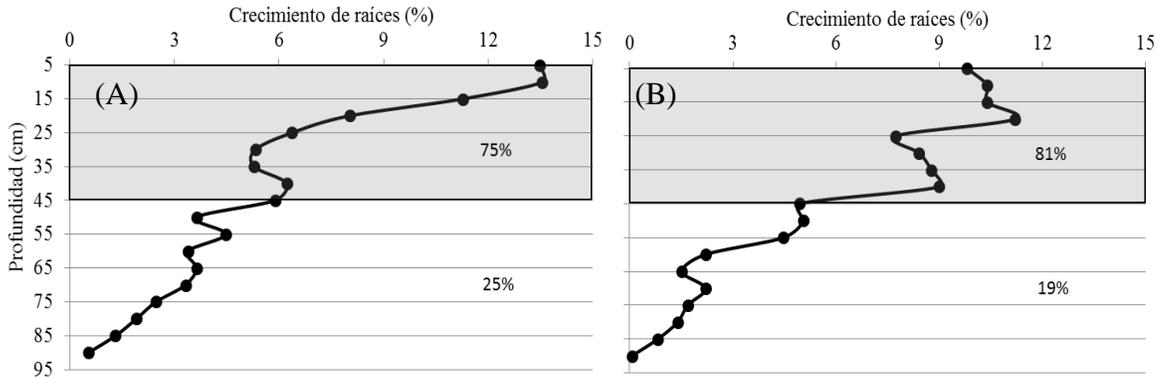


Figura 4. Distribución del crecimiento de raíces, expresado en porcentaje del crecimiento producido a diferentes profundidades del suelo sobre el total de una temporada. A: temporada 2011-2012; B: temporada 2012-2013.

### Ciclo reproductivo

Al combinar los datos de ambas temporadas, la carga floral o frutal, expresada en flores o frutos por árbol, explicó ampliamente las diferencias en las distintas variables. Es por esto que las relaciones entre las distintas variables y la carga frutal se ajustaron mediante modelos únicos, agrupando los datos de ambas temporadas.

En la temporada de baja fructificación, los árboles presentaron un mayor porcentaje de flores perfectas y posterior cuaje (Cuadro 2) respecto a la temporada siguiente. Al analizar las dos temporadas en conjunto (Figura 5), se aprecia que el cuaje aumenta con una menor carga floral ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, si se considera que el árbol con mayor cantidad de flores (temporada de alta carga) es aquel que tiene el mayor potencial de fructificación, se observa que este aumento de cuaje no compensa la producción de la temporada ( $P < 0,0001$ ).

En relación a la retención de frutos, en ambas temporadas se observó una fuerte caída de flores y frutos durante el primer mes después de floración. Posteriormente, la caída disminuyó, quedando definido el número final de frutos 50 días después de plena floración (DDPF) (Figura 6), observándose, en la temporada de alta fructificación, un porcentaje de frutos remanentes por ramilla menor.

Cuadro 2. Proporción de flores perfectas y estaminíferas, y cuaje, expresado en porcentaje, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

Temporada	Tipo de flor		Cuaje
	Perfecta (♀)	Estaminífera (♂)	
	-----%-----		
2011-2012	96,45	3,55	7,65
2012-2013	69,20	30,80	3,47

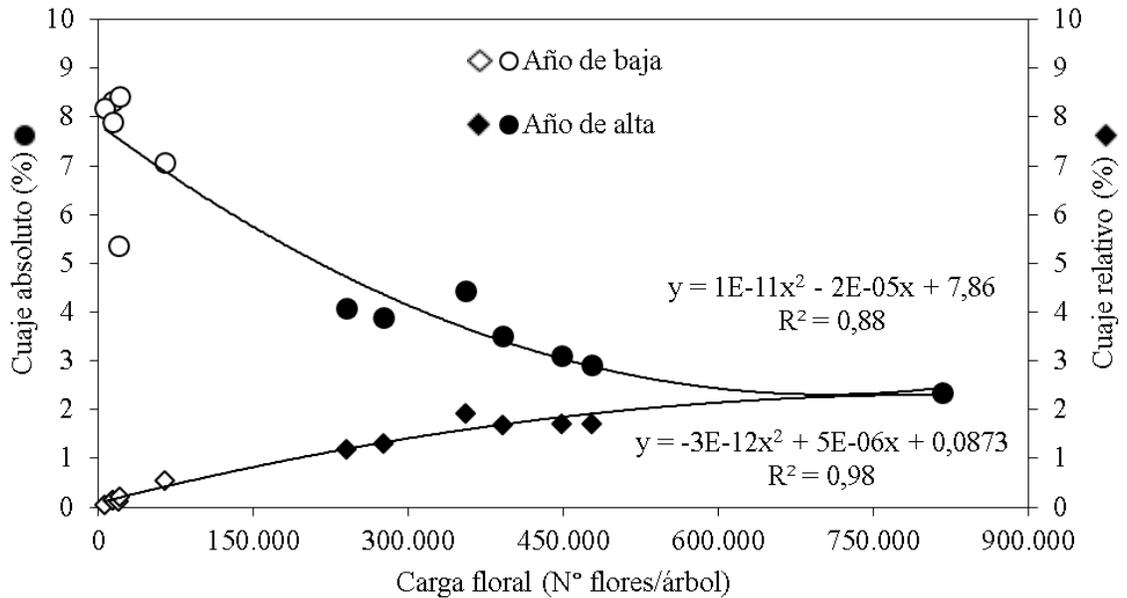


Figura 5. Porcentaje de cuaje absoluto y cuaje relativo, de olivos, como función de su carga floral, expresada en número de flores/árbol, en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

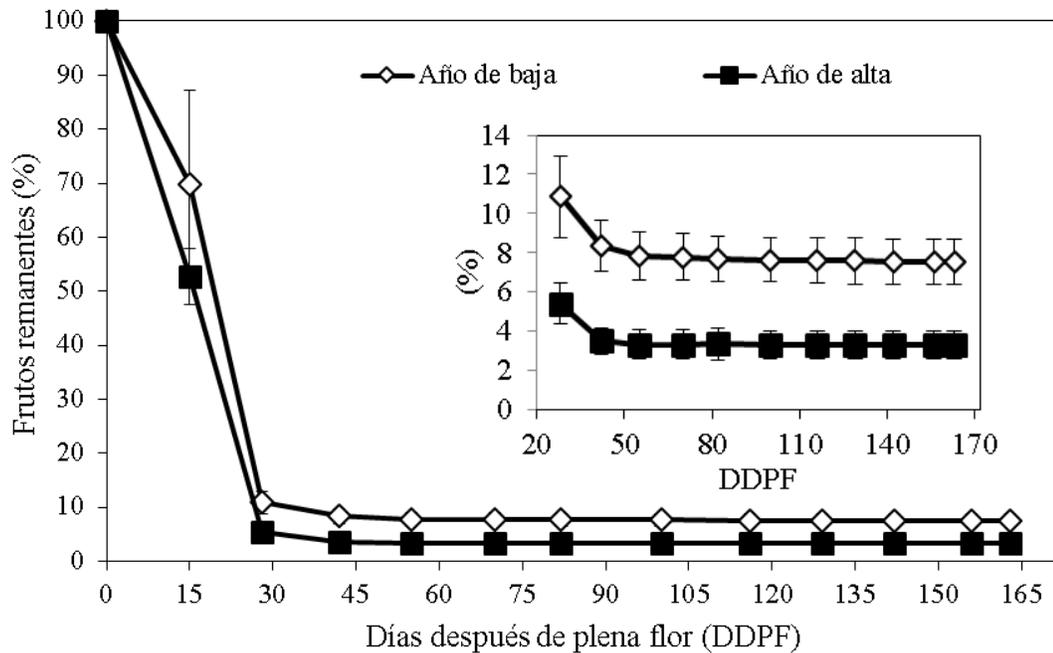


Figura 6. Porcentaje de frutos remanentes en función de los días después de plena flor, en olivos durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). Barras verticales indican el error estándar.

Por otro lado, la tasa de crecimiento y el volumen de los frutos, hasta endurecimiento de carozo, fue ligeramente mayor en la temporada de baja respecto a la de alta fructificación (Figura 7). Posterior al endurecimiento de carozo se observó, en ambas temporadas, que la tasa de crecimiento disminuyó. Sin embargo, el incremento del volumen de los frutos fue notoriamente mayor en el año en que los árboles presentaban baja carga frutal.

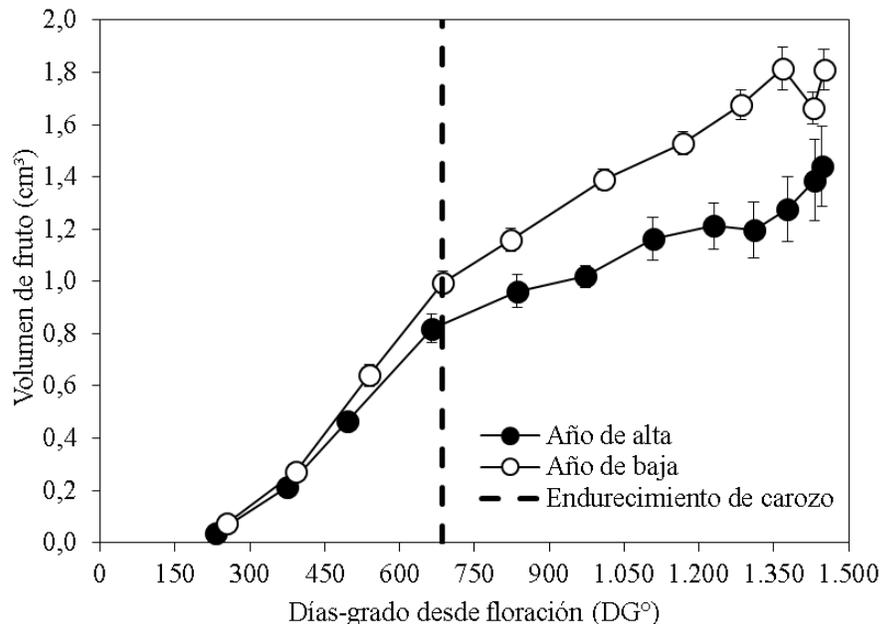


Figura 7. Volumen de frutos, en cm<sup>3</sup>, en función de los días-grado acumulados desde floración, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). Barras verticales indican el error estándar.

En el dendograma resultante del análisis de conglomerados (Apéndice, Figura 2), se observan dos grandes grupos de árboles. El grupo más grande se diferencia del otro porque todos sus árboles tienen menos de 11.000 frutos ó 25 kg. Este grupo, a su vez, se divide en dos subgrupos, de los cuales el más pequeño se caracteriza por tener los árboles con menor carga frutal (4.900 y 5.800 frutos ó 13 y 14,5 kg). En el segundo grupo, los árboles presentan una alta carga frutal, (>13.500 frutos y >27 kg). En base a lo anterior, se decidió separar en 3 grupos según carga frutal: alta, media y baja.

Así, en la temporada 2012-2013, se observó que en los árboles que presentaban una alta carga frutal la evolución de la concentración de aceite, base a materia seca (b.m.s.) y fresca (b.m.f.), en función de los días-grado acumulados desde floración, fue más lenta que en los de media y baja, siendo más evidente en la expresión en b.m.s. (Figura 8A.). No obstante, durante el tiempo que fueron evaluados estos parámetros, se observó que el aumento en la acumulación de aceite, en b.m.s., fue leve en los árboles con baja carga frutal, 5,8 %, mientras que en los de media y alta, el incremento fue mayor, 7,8 y 9,5%, respectivamente, tendiendo a equipararse los valores entre los tres niveles de carga (Figura 8A.). Por otro lado, al expresar la acumulación de aceite en términos de contenido (Figura 8B), gramos por fruto, se aprecia una mayor diferencia entre los árboles con baja y alta carga frutal, alcanzando a cosecha 0,27 y 0,17 g/fruto, respectivamente.

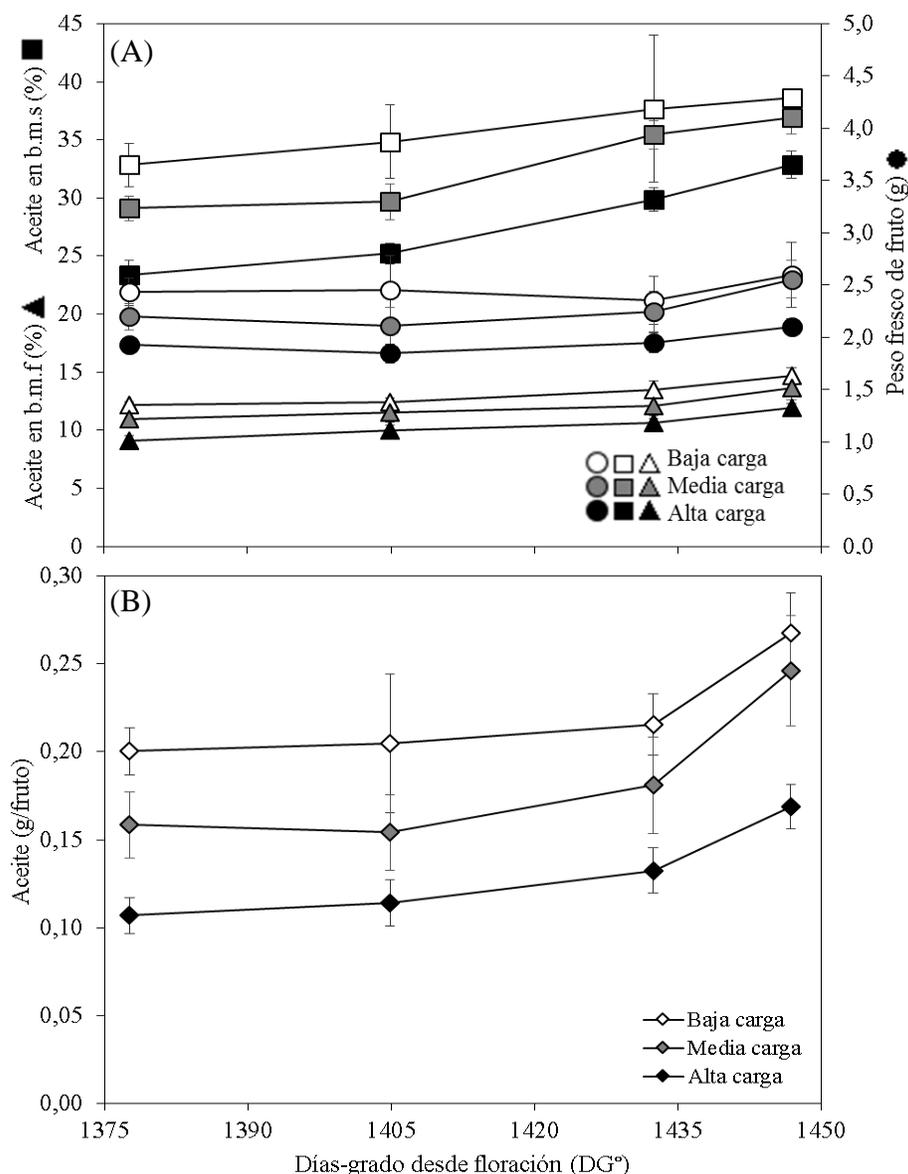


Figura 8. Acumulación de aceite y crecimiento de fruto en función de los días-grado acumulados desde floración, durante la temporada 2012-2013, en olivos con distintas carga frutal: baja, media y alta. A: peso fresco de fruto (g), concentración de aceite en base a materia seca (b.m.s) y fresca (b.m.f); B: contenido de aceite, en gramos/fruto. Barras verticales indican el error estándar.

### Producción de fruta y sus componentes

La producción de fruta y sus componentes, tales como, relación pulpa/carozo, tamaño y peso de fruto, variaron entre temporadas, siendo fuertemente afectados por la carga frutal. De esta manera, el peso fresco, el tamaño, expresado en volumen (Figura 9A), y la relación pulpa/carozo (Figura 9B) están inversamente relacionados con la carga frutal ( $P < 0,0001$

para las dos últimas variables). Entre temporadas, el peso fresco promedio de fruto fue levemente compensado por la carga frutal, es decir, disminuyó de 2,24 g/fruto en la temporada de baja carga a 2,06 g/fruto en el año de alta carga (Cuadro 3 y Figura 9C), con un bajo coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,27$ ;  $P < 0,0126$ ). Sin embargo, al expresar el peso de fruto en peso seco (Figura 9C), se observó una mejor y mayor relación con la carga frutal ( $R^2 = 0,67$ ;  $P < 0,0001$ ). Cabe destacar que, al relacionar la humedad del fruto con la carga frutal (Figura 9D), ésta aumentó linealmente ( $P < 0,0001$ ). Por su parte, considerando ambas temporadas, la producción (kg/árbol) aumentó linealmente con la carga frutal ( $P < 0,0001$ ), a una tasa de ~2,25 kg por cada mil frutos, alcanzando su punto máximo, con ~30 kg/árbol (o 12.480 kg ha<sup>-1</sup>), cuando la carga frutal alcanzó los ~13.100 frutos/árbol (Figura 10).

### Rendimiento de aceite y sus componentes

La concentración de aceite, en base materia seca, fue semejante entre temporadas, al realizar la cosecha con similar acumulación de días-grado. Así, la concentración no se vio afectada por la producción, exceptuando aquellos árboles con muy baja fructificación, en los cuales la concentración fue mayor (Figura 11). Por otro lado, el contenido de aceite, gramos de aceite por fruto, y la materia seca del mesocarpo están inversamente relacionados con la carga frutal ( $P < 0,0001$  para ambas variables; Figura 9E). Asimismo, el contenido de aceite se relaciona fuertemente con la materia seca de la pulpa ( $R^2 = 0,82$ ;  $P < 0,0001$ ; Figura 9F). Por su parte, el rendimiento graso por árbol se relacionó positivamente con la producción a través de una función de regresión segmentada (Figura 12). Se observó que, por debajo del punto de inflexión, 18 kg/árbol aproximadamente, el rendimiento de aceite aumentó abruptamente a medida que incrementó la producción de fruta; una vez alcanzado el punto, la ganancia de aceite por kg de fruta producido disminuyó de 0,09 a 0,035 kg.

Cuadro 3. Parámetros de producción de fruta y de rendimiento de aceite y sus componentes en olivos en dos temporadas consecutivas: baja y alta carga frutal.

Temporada	Carga frutal	Producción	Peso fresco de fruto	Relación pulpa (PS)/carozo	Aceite en el fruto		Rendimiento de aceite	
					b.m.s	b.m.f		
	frutos/árbol	kg/árbol	g		g/fruto	-----%-----	kg/árbol	
2011-2012	2959	6,3	2,24	0,92	0,30	37,92	19,90	0,66
2012-2013	13870	28,2	2,06	0,71	0,16	32,04	11,65	2,15

PS = pulpa en peso seco

b.m.s = concentración de aceite en base materia seca

b.m.f = concentración de aceite en base materia fresca

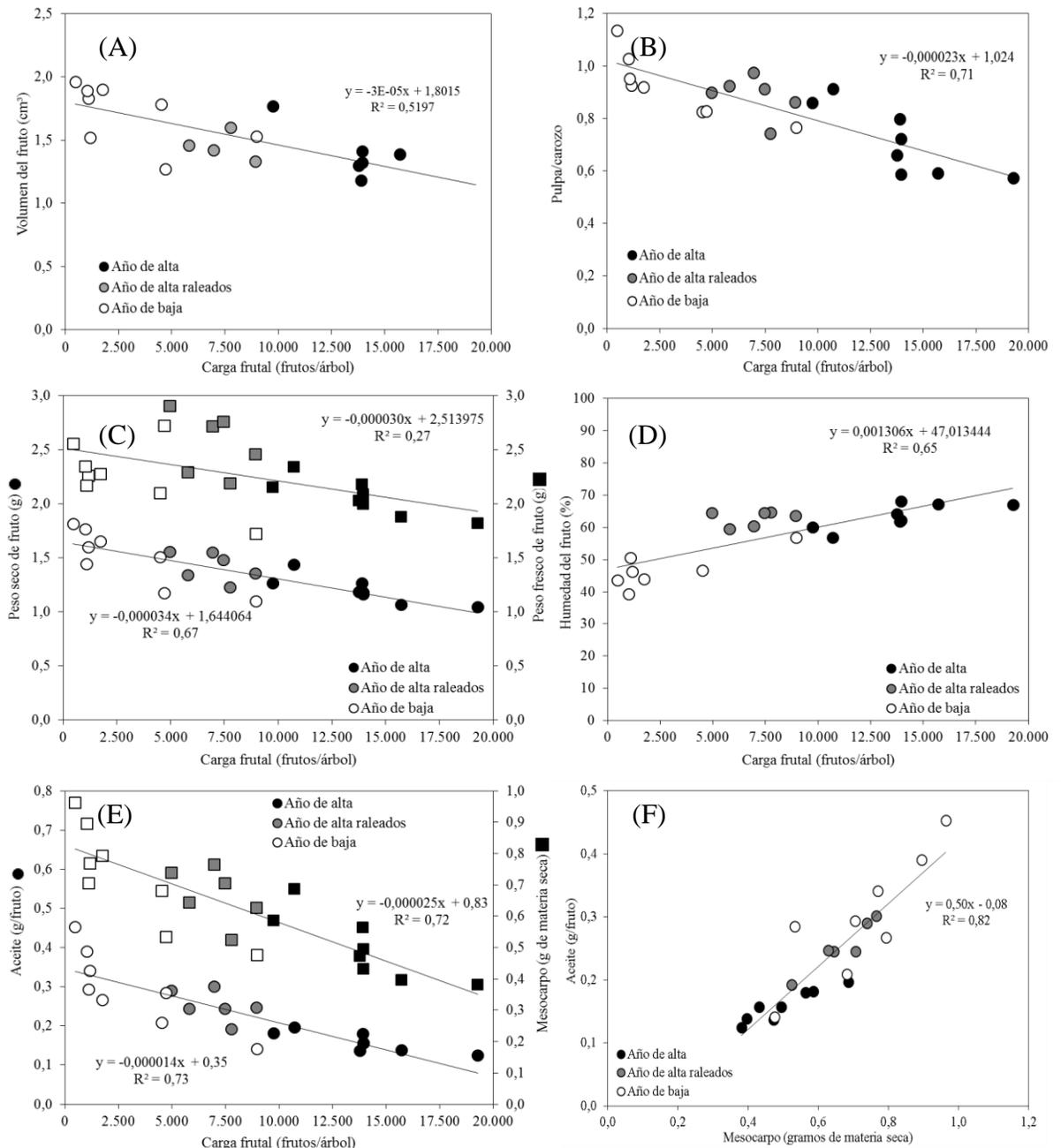


Figura 9. Relaciones entre variables productivas y características del fruto, considerando dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). A: volumen; B: pulpa (PS)/carozo; C: peso seco y fresco; D: humedad; E: aceite y mesocarpio; A, B, C, D, E en función de la carga frutal; F: contenido de aceite en función de los gramos de PS del mesocarpio. PS = peso seco.

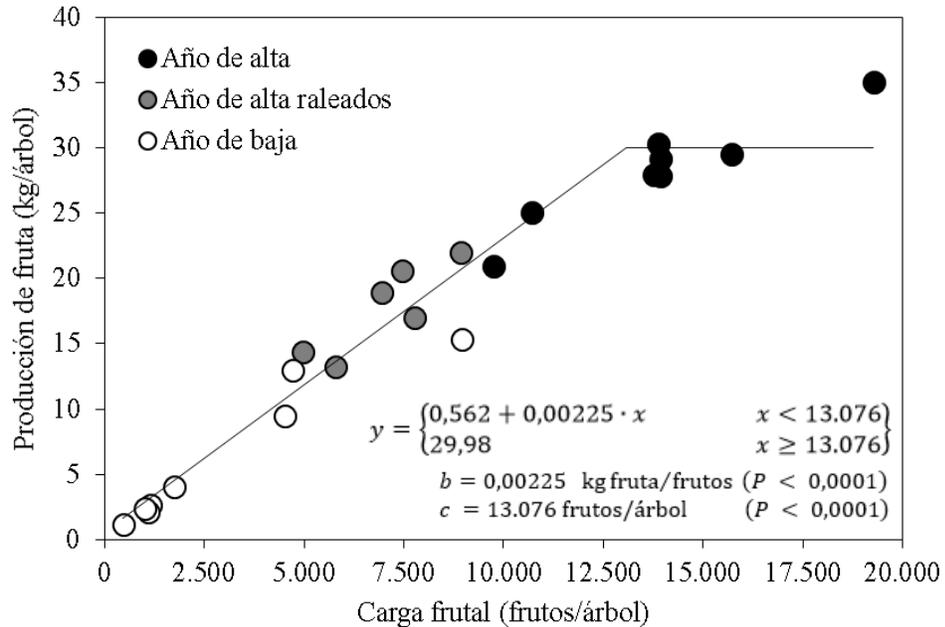


Figura 10. Producción total, en kg/árbol, en función de la carga frutal, en frutos/árbol, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). La línea continua es la ecuación con los parámetros ajustados de los datos de ambas temporadas en un modelo de regresión segmentada en dos tramos con “plateau”, donde  $y$  es la producción de fruta en kg/árbol,  $x$  es la carga frutal en frutos/árbol y 13.076 es el punto de saturación.

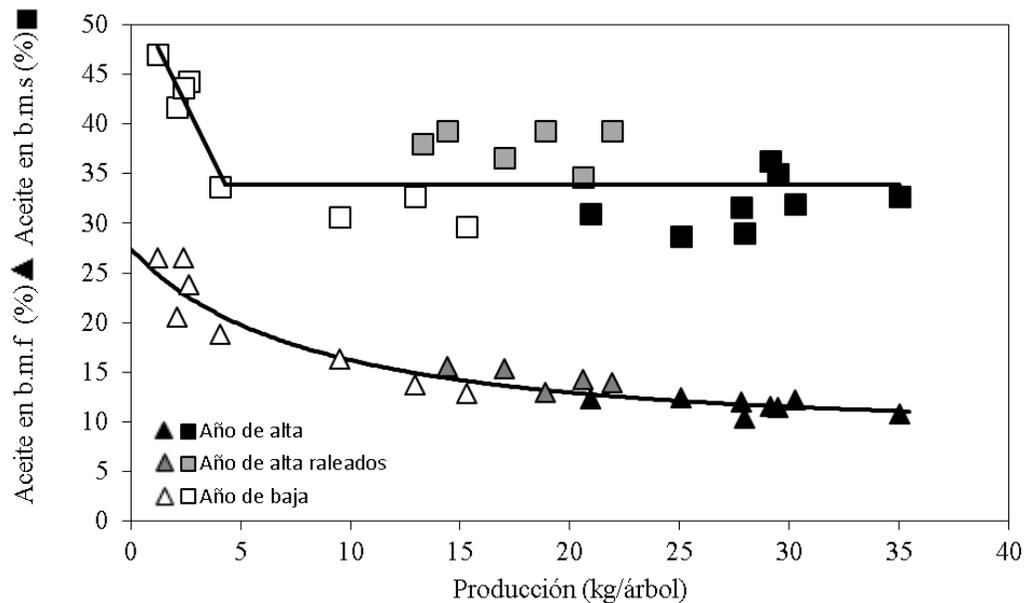


Figura 11. Concentración de aceite en base materia seca (b.m.s) y fresca (b.m.f) en función de la producción, en kg/árbol, para olivos durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). Las líneas continuas corresponden a las tendencias en la concentración de aceite en función de la producción.

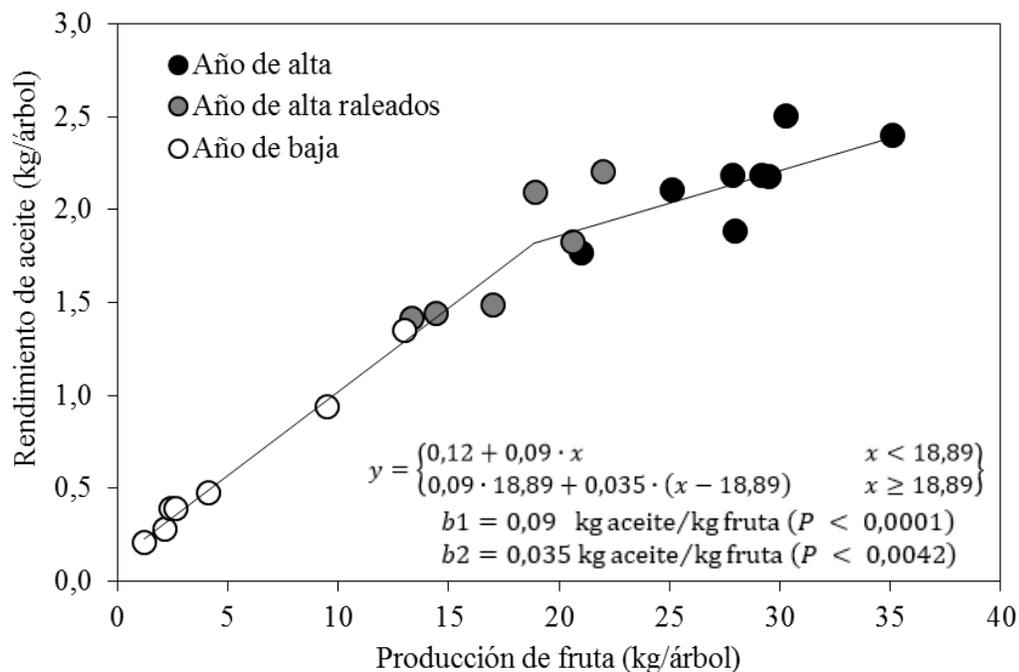


Figura 12. Rendimiento graso, en kg de aceite/árbol, en función de la producción, en kg de fruta/árbol, para olivos en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013). La línea continua es la ecuación con los parámetros ajustados de los datos de ambas temporadas en un modelo de regresión segmentada en dos tramos, donde  $y$  es el rendimiento de aceite en kg/árbol,  $x$  es la producción en kg/árbol y 18,89 es el punto de inflexión.

### Alternancia productiva

Los olivos con menor producción durante la temporada 2011-2012 presentaron una alta producción al año siguiente (Figura 13), mostrando una fuerte alternancia productiva. A medida que la producción de los árboles fue mayor el año de baja carga (2011-2012), la producción al año siguiente (2012-2013) fue disminuyendo (Figura 13). No obstante, el promedio de producción de ambas temporadas se mantuvo constante. Curiosamente, el promedio de producción de las dos temporadas, en todos los árboles, fue entre 15 y 19 kg/árbol, coincidiendo con el punto de inflexión de la función de regresión segmentada, el cual también ocurre entre estos valores.

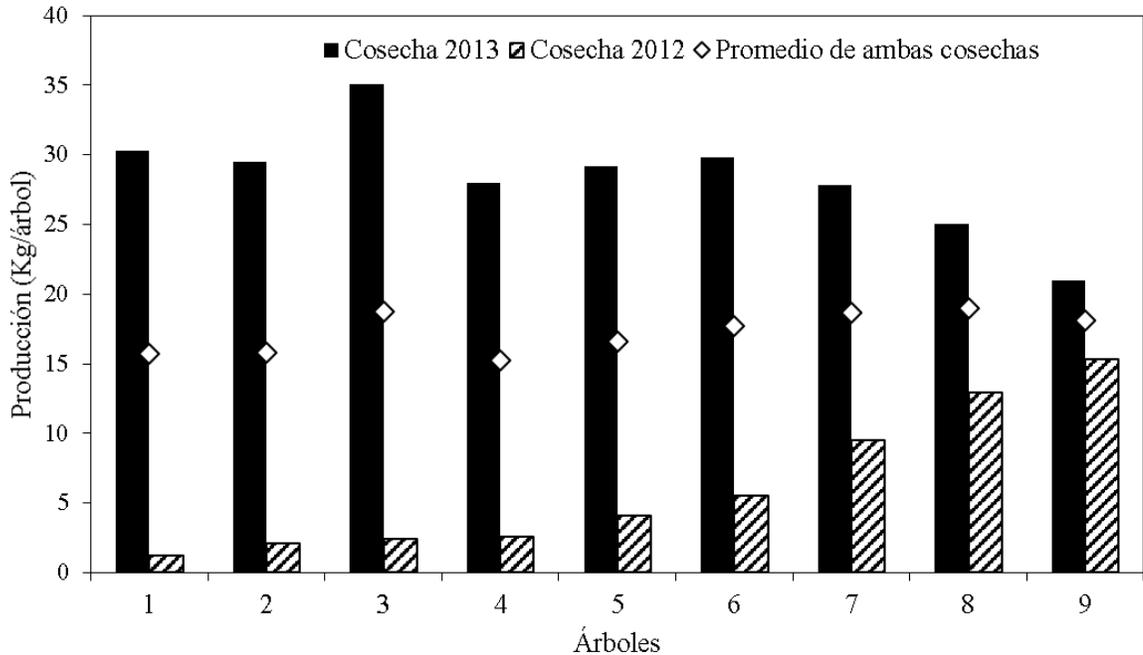


Figura 13. Producción individual de olivos, expresada en kg/árbol, en dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013), y promedio de producción de ambas temporadas.

### Clorofila

Respecto a la concentración de clorofila en hojas, se observó que el nivel de clorofila, en floración y endurecimiento de carozo, fue menor en el año de alta carga frutal respecto al de baja fructificación. Sin embargo, en el período de cosecha, el nivel de clorofila aumentó notoriamente en la temporada en que los árboles presentaban una alta carga frutal (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración de clorofila en hojas de olivo, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

Temporada	Producción kg/árbol	Concentración de clorofila total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		
		Floración	Endurecimiento de carozo	Cosecha
2011-2012	$4,97 \pm 4,47$	$8,64 \pm 1,12$	$11,00 \pm 0,70$	$6,39 \pm 1,04$
2012-2013	$29,26 \pm 3,05$	$2,80 \pm 0,79$	$2,79 \pm 0,75$	$19,44 \pm 6,74$

En cada columna se presenta el promedio  $\pm$  error estándar.

## DISCUSIÓN

La duración de las fenofases hasta endurecimiento de carozo (EC), en base a la acumulación de días-grado, no presentó diferencias entre temporadas. Hasta donde se tiene conocimiento, este es el primer estudio que informa que la alternancia productiva no afecta la duración de estas etapas fenológicas. Sin embargo, aún es necesario un mayor estudio al respecto. Según Corelli-Grappadelli y Lakso (2004), la aparición de la fenofase EC se debe principalmente a las condiciones ambientales, temperatura y precipitaciones, y a las características genéticas de la variedad. Por su parte, la duración de la etapa fenológica entre endurecimiento de carozo e inicio de envero sí se vio afectada por la carga frutal entre temporadas, retrasándose el inicio del envero en la temporada de alta fructificación (2012-2013); esto concuerda con los estudios de Barone et al. (1994), Tognetti et al. (2006), Trentacoste et al. (2010) y Dag et al. (2011). De esta manera, en la temporada 2012-2013, la fruta presentó un menor índice de coloración, a pesar de realizar la cosecha con similar acumulación de días-grado en ambas temporadas.

Cabe destacar que la coloración del fruto es el índice más utilizado para decidir el momento de cosecha en olivos en España y sirve como un marcador común del grado de maduración, expresado como índice de madurez (Ferreira 1979, citado por Beltrán et al., 2008). Sin embargo, tal como ha sido observado en otros estudios, la tasa de cambio del color depende de la carga frutal (Barone et al., 1994; Tognetti et al., 2006). En este sentido, es probable que el retraso del inicio del envero, que se relaciona con la máxima acumulación de ácidos grasos (Beltrán et al., 2008), se deba a la fuerte competencia por fotoasimilados que se produce en árboles con alta producción (Monselise y Goldschmidt, 1982) y, a su vez, al mayor costo metabólico por la biosíntesis de lípidos (Poorter y Villar, 1997), el que comienza a partir del endurecimiento de carozo (Lavee y Wonder, 2004).

Bajo las condiciones climáticas en las cuales fue llevado a cabo este estudio, el crecimiento de raíces ocurrió, prácticamente, durante todo el año; resultados similares han sido reportados por Palese et al. (2000) y Polverigiani et al. (2012). Sin embargo, este crecimiento está fuertemente determinado por el proceso reproductivo, debido a que, durante la floración y posterior crecimiento de los frutos, el número de interceptaciones de raíces disminuyó notoriamente, concordando con lo observado por Ibacache et al. (2001) y Fichet y González (2011). Estos últimos, al registrar el crecimiento radical en un árbol de la variedad Kalamata, observaron que éste fue mayor durante el año de baja carga, mientras que en la temporada siguiente, de alta carga, las raíces crecieron un 60 % menos. Esta disminución se debería a la mayor competencia por fotoasimilados entre los diferentes órganos de la planta, sobre todo en el proceso de crecimiento de frutos y acumulación de aceite, evidenciando la prioridad de éstos frente a los demás sumideros (Wright, 1989; Palese et al., 2000), determinando, así, un menor crecimiento de brotes e interceptación de raíces.

En esta investigación se observó, además, una disminución en el número de interceptaciones de raíces previo a cosecha; ésto probablemente se debió a la menor disponibilidad de agua en el suelo como consecuencia del riego deficitario controlado realizado por la empresa, antes

de cosecha, para mejorar la extractabilidad del aceite en ambas temporadas. En este sentido, la disponibilidad de humedad es necesaria para una actividad radical óptima, debido a que las raíces no crecen a través del suelo seco y su exploración de los recursos disponibles es limitado en estas condiciones (Connell y Catlin, 2005). A su vez, el aumento de la resistencia del suelo, es decir, la resistencia mecánica a la penetración por una disminución del contenido de agua, inhibe notablemente el crecimiento radical y aumenta la mortalidad de las raíces finas (Fernández et al., 1992; Connell y Catlin, 2005). De hecho, en condiciones de baja humedad en el suelo, la efectividad de las raíces finas disminuye y la planta necesita producir raíces con una mayor superficie específica para mejorar la absorción de agua (Polverigiani et al., 2012).

En el olivo estudiado, se pudo observar que el crecimiento radical se activó nuevamente en el otoño-invierno de 2012. Debido a que la reactivación se produjo después de la cosecha del olivo y paralela a las primeras lluvias; esta actividad radical podría atribuirse a la ausencia de fruta en el árbol en ese momento, o a las lluvias otoñales e invernales de ese año, que aumentaron el contenido de agua en el suelo, o bien, a un efecto combinado.

En base a lo anterior, en la temporada siguiente (2012-2013), que correspondió a la de alta fructificación, este olivo fue cosechado un mes antes de que comenzaran las primeras lluvias de otoño, con el fin de observar si el crecimiento invernal del año anterior se había debido al efecto de la ausencia de fruta, luego de la cosecha, o al de las lluvias. Sin embargo, no se pudo dilucidar cuál de estos dos factores influyó en la activación del crecimiento radical en el período otoño-invierno de 2012, ya que en el 2013 no se observó esta reactivación después de cosecha y tampoco luego de las primeras lluvias. Esto probablemente se deba a 3 factores, los cuales pudieron haber actuado individualmente, o bien, en conjunto. El primero se basa en que, tal como se detalló anteriormente, el período invernal del 2013 fue más frío que el anterior, por lo que el metabolismo del olivo y, por lo tanto, la producción de fotoasimilados para el crecimiento de las raíces fue más baja; debido a que todas las funciones de las raíces, entre ellas el almacenamiento, dependen de la oferta de productos de la fotosíntesis, por lo que cualquier condición o práctica cultural que la afecte negativamente, es potencialmente perjudicial para el funcionamiento de la raíz (Connell y Catlin, 2005). El segundo factor radica en el hecho de que la alta carga frutal del 2013 pudo afectar el contenido de carbohidratos de reserva de la planta; si bien existe un estudio que indica lo contrario (Bustan et al., 2011), Cadenas (2013) observó una menor acumulación de almidón en las raíces de árboles con alta carga frutal, siendo, en promedio, un 33,85% menor que en árboles con baja producción. En relación a la dinámica de las reservas, estudios realizados en otras especies veceras, como pistacho (Rosecrance et al., 1998; Spann et al, 2008), y cítricos (Agustí, 2000; Li et al., 2003), se ha observado que luego de una temporada de alta carga frutal, el contenido de carbohidratos de reserva disminuye, viéndose las raíces de los cítricos altamente afectadas. En concordancia con lo anteriormente expuesto, en una reciente investigación llevada a cabo por Turktas et al. (2013), en olivo, se midió la expresión de los genes implicados en la biosíntesis de carbohidratos de reserva y su relación con la vecería, y se observó, en hojas provenientes de árboles con alta producción, una menor expresión tanto de los genes de biosíntesis como de los genes de transporte. Por ello, estos autores concluyeron que, tal como se ha visto en pistacho, el olivo también almacena más nutrientes en el año de baja producción. Por ende, la regulación de los nutrientes y reservas juega un

papel importante en la vecería de esta especie. En este punto, cabe destacar que el carbono, almacenado como almidón e hidratos de carbono solubles, es el que proporciona los sustratos respirables para la producción de energía y las unidades estructurales básicas para el crecimiento de las raíces (Connell y Catlin, 2005). Acorde a lo recién planteado, el contenido de reservas de las raíces, en el presente estudio, posiblemente se haya visto afectado por la mayor carga frutal en el 2013, influyendo, así, en que no hubiera una reactivación del crecimiento radical en el otoño-invierno de ese año. Finalmente, el tercer factor adjudica el mayor crecimiento radical, observado en el período invernal 2012, a la necesidad de la planta de adecuar el volumen del sistema radical al de la copa, la cual tuvo un desarrollo vigoroso durante esta temporada, que fue de baja carga frutal, mientras que en la temporada siguiente el crecimiento vegetativo fue reducido, por lo que el árbol probablemente no tuvo la necesidad de mantener la relación entre la parte aérea y la subterránea. Esto se sustenta en los modelos teleonómicos, los cuales hacen referencia a la existencia de un equilibrio de las funciones fisiológicas entre los brotes y las raíces (Grechi et al., 2007; Génard et al., 2008). Al respecto, Palese et al. (2000) observaron una mayor densidad de raíces finas y un mayor crecimiento aéreo en olivos expuestos a condiciones de riego que en aquellos bajo condiciones de secano, evidenciando, así, que esta mayor densidad de raíces sería el resultado de una adaptación de la planta a un crecimiento más vigoroso, y por ende, a un mayor desarrollo del área foliar de la copa durante la temporada, la que proporcionaría una mayor cantidad de reservas de hidratos de carbono para la actividad radical. Por lo tanto, la diferencia observada en este estudio respecto al crecimiento radical de otoño-invierno, entre ambas temporadas, probablemente haya sido influencia por estos 3 factores en conjunto. Sin embargo, sigue siendo necesario realizar más investigaciones dirigidas a estudiar el comportamiento radical del olivo, y su relación con el medio ambiente y la carga frutal.

En cuanto a la profundidad del sistema radical, en este estudio se observó que, al final de ambas temporadas, gran parte del crecimiento de las raíces se produjo en los primeros 45 cm de suelo, por lo que los riegos, en estas condiciones, no debieran ser muy profundos. En este sentido, el conocimiento del volumen de suelo explorado por las raíces es indispensable para realizar un correcto manejo del riego, en cuanto a volumen y frecuencia, así como de las prácticas de fertilización (Nuzzo et al., 2007), contribuyendo, de esta manera, a un mejor uso del agua por parte del olivicultor y permitiéndole, a su vez, disminuir los costos tanto de la electricidad como de fertilizantes.

Por su parte, el crecimiento vegetativo del año es fundamental para la floración y producción del año siguiente, y depende de la disponibilidad de agua en el suelo y el número de frutos en el árbol (Metheney et al, 1994; Rallo y Cuevas, 2008). Esto se debe a que la carga frutal es un fuerte sumidero de carbohidratos, recibiendo una mayor cantidad de recursos a expensas del crecimiento de los brotes (Dag et al, 2009; Lavee, 2007). En este sentido, es importante conocer la etapa en la cual comienza esta competencia, sobre todo en años de alta producción, con el objetivo de favorecer al máximo el crecimiento de brotes previo a este período, buscando atenuar, así, la probable baja producción de la temporada siguiente. En relación a esto, se encontró que, en el año de alta carga, aproximadamente el 80% del crecimiento total de la temporada se produjo entre brotación y floración. Al respecto, Wright (1989) encontró que, al inicio de la época de floración, se aprecia una competencia entre las flores y los ápices en crecimiento, presentando estos últimos una mayor fuerza sumidero,

debido a que los brotes están en una fase muy activa de desarrollo. Por lo tanto, es relevante promover el crecimiento de los brotes durante el año de alta carga frutal previo a la floración. A su vez, futuras investigaciones relacionadas con la búsqueda de la disminución de la alternancia productiva debiesen considerar la distribución del crecimiento vegetativo durante la temporada, con el objetivo de afinar los manejos propuestos, pues aún es necesario seguir investigando este aspecto, según las distintas localidades y variedades, y considerando la carga frutal.

En la temporada de baja carga floral, la proporción de flores perfectas fue mayor que en la de alta carga, concordando con lo encontrado por Cuevas et al. (1994), debido posiblemente a un menor nivel de competencia por fotoasimilados y elementos minerales entre las inflorescencias presentes (Cuevas et al., 1994; De la Rosa et al., 2000). Por su parte, el cuaje no solamente depende de la competencia dentro de cada inflorescencia sino también de la fructificación potencial del árbol (Lavee et al., 1996). Por ello, el efecto de una menor floración también influyó en el porcentaje de flores cuajadas, observándose que el número final de frutos representó un 7,63% cuando hubo poca floración, y que puede llegar, en promedio, a un 3,51% en el año de alta floración; resultados similares han sido reportados por Lavee (1986). De esta manera, los árboles con baja carga floral tienen un mayor cuaje que los que están con alta carga, al tener también un mayor porcentaje de flores perfectas; no obstante, este aumento de cuaje no compensa la producción de la temporada. A pesar de que estos mecanismos, aumento de flores perfectas y cuaje en una temporada de baja, no logran compensar la vecería en un año, sí se ha comprobado que los árboles tienden a regular paulatinamente la alternancia en el conjunto de sus ramas. Así, en ‘Manzanilla de Sevilla’, la relación entre la producción de árboles con baja carga y alta carga frutal pasó de 0,15 en 1990 a 0,44 en 1992, por lo que parece que estos mecanismos atenuarían la vecería a mediano plazo (Rallo y Cuevas, 2008).

Respecto a la concentración de clorofila (Chl) en hojas, en el año de alta fructificación, se observó una baja en el nivel de Chl durante el período de floración respecto a la temporada anterior. La explicación estaría dada por la relación directa de la concentración de Chl con el nitrógeno foliar (Boussadia et al., 2011), y por el hecho de que este elemento, el cual se almacena principalmente en las hojas (Fernández-Escobar, 2008), es altamente demandado en el proceso de floración y crecimiento vegetativo (Therios, 2009). Esto concuerda con estudios previos que también han observado disminuciones de clorofila (Proietti, 2001) y de nitrógeno foliar en este período (Fernández-Escobar et al. 2004; Fichet y Razeto, 2011).

El patrón de crecimiento doble sigmoideo comúnmente atribuido a drupas (Barabé y Jean, 1995) y que, en un principio se observa en oliva (Lavee, 1986), no fue observado en este estudio. En ambas temporadas se encontró que el volumen de la fruta aumentó casi linealmente entre 3 y 11 semanas después de plena floración (SDPF, cuaje-endurecimiento de carozo) y luego siguió aumentando, pero a una menor tasa, hasta las 21 y 25 SDPF, para el año de baja y alta carga, respectivamente. Esto coincide con estudios recientes en olivos, en los que no se ha encontrado un patrón sigmoidal doble (Lavee et al., 2007; Gucci et al., 2009; Trentacoste et al., 2010; Martín-Vertedor et al., 2011; Hammami et al., 2011). Esto se debería a que la ralentización del crecimiento en la etapa II está muy asociada al déficit hídrico, ya que esta fase se aprecia claramente en frutos de árboles bajo condiciones de

secano, mientras que bajo riego no se presenta, o lo hace de manera muy atenuada (Rapoport et al., 2004a; Lavee et al., 2007; Gucci et al., 2009).

En relación al crecimiento de fruto, expresado en volumen, en la primera fase no se apreció una gran diferencia entre temporadas, debido a que el endocarpo ocupa la mayor parte del volumen del fruto (Lavee, 1986). En este sentido, Morettini (1972), citado por Lavee y Wonder (2004), indicó que el crecimiento de fruto, hasta endurecimiento de carozo, está menos afectado por la carga frutal que por a partir de entonces. Esto se debe a que el endocarpo tiene una mayor prioridad como sumidero frente al mesocarpo, compitiendo por agua y nutrientes (Rapoport et al., 2004b; Morales-Sillero et al., 2008). Así, las diferencias en el crecimiento, entre temporadas, se observaron luego de esta fenofase, a partir de la cual comenzó a crecer el mesocarpo.

Es ampliamente conocido que, a menudo, la carga frutal y el tamaño de fruto se correlacionan negativamente (Lavee y Wodner, 1991; Barone et al., 1994; Gucci et al., 2007; Rallo y Cuevas, 2008; Dag et al., 2009; Trentacoste et al., 2010). Esta relación se debe, principalmente, a cambios en el mesocarpo, mientras que el carozo es levemente afectado por la carga frutal (Lavee y Wodner, 2004; Dag et al., 2009). En este sentido, es importante destacar que la baja relación encontrada entre la carga frutal y el peso fresco de fruto, se debió a que los frutos provenientes de los árboles con mayores cargas presentaban un mayor porcentaje de agua a cosecha. Así, al expresar el peso de fruto en peso seco, se encontró una mayor relación negativa a medida que aumentaba el número de frutos por árbol. Por otro lado, la acumulación de aceite también se vio afectada por la carga, siendo menor en frutos de árboles con alta producción, en comparación con los árboles con menor número de frutos, concordando con los resultados de otros autores (Lavee, 1986; Lavee y Wodner, 2004).

Aunque en este estudio no se presentó la misma carga frutal, en ambos años, producto de la fuerte alternancia productiva en el huerto, la estandarización de las fechas de cosecha mediante una similar acumulación de días-grado pareciera ser efectiva, al observarse valores similares de concentración de aceite. Esto se debería a la fuerte influencia de la temperatura en el proceso de acumulación de aceite (Trentacoste et al., 2012; Fichet, 2013).

En la mayor parte de la literatura acerca de la oliva, se hace referencia al aceite del fruto como concentración o contenido, indistintamente (Barone et al., 1994; Lavee y Wodner, 2001; Beltrán et al., 2004; Gucci et al., 2007). Expresar los componentes del fruto en términos de concentración  $[(g \text{ componente}/g \text{ de mesocarpo en peso seco}) \times 100]$  tiene un valor práctico, con fines de *marketing*, pero esta concentración de los componentes depende del tamaño de fruto (Trentacoste et al., 2012). De hecho, Beltrán et al. (2008) aconsejan que al momento de señalar la concentración grasa de los frutos, refiriéndose a ésta como contenido, debe hacerse sobre materia seca, con el objeto de eliminar las oscilaciones que producen las variaciones en el contenido de agua. En cambio, el expresar los componentes del fruto en términos de contenido (g componente/fruta) ofrece una visión de las variaciones genéticas, fisiológicas o ambientales (Rotundo y Westgate, 2009). En este sentido, se encontró que, independiente de la carga frutal, la concentración de aceite a cosecha, en base materia seca, fue homogénea, salvo en los olivos que presentaron una muy baja producción. Lo anterior se debe a que, a medida que aumenta el número de frutos, se reducen tanto el peso de aceite por

fruto como el peso seco de la pulpa, lo que resulta en una concentración conservada del aceite en la fruta, concordando con Lavee y Wodner (2004), Dag et al. (2009) y Trentacoste et al. (2010). De esta forma, cuando la fruta alcanza la madurez completa, la concentración de aceite alcanza un nivel uniforme, y este valor dependería de la genética, variedad, y condiciones ambientales, independientemente del tamaño de la fruta y de la carga frutal del árbol (Lavee y Wodner, 2004). De esta manera, la cantidad de aceite producida por un olivo, como rendimiento graso, parece estar regulada principalmente por el tamaño del mesocarpo disponible para la biosíntesis de lípidos. A su vez, la relación mesocarpo/endocarpo, dentro de cada variedad, está fuertemente relacionada con el tamaño de fruto y, por lo tanto, está afectada por la carga frutal (Lavee y Wodner, 2004).

Ajustes con modelos de regresión segmentada proporcionan una útil metodología para relacionar el efecto de la carga frutal con otras variables, permitiendo identificar el punto (rango) de inflexión o saturación (Trentacoste et al., 2010, 2012; Cherbiy-Hoffman et al., 2012, 2013); estos puntos son interesantes desde el punto de vista biológico y, a su vez, permiten explorar, de manera indirecta, las relaciones fuente-sumidero (Trentacoste et al., 2012; Cherbiy-Hoffman et al., 2013).

La producción aumentó a una tasa constante de 2,25 kg/árbol cada mil frutos, con un máximo aparente de 30 kg/árbol (12.480 kg ha<sup>-1</sup>). Aunque la relación lineal entre la producción y la carga frutal se ha descrito en la mayoría de los frutales, la pendiente encontrada en la relación no es trivial y el punto de saturación, es decir, donde la producción se estabiliza, es importante para idear estrategias en busca de mejorar la productividad (Trentacoste et al., 2010). En este contexto, las estimaciones del potencial productivo, es decir, la producción máxima que puede alcanzar el huerto bajo las condiciones en que se encuentra, es fundamental para evaluar las alternativas de manejo, incluyendo la fertilización, riego, poda, control de plagas, etc. (Trentacoste et al., 2010). Sin embargo, dada la fuerte alternancia productiva que presenta esta especie, es necesario reconsiderar este potencial productivo, vinculándolo con la vejería.

En este sentido, y considerando los resultados encontrados en este estudio, se realizó un análisis de la influencia de la producción del año (n) en la producción siguiente (n +1), expresando las producciones en términos relativos y considerando el valor más alto de producción encontrado, entre temporadas, como el potencial máximo de producción (100 %) (Figura 14). Este análisis incluyó datos de la literatura, donde se reportó que los árboles presentaban una fuerte alternancia productiva (Tous et al., 1998; Lavee, 2007; Dag et al., 2009; Fichet, 2013; Conde et al., 2013). Se observa que cuando la producción del año “n” es baja, es decir, 0-30 % del potencial de fructificación, al año siguiente las producciones son cercanas al máximo potencial productivo. Sin embargo, cuando los árboles presentan una producción intermedia el año “n”, 50-60%, la siguiente cosecha se mantiene dentro del mismo rango, sugiriendo un rango de producción en el cual no existe, o es muy baja, la alternancia productiva.

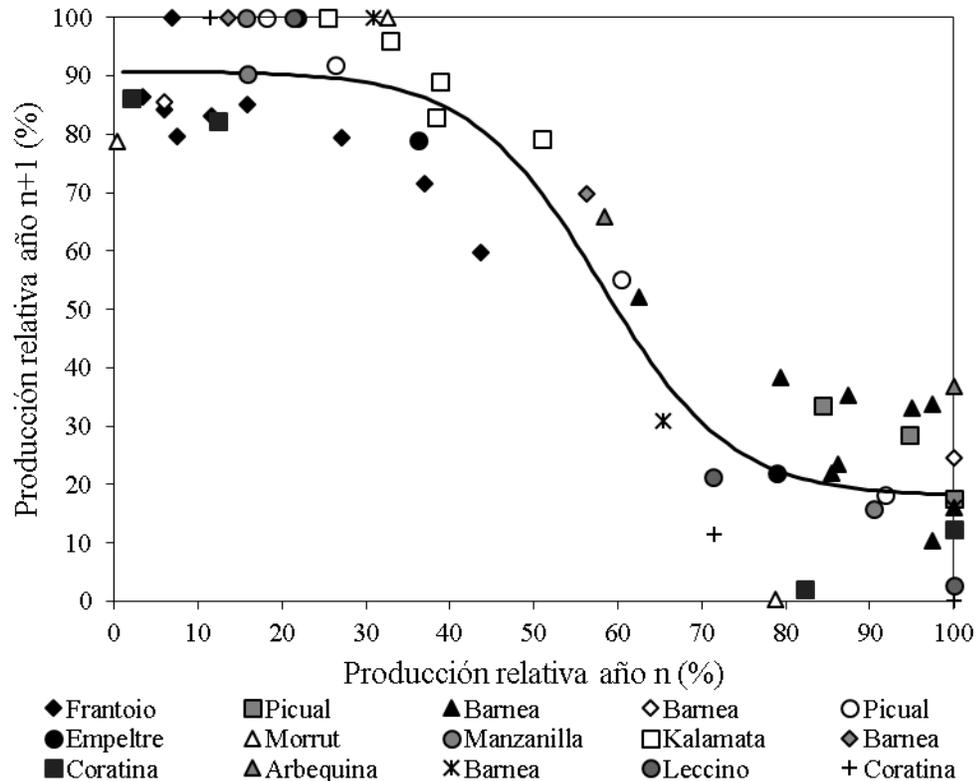


Figura 14. Producción relativa, en términos del potencial máximo de fructificación, entre dos temporadas consecutivas, “n” y “n+1”. Los datos de las diferentes variedades fueron obtenidos en estudios de Tous et al. (1998), Lavee, (2007), Dag et al. (2009), Fichet, (2013) y Conde et al. (2013); los datos de la variedad Frantoio pertenecen a esta investigación.

De esta manera, podría definirse como potencial óptimo el nivel de producción, o carga frutal máxima por árbol, con el cual no se presenta una baja considerable en la producción a la temporada siguiente, manteniendo así un equilibrio productivo. La carga óptima va a depender fundamentalmente de la variedad, de la edad e interceptación del árbol, etc. Al respecto, se encontró que el potencial óptimo, bajo las condiciones en las que se encontraba este olivar, estaba entre 15 y 19 kg/árbol (6.240-7.904 kg·ha<sup>-1</sup>). Este rango puede ser encontrado en árboles adultos con fuerte alternancia productiva, calculando el promedio de producción de dos años u observando una producción uniforme entre temporadas (árbol 9; Figura 13). Investigaciones previas avalan este planteamiento (Tous et al., 1998; Lavee, 2007; Dag et al., 2009; Fichet, 2013; Conde et al., 2013).

Al igual que la producción, el rendimiento de aceite se relacionó de manera directa con la carga frutal, coincidiendo con Dag et al. (2009) y Trentacoste et al. (2010). No obstante, se encontró que esta relación está segmentada en dos tramos, ya que una vez que el árbol sobrepasa un umbral de producción (~19 kg/árbol o 7.904 kg·ha<sup>-1</sup>), la tasa de ganancia en rendimiento graso, kg de aceite por kg de fruta producido, baja a ~39% de la tasa inicial (de 0,09 a 0,035). Es relevante señalar que el umbral de producción o punto de inflexión del modelo coincidió con el potencial óptimo encontrado. Por lo tanto, tener una fuerte

alternancia productiva no sólo conlleva a problemas logísticos en el manejo agronómico, como el riego, la fertilización y, más importante aún, la cosecha, la que se puede extender por varios meses y demandar mayor mano de obra (Lavee, 2007; Rallo y Cuevas, 2008; Dag et al., 2009; Fichet, 2013), sino que también disminuye la tasa de ganancia en rendimiento de aceite, al sobrepasar el potencial óptimo, en un año de alta carga frutal, por lo que, una producción intermedia proporcionaría una cosecha más temprana, lo cual es una ventaja en zonas con heladas o lluvias fuertes, que pueden dañar la fruta o la calidad del aceite (Dag et al., 2009).

De esta manera, surge la hipótesis de que, cada olivar en particular, tiene un potencial óptimo de producción en el cual se logra maximizar el rendimiento graso, sin afectar la producción a través de los años, manteniéndose ésta constante. Es este potencial al que deben apuntar los olivicultores para alcanzar el máximo rendimiento, sin verse afectados, severamente, por la alternancia productiva.

Cabe destacar que, al analizar el peso de fruto y la relación pulpa/carozo de ambas temporadas, se observó que ambos son menores a los encontrados en la literatura para esta variedad (Del Río y Caballero, 2008; Vossen, 2009; Trentacoste et al., 2012) e, incluso, en estudios previos realizados en el mismo campo (Sudzuki, 2006). A su vez, la baja producción promedio por hectárea encontrada (Vossen, 2009) se deba, probablemente, a que existe una baja relación hoja/fruto y hoja/madera, condición característica de olivares adultos envejecidos (García-Ortíz et al., 2008), existiendo muchas ramas sin follaje al interior de la copa, las cuales, por un lado, disminuyen la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (*PAR*) y, por el otro, demandan fotoasimilados para la mantención de estructuras no reproductivas. En este sentido, la producción del olivar y sus componentes, al igual que en otros frutales, está directamente relacionada con la cantidad de *PAR* interceptada (*PAR<sub>i</sub>*) por el huerto (Villalobos et al., 2006; Cherbiy-Hoffmann et al., 2012, 2013).

En síntesis, es necesario un mayor estudio del potencial productivo y óptimo de los olivares, según variedad, considerando la normalización de la productividad, rendimiento, peso de fruto, contenido de aceite y carga frutal con el tamaño de los árboles mediante *PAR<sub>i</sub>*, como ha sido últimamente utilizado (Mariscal et al., 2000; Villalobos et al., 2006; Cherbiy-Hoffmann et al., 2012). Esto permitirá una mejor estimación de la producción óptima de los olivares.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que fue llevado este estudio se puede concluir que:

La carga frutal, como ha sido anteriormente reportado, tiene una fuerte influencia tanto en el ciclo vegetativo como reproductivo.

Las raíces del olivo crecen prácticamente durante todo el año.

La intensidad del crecimiento de raíces está fuertemente influenciada por el proceso reproductivo y la disponibilidad de agua en el suelo.

El sistema radical del olivo 'Frantoio' es superficial y posee una gran plasticidad y capacidad de reaccionar rápidamente a cambios en el contenido de agua del suelo.

Los brotes son afectados por la carga frutal, en su largo final y en su posibilidad de desarrollo en la temporada, produciéndose el mayor crecimiento de la temporada entre brotación y floración, en un año de alta carga.

En los años de baja carga aumenta el porcentaje de flores perfectas y cuaje.

La carga frutal influye negativamente en el crecimiento y maduración de fruto posterior a endurecimiento de carozo.

El potencial óptimo de producción de esta variedad, bajo las condiciones de este ensayo, sería de  $\sim 7.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

La eficiencia en el rendimiento de aceite disminuye considerablemente al sobrepasar el potencial óptimo del huerto, en un año de alta carga frutal.

**LITERATURA CITADA**

Agustí, M. 2000. Brotación y floración. (cap. 6, pp. 121-138). En: Citricultura. 2ª edición. España: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 416p.

Akaike, H. 1974. A new look at the statistical identification model. *IEEE Trans. Auto. Control*, 19: 716-723.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists), EE.UU. 1984. Official methods on analysis of Association of Official Analytical Chemist. 14ª edición. Virginia, EE.UU.: Association of Official Analytical Chemists, Inc. 1.141p.

Balzarini, M.G.; L.A. González; E.M. Tablada; F. Casanoves; J. Di Rienzo y C.W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 1ª Edición, Editorial Brujas Argentina. Córdoba, Argentina. 334 p

Barabé, D. and R. Jean. 1995. On the allometric growth of tissues in fruits. *Bulletin of Mathematical Biology*, 57: 487-498.

Barone, E.; G. Gullo; R. Zappia and P. Inglese. 1994. Effect of crop load on fruit ripening and olive oil (*Olea europaea* L.) quality. *Journal of Horticultural Science*, 69(1): 67-73.

Beltrán, G.; M. Uceda; M. Hermoso y L. Frías. 2008. Maduración. (cap. 6, pp. 163-184). En: Barranco, R. Fernández.-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.

Beltrán, G.; C. del Río; S. Sanchez and L. Martínez. 2004, Oct. Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13): 1783-1790.

Boussadia. O.; K. Steppe; H. Zgallai; S. Ben El Hadj; M. Braham; R. Lemeur and M.C. Van Labeke. 2011, Mar. Nondestructive determination of nitrogen and chlorophyll content in olive tree leaves and the relation with photosynthesis and fluorescence parameters. *Photosynthetica*, 49(1): 149-153.

Bustan, A.; A. Avni; S. Lavee; I. Zipori; Y. Yeselson; A. Schaffer; J. Riov; A. Dag and M. Ryan. 2011, May. Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Journal Tree Physiology*, 31(5): 519-530.

Cadenas, F. 2013. Efecto de diferentes cargas frutales sobre la distribución de elementos minerales en los diferentes órganos de la planta de olivo a cosecha. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 66p.

Cherbiy-Hoffmann, S.U.; P.S. Searles, A. J Hall. And M.C. Rousseaux. 2012, Abr. Influence of light environment on yield determinants and components in large olive hedgerows following mechanical pruning in the subtropics of the Southern Hemisphere. *Scientia Horticulturae*, 137(1): 36-42.

Cherbiy-Hoffmann, S.U.; A. J Hall and M.C Rousseaux. 2013, Feb. Fruit, yield, and vegetative growth responses to photosynthetically active radiation during oil synthesis in olive trees. *Scientia Horticulturae*, 150(4): 110-116.

Conde, P.; J. J. Villamil, J. J.; C. Pereira, J. Ashfield R y D. Bianchi. 2013. Jornada de Divulgación. Resultados experimentales en olivos: comportamiento agronómico de variedades de olivo en Uruguay. (Serie Actividades De Difusión N° 721) INIA Las Brujas. Programa de Investigación en Producción Frutícola. Canelón. 53p.

Connell, J and P. Catlin. 2005. Root physiology and rootstock characteristics. (cap. 7, pp 39-49). In: Sibbett, G. L. Steven, J. Ferguson, L. Coviello, and M. Lindstrand (Eds). Olive production manual. Oakland, California: University of California. 171p. (Agriculture and Natural Resources).

Corelli-Grappadelli, L. and A.N. Lakso. 2004, Apr. Fruit development in deciduous tree crops as affected by physiological factors and environmental conditions. *Acta Horticulturae*, 636: 425–441.

Cuevas, J.; L. Rallo and H.F. Rapoport. 1994, Oct. Crop load effects on floral quality in olive. *Scientia Horticulturae*, 59(2): 123-130.

Dag, A.; Z. Kerem; N. Yogev; I. Zipori; S. Lavee and A. Ben-David. 2011, Jan. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 127(3): 358-366.

Dag, A., A. Bustan, A. Avni, S. Lavee and J. Riov. 2009. Fruit thinning using NAA shows potential for reducing biennial bearing of Barnea and Picual oil olive trees. *Crop and Pasture Science*, 60(12): 1124-1130.

De la Rosa, R.; L. Rallo and H.F. Rapoport. 2000, Dec. Olive floral bud growth and starch content during winter rest and spring budbreak. *HortScience*, 35(7):1223–1227.

Del Río, C. and J.M. Caballero, 2008, Jun. Variability and classification of olive cultivars by fruit weight, flesh/stone ratio and oil percentage. *Acta Horticulturae*, 791(2): 39–44.

Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzale; M Tablada y C.W. Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.

Fernández-Escobar, R. 2008. Fertilización. (cap. 9, pp. 299-335). En: Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España. Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.

Fernández-Escobar, R.; R. Moreno and M.A. Sánchez-Zamora. 2004, Oct. Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *HortScience*, 39(6): 1406–1411.

Fernández, J.E.; F. Moreno; J. Martín-Aranda and E. Fereres. 1992. Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agricultura Mediterranea*, 122(3): 225–235.

Fichet, T. 2013. Manejo de la carga frutal y su relación con el añerismo. (cap. 2, pp. 39-70). En: Fichet, T. y J.L. Henríquez (Eds.). Aportes al conocimiento del cultivo del olivo en Chile. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 264p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 21).

Fichet, T. y B. Razeto. 2011. Evolución estacional de elementos minerales en hojas y frutos. (cap 4, pp. 67-88). En: Fichet, T.; B. Razeto y T. Curcovic (Eds.). El olivo: Estudio agronómico en la Región de Atacama. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 170p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 16).

Fichet, T. y C. González. 2011. Comportamiento fenológico del olivo en la Región de Atacama. (cap 1, pp. 9-22). En: Fichet, T.; B. Razeto y T. Curcovic (Eds.). El olivo: Estudio agronómico en la Región de Atacama. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 170p. (Serie de Ciencias Agronómicas N° 16).

García-Ortiz, A.; J. Humanes; M. Pastor.; J. Morales y A. Fernández. 2008. Poda. (cap. 12, pp. 391-433). En: Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.

Génard, M.; J. Duzat; N. Franck, F. Lescourret; N. Moitrier; P. Vaast. and G. Vercambre. 2008, Jun. Carbon allocation in fruit trees: from theory to modeling. *Trees-Structure and Function*, 22(3): 269-282.

Goldschmidt, E.E. 2005, Jan-Feb. Regulatory aspects of alternate bearing in fruit trees. *Italus Hortus*, 12(1):11–17.

González, P. 1995. Influencia del fenómeno el niño-oscilación del sur en la acumulación de grados-día y horas de frío de la Región del Maule. *Revista Frutícola*, 16: 27-35.

Grechi, I.; P. Vivin; G. Hilbert; S. Milin; T. Robert and J.-P. Gaudillère. 2007, Mar. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 139-149.

Gucci, R.; E. Lodolini and H.F. Rapoport. 2009, Oct. Water deficit induced changes in mesocarp cellular processes and the relationship between mesocarp and endocarp during olive fruit development. *Tree Physiology*, 29: 1575–1585.

Gucci, R.; E; Lodolini and H.F. Rapoport. 2007, Jul. Productivity of olive trees with different water status and crop load. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82(4): 648–656.

Hammami, S.B.M.; T. Manrique and H.F. Rapoport. 2011, Sep. Cultivar-based fruit size in olive depends on different tissue and cellular processes throughout growth. *Scientia Horticulturae*, 130(2): 445-451.

Ibacache, A.; F. Tapia y P. Olivares. 2001. Estudio de la fenología aérea y radicular del olivo. (cap. 1, pp 76-78). En: Jornadas Olivícolas Nacionales (5<sup>a</sup>, 17, 18, 19 de octubre 2001, Vallenar, Chile). Serie Actas N° 14. Salvatierra, A; C. Quiroz; C. Zóccola; F. Tapia; A. Ibacache y M. Astorga. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intahuasi. 152p.

Lavee, S. 2007. Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). *Annales: Series Historia Naturalis*, 17(1):101- 112.

Lavee, S. 1986. Olive. (pp: 261-276). In: Monselise, S. (Ed). CRC Handbook of fruit set and development. Florida, USA: CRC Press, Boca Ratón. 568p. (CRC Series in Nutrition and Food)

Lavee, S and M. Wodner. 1991, Sep. Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 66(5):583-591.

Lavee, S. and M. Wonder. 2004, May. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea* L.), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae*, 99(3-4): 267-277.

Lavee, S.; E. Hanoch; M. Wodner and H. Abramowitch, 2007, Mar. The effect of predetermined deficit irrigation in the performance of cv. Muhasan (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae*, 112(2): 156–163.

Lavee, S.; L. Rallo; H. F. Rapoport and A. Troncoso. 1996, Oct. The floral biology of the olive: effect of flower number, type and distribution on fruitset. *Scientia Horticulturae*, 66(3-4): 149-158.

Li, C.-Y.; D. Weiss and E.E. Goldschmidt. 2003, may. Girdling affects carbohydrate-related gene expression in leaves, bark and roots of alternate-bearing citrus trees. *Annals of Botany*, 92(1):137–143.

Lichtenthaler, H. and A. Wellburn. 1983, Apr. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transaction*, 603(11): 591 – 592.

Mariscal, M.J.; F. Orgaz and F.J. Villalobos. 2000, Jan. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Tree Physiology*, 20(1); 65-

72.

Martin-Vertedor, A.; J. Pérez Rodríguez; H. Prieto Losada and E. Fereres. 2011, Jan. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) II. – Water use, fruit and oil yield. *Agricultural Water Management*, 98: 950-95.

Metheney, P.; L. Ferguson and D. Goldhamer. 1994. Effect of irrigation on Manzanillo olive flowering and shoot growth. *Acta Horticulturae*, 356:168-171

Monselise, P.S. and E.E. Goldschmidt. 1982. Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural Reviews*, 4:128–173.

Morales-Sillero, A.; H.F. Rapoport; J.E. Fernández and A. Troncoso. 2008, Jun. Olive fruit pulp and pit growth under differing nutrient supply. *Scientia Horticulturae*, 117(2): 182-184.

Nuzzo, V; C. Xiloyannis; B. Dichio; G. Montanaro and G. Celano. 2007, Aug. Growth and yield in irrigated and non-irrigated olive trees cultivar Coratina over four years after planting. *Acta Horticulturae*, 449 (1): 75-82.

Palese, A.M.; B. Dichio; G. Celano; M. Romano and C. Xiloyannis. 2000, Oct. The influence of soil water content on root density in young olive trees. *Acta Horticulturae*, 537(2): 329-336.

Polverigiani, S.; E.M. Lodolini and D. Neri. 2012, May. Olive root growth observed by field rhizotron. *Acta Horticulturae*, 949(1):271–278.

Poorter, H. and R. Villar. 1997. The fate of acquired carbon in plants: chemical composition and construction costs (cap 1, pp. 39-72). In: F. A. Bazzaz and J. Grace (Eds.). Plant resource allocation. Academic Press: San Diego. 303p. (Physiological Ecology Series).

Proietti, P. 2001, Apr. Effect of fruiting on leaf gas exchange in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 38(3):397 - 402.

Rallo, L. y J. Cuevas. 2008. Fructificación y producción. (cap. 5, pp. 126-162). En: Barranco, R. Fernández.-Escobar y L. Rallo (Eds.). El cultivo del olivo. 6ª edición. España. Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. 846p.

Rapoport, H.F.; G. Costagli and R. Gucci. 2004a, Jan. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1): 121-127.

Rapoport, H.F., T. Manrique and R. Gucci. 2004b, Apr. Cell division and expansion in the olive fruit. *Acta Horticulturae*, 636(1): 461-465.

- Rosecrance, R.C.; S.A. Weinbaum and P.H. Brown. 1998. Alternate bearing affects nitrogen, phosphorus, potassium and starch storage pools in mature pistachio trees. *Annals of Botany*, 82(4): 463–470.
- Rotundo, J.L. and M.E. Westgate. 2009, Feb. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 110 (2): 147–156.
- Sanz-Cortés, F.; J. Martínez-Calvo; M.L. Badenes; H. Bleiholder; H. Hack; G. Llacer and U. Meier. 2002, Apr. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2): 151-157.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2):461–464.
- Spann, T.M.; R.H. Beede and T.M. Dejong. 2008, Feb. Seasonal carbohydrate storage and mobilization in bearing and non-bearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Tree Physiology*, 28(2): 207–213.
- Sudzuki, K. 2006. Fenología de cuatro variedades de olivo para aceite en la Comuna de Melipilla, Región Metropolitana. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Fruticultura. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 28p.
- Therios, I. 2009. Flower bud induction and differentiation. (cap. 9, pp. 93-109). In: Atherton, J. and A. Rees (Eds). Olives. Greece: CAB International. 398p. (Crop Production Science Horticulturae Series, N°18)
- Tognetti, R.; R. d'Andria; A. Lavini and G. Morelli. 2006, Nov. The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). *European Journal Agronomy*, 25(4): 356–364.
- Tous, J.; A. Romero y J. Plana. 1998. Comportamiento agronómico y comercial de cinco variedades de olivo en Tarragona. *Investigación agraria*, 13(1-2): 96-109.
- Trentacoste, E.; C. Puertas and V. Sadras. 2012, Apr. Modelling the intraspecific variation in the dynamics of fruit growth, oil and water concentration in olive (*Olea europaea* L.). *European Journal of Agronomy*, 38: 83-93.
- Trentacoste, E.; C. Puertas and V. Sadras. 2010, May. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). *European Journal of Agronomy*, 32(4): 249-254.
- Turktas, M.; B. Inal; S. Okay; E.G. Erkilic and E. Dundar. 2013, Mar. Nutrition metabolism plays an important role in the alternate bearing of the olive tree (*Olea europaea* L.). [En línea] *PLOS ONE*, 8(3):2-15. Recuperado en: <http://www.readcube.com/articles/10.1371/journal.pone.0059876?locale=en>. Consultado el: el 15 de Agosto 2013.

Van Noordwijk, M.; G. Brouwer; F. Meijboom; M. do Rosario. G. Oliveira and A.G. Bengough. 2000. Trench profile techniques and core break methods (cap 6, pp. 211–233). In: Smit, A.L.; A.G. Bengough; C. Engels; M. Van Noordwijk; S. Pellerin and S.C. Van de Geijn. (Eds.). *Root Methods: A Handbook*. Berlin, Germany: Springer-Verlag. 587p.

Villalobos, F.J.; L. Testi; J. Hidalgo; M. Pastor and F. Orga. 2006, May. Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies. *European Journal of Agronomy*, 24(4): 296-303.

Vossen, P. 2009. Olive cultivar comparisons from around the world. (cap. 1, pp. 8-37). En: For a renovated, profitable and competitive Mediterranean olive growing sector (3<sup>a</sup>, 15, 16, 17, 18, 19 of December 2009, Sfax, Tunisia). Proceedings Olivebioteq-2009. Karray B; J. Khecharem and S. Roussos. Sousse, Tunisia: Institut de l'Olivier. 366p.

Wright, C. J. 1989. Interactions between vegetative and reproductive growth. (cap. 2. pp. 15-27). In: Wright, C. J (Ed). *Manipulation of fruiting*. London, England: Butterworths & Co. Ltd. 414p.

Yang, Y. 2005. Can the strengths of AIC and BIC be shared? A conflict between model identification and regression estimation. *Biometrika*, 92(4):937–950.

## APÉNDICE

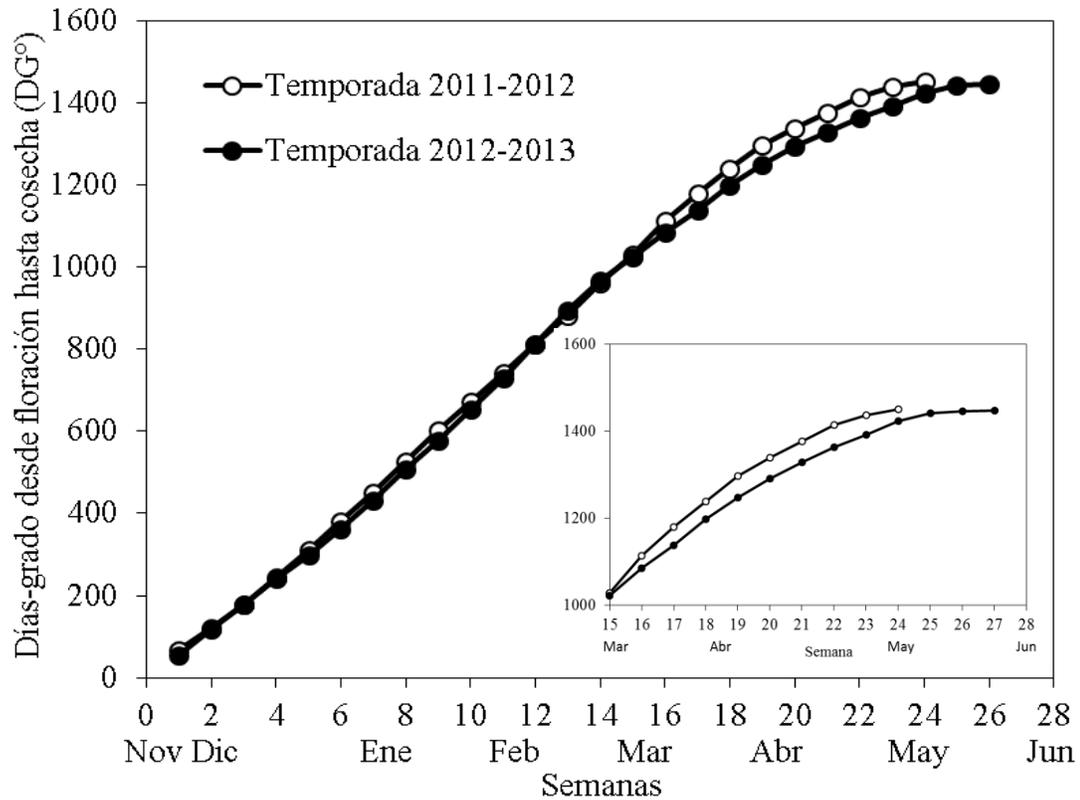


Figura 1. Días-grado acumulados desde plena floración hasta cosecha durante ambas temporadas, 2011-2012 y 2012-2013.

Cuadro 1. Distribución del crecimiento de brotes y raíces, expresado en porcentaje del crecimiento entre los diferentes estados fenológicos sobre el total de la temporada, durante dos temporadas consecutivas: baja (2011-2012) y alta carga frutal (2012-2013).

Período fenológico	Brotes		Raíces	
	Año de baja	Año de alta	Año de baja	Año de alta
	-----%-----			
Brotación-floración	58,92	78,91	37,21	69,35
Floración-cuaje	14,97	5,11	4,15	3,29
Cuaje-endurecimiento de carozo	24,84	15,97	11,88	20,15
Endurecimiento de carozo a cosecha	1,27		14,78	3,92
Reposo invernal			31,98	3,29
	-----cm-----		---Interceptaciones---	
Crecimiento total	15,7	6,2	2408	1607

Cuadro 2. Carga frutal y producción por árbol durante dos temporadas consecutivas: baja y alta carga frutal.

Árbol	Carga frutal		Producción	
	2011-2012	2012-2013	2011-2012	2012-2013
	-----frutos/árbol-----		-----kg/árbol-----	
1	1.163	13.762	2,6	27,9
2	469	13.886	1,2	30,3
3	1.089	15.703	2,1	29,5
4	1.020	19.269	2,4	35,1
5	1.739	13.939	4,1	29,1
6	4.515	13.939	9,5	27,8
7	4.711	10.712	13	25,1
8	8.966	9.748	15,3	21
9*		5.797		13,3
10*		7.755		17
11*		6.953		18,9
12*		4.961		14,4
13*		8.925		22
14*		7.460		20,6

\* Árboles raleados con ácido naftalén acético en diciembre de 2012

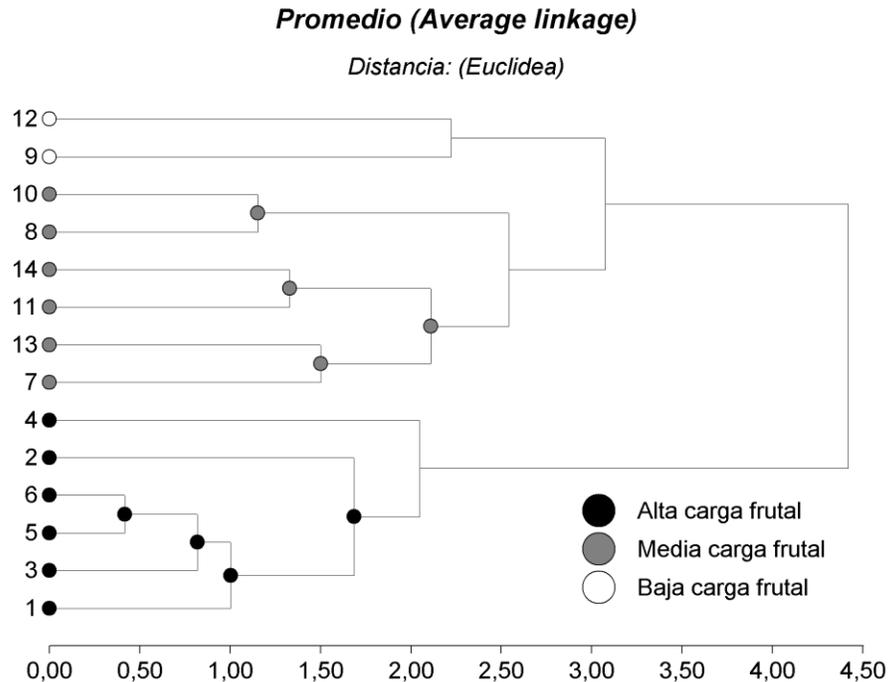


Figura 2. Análisis de conglomerados jerárquico para los árboles evaluados en la temporada 2012-2013 de acuerdo a carga frutal, producción, relación pulpa/carozo, rendimiento de aceite, peso seco de fruto y contenido de aceite del fruto a cosecha.