

# OLIVA

EDICIÓN ESPAÑOLA

Núm. 118 • 2012

CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL



# Sumario

OLIVÆ N° 118 · 2012

- 3 Comportamiento de las variedades de olivo Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez  
A. Mahhou, Y. Nabil, A. Hadiddou, A. Oukabli y A. Mamouni
- 22 Diseño y manejo del olivar en seto: efecto en la producción y calidad del aceite\*  
M. Gómez del Campo, E. Trentacoste y D. J. Connor
- 32 Potencial antioxidante de extractos de madera de poda de olivos, cv. Arbequina, procedentes de Catamarca. Argentina  
C. Salim Rosales, P. Gómez, E. Gómez, N. Rodríguez y M. Bravo
- 47 Influencia de los factores tecnológicos en el aceite de oliva virgen  
M. Servili
- 55 Sistemas de producción en olivicultura  
R. Fernández-Escobar, R. de la Rosa, L. León, J. A. Gómez, L. Testi, F. Orgaz, J. A. Gil-Ribes, E. Quesada-Moraga, A. Trapero y M. Msallem

---

## OLIVÆ

Revista Oficial del Consejo Oleícola Internacional

Editada en cinco idiomas: árabe, español, francés, inglés, italiano.

Príncipe de Vergara, 154.  
28002 Madrid, España.  
Tel.: 34-915 903 638  
Fax: 34-915 631 263  
E-mail: [iooc@internationaloliveoil.org](mailto:iooc@internationaloliveoil.org)

ISSN: 0255-996X

Depósito Legal: M-37830-1983

Realización: Advantia, S.A.

---

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría Ejecutiva del COI, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

El contenido de los artículos publicados en esta revista no refleja necesariamente el punto de vista de la secretaría del COI en la materia.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos publicados en OLIVÆ con la mención expresa de su origen.

\* Artículo previamente publicado en el n.º 24 de la Revista Fruticultura.



# Comportamiento de las variedades de olivo Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez

A. Mahhou<sup>1</sup>, Y. Nabil<sup>2</sup>, A. Hadiddou<sup>3</sup>, A. Oukabli<sup>3</sup> y A. Mamouni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IAV Hassan II, Rabat, [a.mahhou@iav.ac.ma](mailto:a.mahhou@iav.ac.ma) & [a.mahhou@gmail.com](mailto:a.mahhou@gmail.com)

<sup>2</sup> Oficina Regional de Aprovechamiento Agrícola de Haouz.

<sup>3</sup> Centro Regional de Investigación Agronómica de Mequínez.

## RESUMEN

Este estudio tiene por objeto evaluar el comportamiento de las variedades de olivo Haouzia, Menara y Arbequina en régimen de secano en la región de Mequínez. A tal efecto, determinamos las características carpométricas de los frutos y evaluamos los parámetros susceptibles de ayudar a los olivicultores a conocer la fecha adecuada para la recolección. Para ello, calculamos el índice de madurez y determinamos el contenido de aceite y de polifenoles durante la maduración. También calculamos el contenido de ácido oleico y linoleico en los aceites. El seguimiento de la floración y del cuajado permitió evaluar la eficacia de la polinización y la fecundación, que se midió en función del rendimiento registrado.

El contenido de aceite, polifenoles y ácido oleico fue diferente en función de la variedad. El contenido máximo de polifenoles registrado para la Arbequina fue de 1833 ppm, menor que en las variedades Menara y Haouzia en las que se registraron unos niveles de 2134 ppm y 2127 ppm respectivamente. Por lo que se

refiere al contenido máximo de aceite respecto a la materia fresca, éste fue del 23,6% para la variedad Menara, seguida por la variedad Haouzia, con un 23,3%, y la Arbequina, con un 17,56%. La combinación de estos parámetros permitió determinar el periodo de recolección óptimo, en el que los frutos presentan un contenido de aceite y polifenoles óptimo. El periodo de recolección óptimo para esta campaña se extendió del 3 al 19 de diciembre para la variedad Arbequina y del 3 de diciembre al 2 de enero para las variedades Menara y Haouzia. El periodo de floración para la Arbequina tuvo lugar del 8 al 29 de abril. En el caso de las variedades Haouzia y Menara, comenzó alrededor del 15 de abril y finalizó a finales de la primera semana de mayo. Los índices de cuajado registrados fueron satisfactorios: 15,36% para la Arbequina, 11% para la Haouzia y 12% para la Menara. Los rendimientos medios en cuatro años fueron de 44 kg/árbol para la variedad Menara, 37,25 kg/árbol para la Arbequina y 35,5 kg/árbol para la Haouzia.

Palabras clave: variedad, aceite de oliva, aceituna, ca-

racterísticas carpométricas, fecha óptima de recolección, índice de madurez, contenido de aceite, contenido de polifenoles.

## INTRODUCCIÓN

La olivicultura reviste una gran importancia socioeconómica en Marruecos, donde representa el 5% del PIB agrícola del país. En las 784.000 hectáreas de explotaciones nacionales se recogen alrededor de 1.500.000 toneladas de aceitunas. El país también produce 160.000 toneladas de aceite de oliva y 90.000 toneladas de aceitunas de mesa. En términos de exportaciones, se envían 17.000 toneladas de aceite de oliva y 64.000 toneladas de aceitunas de mesa a los mercados internacionales, y esta actividad genera más de 15 millones de jornadas de trabajo (MAPM, 2012).

Además, durante las últimas décadas se ha producido un importante aumento en la demanda de aceite y aceitunas de mesa en los mercados nacionales e internacionales. Esto es fruto de estudios que han demostrado el valor biológico de estos productos y su

destacado papel en la prevención de determinadas enfermedades. A la luz de estos datos, el Estado ha puesto en práctica una estrategia que permitirá alcanzar la cifra de 1 220 000 hectáreas en 2020 por medio de la adopción de los proyectos Pilar I y Pilar II del plan Marruecos Verde.

Sin embargo, el desarrollo de este sector se encuentra con numerosos y acusados obstáculos en Marruecos. Estos están relacionados principalmente con la escasez de precipitaciones, las técnicas de cultivo, a menudo tradicionales y empleadas de forma somera, y las infraestructuras para la transformación, que no han sido objeto de una modernización suficiente.

Al objeto de reducir el déficit nacional y de consolidar su posición en el mercado internacional del aceite de oliva y las aceitunas de mesa, en 2009 Marruecos adoptó una estrategia dentro del plan Marruecos Verde que preveía la realización de 510 proyectos integrados para 2020 con el objetivo de mejorar la productividad y la calidad, conseguir una revalorización fuerte y duradera, crear dos polos olivícolas para reforzar la investigación en Marrakech y Mequínés, y promocionar y diversificar las exportaciones mediante el refuerzo de los programas de control e investigación aplicada.

El sector olivícola sigue dominado por la Picholine marroquí, que es una varie-

dad población adaptada a las condiciones edáficas del país. Esta variedad es de doble uso: aceitunas de mesa (verdes y negras) y aceite. Si se reúnen las condiciones de producción necesarias, su productividad es entre media y buena. Sin embargo, presenta una vecería acusada, principalmente en régimen de secano. Por ello, el Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Marruecos seleccionó dos clones de la Picholine marroquí: Haouzia y Menara. El primero tiene un fruto de forma ovalada con un calibre mayor que el de la Picholine marroquí (de 3,3 a 5 g) y con doble uso. El contenido medio de aceite es del 20 al 24% y se trata de aceite de buena calidad (estable y rico en ácido oleico y en polifenoles).

Los contenidos de agua y aceite de las aceitunas varían según el cultivo y las condiciones en que éste se cultiva. En Marruecos, el contenido de aceite respecto al peso seco es del 37% para la Arbequina y del 30% para la Picholine marroquí (Boulouha, 2006). En comparación, el contenido de aceite de la Arbequina en relación con la materia fresca en régimen de regadío en California se encuentra entre el 22 y el 27% (Vossen, 2005). En el caso de la Haouzia, el contenido de aceite es del 20 al 24%, según la ficha varietal del INRA (Boulouha et al. 2006a), o del 23,2%, valor registrado por Hadiddou et al. (2006) e incluido en el Catálogo mundial de variedades de olivo (Consejo Oleícola In-

ternacional, 2000). Sin embargo, El Ajel (2006) y Rafik (2008) encontraron menores contenidos de aceite en relación con la materia fresca, del 20,3% y del 21,8% respectivamente. El contenido de aceite respecto a la materia fresca de la Menara arrojó un valor medio del 24%, tal como avanzaron Hadiddou et al. (2006). El mismo valor consta en el Catálogo mundial de variedades de olivo (Consejo Oleícola Internacional, 2000), y encaja con el 23,2% encontrado por Rafik (2008).

El contenido de polifenoles varía en función de la variedad (Cimato et al., 1996; Pannelli et al., 2001; Sweeney, 2005). Vossen (2005) precisó que dicho contenido en las distintas variedades de olivo puede presentar desde valores muy elevados, como ocurre en el caso de la Koroneiki y la Coratina, hasta valores muy bajos, como en el caso de la Picual. El control de la evolución de la concentración de compuestos fenólicos reviste un interés especial, ya que estas sustancias influyen en las características organolépticas del aceite de oliva y en su estabilidad oxidativa (Chimi, 1987; Chimi et al., 1991). Fantozzi y Montedero (1978) describen que la concentración de compuestos fenólicos en la pulpa de la aceituna varía en función del nivel de pigmentación. Así, pasa de 2065 mg de ácido gálico por cada 100 g de pasta de aceituna seca en su estadio de pigmentación verde a 2285 mg en su estadio de pigmen-

tación seminegra y, posteriormente, a 1997 mg en su estadio de pigmentación negra. Los autores concluyen, por tanto, que el contenido de polifenoles es óptimo cuando la aceituna presenta pigmentación seminegra, y esta proporción está relacionada además con los aceites de mayor calidad.

La misma tendencia en el contenido de polifenoles fue registrada por Atouati (1991), quien describió un aumento del nivel de compuestos fenólicos totales entre el estadio de pigmentación verde y el grado de maduración que se corresponde con la pigmentación seminegra, al que sigue una caída de dicha proporción en el estadio de pigmentación negra. Por el contrario, la tendencia relativa al contenido de aceite es la contraria, ya que las aceitunas presentan un contenido máximo de aceite en el estadio de pigmentación negra. En tres variedades estudiadas en la región de Settat en olivar en régimen de regadío, Mahhou et al. (2011) observaron que el contenido de polifenoles tiende a crecer, alcanzando un valor máximo de 1823 ppm para la Arbequina, de 2192 ppm para la Koroneiki y de 2113 ppm para la Picholine marroquí, para luego comenzar a reducirse a partir de principios de diciembre.

En bour (tierras en régimen de secano), la Haouzia también resulta productiva y presenta un rendimiento medio de 25 a 80 kg por árbol. En

cuanto a la Menara, se caracteriza por una productividad superior a los 60 kg por árbol (en 11 campañas) y un contenido de aceite superior al 20%, además de una buena tolerancia al *Pseudomonas savastanoi* (tuberculosis). Además de estos clones, se han introducido otras variedades extranjeras, principalmente españolas, por su producción precoz y su adaptación a las densidades altas (Arbequina) (Boulouha B. et al., 2006).

El objetivo del presente trabajo es la determinación de las características de las aceitunas y los aceites de oliva en distintos periodos de recolección a fin de determinar el periodo de recolección óptimo para las tres variedades cultivadas en régimen de secano en la región de Mequíniz: Arbequina, Menara y Haouzia.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Características del sitio

El presente estudio se llevó a cabo en el terreno experimental del INRA situado en Ain Taoujdate, en la llanura del Sais, a 30 km de Mequíniz, en la provincia de El Hajeb (altitud: 550 m, latitud: 33°, longitud: 5°), durante la campaña agrícola 2008/2009.

El terreno experimental se caracteriza por suelos aluviales: suelos profundos, rojizos,

poco calcáreos, arcillosos y arenosos.

Ain Taoujdate es una región con una pluviometría anual media de unos 500 mm. Las precipitaciones tienen lugar entre los meses de septiembre y abril, principalmente en los meses de noviembre y diciembre. La estación seca dura de junio a septiembre. La pluviometría anual durante esta campaña fue de 700 mm. Las temperaturas mínimas medias oscilaron entre los 4 °C en el mes más frío (diciembre) y los 18 °C en el mes más cálido (julio), mientras que las temperaturas máximas promedio variaron en esos mismos meses entre los 15 y los 38 °C.

El estudio se realizó en dos clones de la Picholine marroquí, Haouzia y Menara, plantados en 1989, y en la variedad española Arbequina, plantada en 1988 con un marco de plantación de 7 m x 7 m, es decir, con una densidad de 204 árboles/ha.

La variedad **Haouzia** es una selección clonal de la Picholine marroquí. Es una variedad rústica y con una elevada capacidad rizogénica (65% de éxito). El árbol presenta un vigor medio y un porte abierto. Su fruto es de doble uso y tiene un contenido de aceite del 23%. Se trata de una variedad parcialmente autofértil. Su entrada en producción se produce a partir del tercer año. Cada árbol tiene un rendimiento medio de

60 kg en régimen de regadío, y de 25 a 80 kg en bour favorable (centro-norte). Es tolerante al repilo, la tuberculosis y la sequía.

La variedad **Menara** también es una selección de la Picholine marroquí. El árbol presenta un vigor medio en bour y alto en régimen de regadío. Su porte es erguido. Su capacidad rizogénica es muy elevada (del 70%). La vecería en la producción es un 30% inferior a la de la Picholine marroquí. Su entrada en producción se produce a partir del tercer año. El rendimiento medio por árbol adulto en régimen de regadío supera los 60 kg. En régimen de secano, su rendimiento es de 35 a 80 kg por árbol. Es resistente a la tuberculosis.

## 2.2. Metodología para la toma de muestras

En cada genotipo estudiado, procedimos al marcado con pintura de cuatro olivos elegidos al azar mediante un dispositivo totalmente aleatorio. En las fechas de toma de muestras indicadas en el cuadro 1 tomamos aleatoriamente una muestra heterogénea (1 kg) de aceitunas de cada genotipo, al alcance de la mano y en ramas diferentes.

Estas muestras se colocaron en bolsas de plástico y se enviaron ese mismo día al laboratorio para su caracterización. El resto de la muestra se

**CUADRO 1.**  
**Fechas de la toma de muestras de aceitunas**

N.º de muestra	Fecha de la toma de muestras
1	22/10/2008
2	05/11/2008
3	19/11/2008
4	03/12/2008
5	12/12/2008
6	19/12/2008
7	02/01/2009
8	09/01/2009
9	16/01/2009

guardó en un congelador a -20 °C hasta el análisis físico-químico.

## 2.3. Análisis realizados en las aceitunas

### *Determinación del índice de madurez (IM) de las aceitunas*

Se basa en la apreciación de la coloración de 100 acei-

tunas cogidas al azar en una muestra de 1 kg. Estas aceitunas se dividen en 8 clases, desde las aceitunas con epidermis de color verde intenso o verde oscuro hasta las aceitunas con epidermis negra y pulpa completamente oscura.

El índice de madurez de las aceitunas se calcula como se indica a continuación:

$$\text{Índice de madurez} = \frac{[(0 \times n_0) + (1 \times n_1) + (2 \times n_2) + \dots + (7 \times n_7)]}{100}$$

Siendo n0, n1,... n, el número de aceitunas de las siguientes clases:

**0:** aceitunas con epidermis de color verde intenso o verde oscuro

**1:** aceitunas con epidermis de color amarillo intenso o amarillento

**2:** aceitunas con epidermis de color amarillento, con presencia de manchas o zonas rojizas;

**3:** aceitunas con epider-

mis de color rojizo o violeta claro;

**4:** aceitunas con epidermis de color negro y pulpa completamente verde;

**5:** aceitunas con epidermis de color negro y pulpa violeta hasta la mitad de su espesor;

**6:** aceitunas con epidermis de color negro y pulpa violeta hasta el hueso

**7:** aceitunas con epidermis de color negro y pulpa totalmente oscura

### Determinación de las características carpométricas de las aceitunas

Determinamos el peso del fruto, del hueso y de la pulpa en una muestra de 20 frutos. Para la determinación de la forma de los frutos, medimos la longitud y la anchura de 20 frutos por medio de un calibre. La relación entre ambas dimensiones indica la forma del fruto de acuerdo con las normas establecidas por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2000).

$$\text{Humedad } ( ) = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

### Determinación del contenido de aceite en las aceitunas

#### Método Soxhlet

Una cantidad de 70 g de aceitunas completamente trituradas en mortero se pone a secar en un horno a 105 °C hasta que se obtiene un peso constante (aproximadamente 42 h). Una vez recuperado y pesado el aceite (M), se obtiene el contenido de aceite expresado en porcentaje (respecto a la materia fresca y seca) con las siguientes fórmulas:

$$\text{THF } ( ) = \frac{M \times 100}{M_0}$$

$$\text{THS } ( ) = \frac{M \times 100}{M_1}$$

### Determinación del contenido de agua en las aceitunas

Se tomaron y pesaron dos muestras de frutos de 40 g cada una (peso fresco). A continuación, se secaron en un horno a 75 °C durante 48 h, hasta la estabilización de su peso. Las muestras se volvieron a pesar una vez sacadas del horno (peso seco). La diferencia entre ambos pesos es el peso del agua, y se calculó para 100 g de fruto a fin de conocer el contenido de agua o humedad de las aceitunas.

Donde:

- **THF** = contenido de aceite respecto a la materia fresca.
- **THS** = contenido de aceite respecto a la materia seca.
- **M** = peso de la materia grasa extraída.
- **M<sub>0</sub>** = peso de la materia fresca de la muestra.
- **M<sub>1</sub>** = peso de la materia seca de la muestra.

En cada muestra se realizaron tres repeticiones para determinar el contenido medio de aceite en cada variedad.

## 2.4. Métodos de análisis del aceite

### Polifenoles totales

El método empleado para la dosificación de los polifenoles totales es el sugerido por Vázquez Roncero (1975). Se pesan 10 g de aceite, se diluyen con 50 ml de hexano y se colocan en un embudo de decantación. La extracción de los polifenoles se realiza tres veces por cada 20 ml de mezcla de metanol y agua (60%: 40%), agitando cada vez durante dos minutos y medio. En cada extracción, las capas inferiores se decantan directamente en un frasco de 100 ml, se rellena con agua destilada y se obtiene la solución de polifenoles. En un matraz aforado de 50 ml, se vierten 35 ml de agua destilada, 15 ml de la solución de polifenoles y 2,5 ml de reactivo de Folin-Denis. Se agita para obtener una mezcla homogénea y se deja reposar 3 minutos. Se añaden 5 ml de la solución de NaOH al 6%, se rellena con agua destilada hasta la línea de enrase y se mezcla muy bien. El blanco se realiza en las mismas condiciones en que se manipuló la muestra de aceite. Después de una hora de reposo (45 minutos como mínimo), se realiza la lectura de la absorbancia mediante un espectrómetro a 725 nm.

### Ácidos grasos

Se pesan unos 0,3 g del aceite en un matraz de destilación de 50 ml, se añaden

2,5 ml de metóxido de sodio, que confiere a la solución un color rosáceo intenso, a continuación se coloca el matraz de destilación bajo un refrigerante y se calienta a reflujo durante 10 minutos. Se añaden 2,5 ml de metanol sulfúrico hasta que desaparece la coloración rosa y se vuelve a calentar durante 10 minutos. Una vez enfriada la mezcla, se trasvasa con un embudo a un tubo de ensayo y se enjuaga el matraz de destilación con 6 ml de heptano (enjuagar tres veces con 2 ml cada vez). Se rellena el tubo de ensayo con NaCl, que contribuye a que floten los ésteres. Mediante una microjeringa se recuperan los ésteres metílicos que flotan en la superficie. Finalmente, se determina la composición de ácidos grasos por medio de cromatografía de gases.

### 2.5. Control de la floración y evaluación de la fertilidad

#### *Época de floración*

Para determinar las épocas de floración de las distintas variedades, se realiza una valoración visual por semana desde el mes de marzo hasta que finaliza el periodo de floración de las variedades estudiadas. Las fases que se aprecian son las siguientes:

- Inicio de la floración, con un 10% de las flores abiertas.
- Plena floración, con un 90% de las flores abiertas.

- Fin de la floración, caracterizada por el momento en que comienzan a caerse los pétalos.

#### *Evaluación de la fertilidad*

El 29 de abril de 2009 marcamos cuatro ramas, una por orientación (sur, norte,

este y oeste), en cada uno de los cuatro árboles elegidos para cada genotipo. En estas ramas contamos el mismo día el número inicial de flores. Tras la caída fisiológica del mes de junio, contamos el número de flores fecundadas o de pequeños frutos. El índice de cuajado se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de cuajado } () = \frac{\text{Número de flores fecundadas}}{\text{Número total de flores}} \times 100$$

### 2.6. Número de determinaciones y análisis estadístico

Todos los análisis realizados en el laboratorio se realizan por triplicado. Los resultados indicados en la interpretación son la media de las tres determinaciones. Los resultados se analizaron con Minitab para obtener el análisis de la varianza y el cálculo de los datos estadísticos descriptivos: media, desviación típica, etc.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Índice de madurez

El control del índice de madurez de las aceitunas de los clones marroquíes Haouzia y Menara, y de la variedad Arbequina, se realizó entre el 22 de octubre de 2008 y el 16 de enero de 2009 (cuadro 2). Este índice presentó unos valores de entre 1,4 y 4,9 para los clones de la Picholine marroquí y de entre 2,3 y 4,7 para la Arbequina.

**CUADRO 2.**

**Evolución del índice de madurez de las aceitunas Haouzia, Menara y Arbequina en régimen de secano en la región marroquí de Mequinez durante la campaña 2008/09**

Fecha de la toma de muestras	Arbequina	Haouzia	Menara
22/10/2008	2,3	1,4	1,4
05/11/2008	2,5	2,7	1,9
19/11/2008	2,5	3,5	3,2
03/12/2008	3,1	3,9	3,9
12/12/2008	3,4	4,3	4,1
19/12/2008	3,5	4,6	4,4
02/01/2009	4,1	4,6	4,6
09/01/2009	4,4	4,8	4,6
16/01/2009	4,7	4,9	4,8

La Haouzia y la Menara mostraron una maduración más temprana que la Arbequina. Las curvas del índice de madurez de los clones Menara y Haouzia presentan una tendencia similar, aunque con un ligero avance en el clon Haouzia.

### 3.2. Características carpométricas de las aceitunas

El peso medio de las aceitunas (cuadro 3 y figura 1) presenta una tendencia similar en los tres genotipos, pero difiere entre los clones Haouzia y Menara, y con la variedad Arbequina. El análisis de la varianza reveló la influencia de la variedad sobre el peso de los frutos. La separación de las medias de

los pesos por fecha de toma de muestras según el método de Tukey permitió distinguir dos grupos homogéneos, uno de ellos formado por los dos clones de la Picholine marroquí y el otro por la Arbequina, salvo en las fechas 05/11/2008, 09/01/2009 y 16/01/2009, en las que se encontró una diferencia entre las tres variedades, por lo que en esos casos cabría hablar de tres grupos homogéneos. La Arbequina, que es una variedad de aceituna de almazara, presenta un fruto con un peso medio inferior al de los frutos de los dos clones de doble uso. Entre el comienzo y el fin del periodo de toma de muestras, el peso medio de los frutos pasó de 0,86 a 1,61 g, de 2,13 a 2,45 g y de 1,92 a 2,55 g para la Arbequina, la Haouzia y la

Menara respectivamente, registrando así un aumento respectivo del 87, el 15 y el 33%. Esta tendencia registrada en el peso de los frutos es acorde con los resultados de Atouati (1991), Idrissi (1994), Lachir y Sidi Baba (1994), El Cadi y El Jamaï (1998), y Faqih y Hmama (1999). Rafik (2008), que también había trabajado sobre la misma parcela en la campaña anterior (2006/07), registró unos resultados similares, con un peso medio por fruto de 1,7 g para la Arbequina, de 2,4 g para la Haouzia y de 2,3 g para la Menara. El peso medio de la variedad Arbequina es ligeramente inferior al registrado por Mahhou et al. (2011) en régimen de regadío en la región de Settat.

### CUADRO 3.

**Evolución de los pesos medios del fruto, la pulpa y el hueso de la aceituna, y de la relación pulpa/hueso de la Arbequina, la Haouzia y la Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequinez durante la campaña 2008/09**

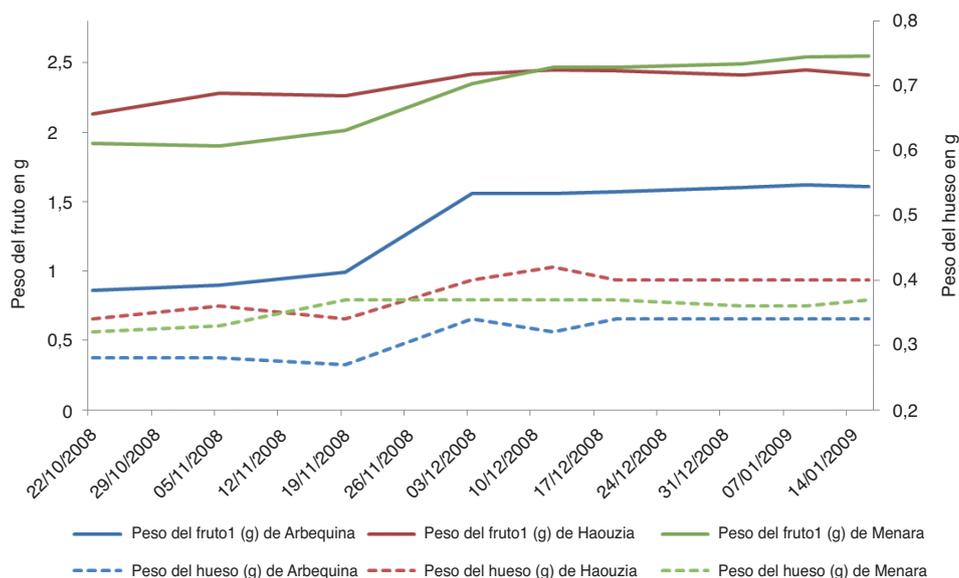
Fecha	Peso del fruto <sup>1</sup> (g)			Peso del hueso (g)		
	Arbequina	Haouzia	Menara	Arbequina	Haouzia	Menara
22/10/2008	0,86 a	2,13 b	1,92 b	0,28 a	0,34 b	0,32 b
05/11/2008	0,90 a	2,28 c	1,90 b	0,28 a	0,36 c	0,33 b
19/11/2008	0,99 a	2,26 b	2,01 b	0,27 a	0,34 b	0,37 b
03/12/2008	1,56 a	2,42 b	2,35 b	0,34 a	0,40 b	0,37 ab
12/12/2008	1,56 a	2,45 b	2,47 b	0,32 a	0,42 c	0,37 b
19/12/2008	1,57 a	2,44 b	2,47 b	0,34 a	0,40 c	0,37 b
02/01/2009	1,60 a	2,41 b	2,49 b	0,34 a	0,40 b	0,36 a
09/01/2009	1,62 a	2,45 b	2,54 c	0,34 a	0,40 b	0,36 a
16/01/2009	1,61 a	2,41 b	2,55 c	0,34 a	0,40 c	0,37 b

<sup>1</sup> Para cada fecha y parámetro, las medias seguidas de una misma letra no difieren significativamente entre sí al nivel del 5% según el test de Tukey.

**CUADRO 3. (Continuación)**

Fecha	Peso de la pulpa (g)			Pulpa/hueso		
	Arbequina	Haouzia	Menara	Arbequina	Haouzia	Menara
22/10/2008	0,58 a	1,79 b	1,60 b	2,07 a	5,26 b	5,00 b
05/11/2008	0,62 a	1,91 c	1,57 b	2,22 a	5,30 c	4,76 b
19/11/2008	0,73 a	1,91 c	1,63 b	2,71 a	5,62 c	4,41 b
03/12/2008	1,22 a	2,02 b	1,98 b	3,58 a	5,05 b	5,35 b
12/12/2008	1,24 a	2,03 b	2,09 c	3,87 a	4,83 b	5,65 c
19/12/2008	1,23 a	2,04 b	2,10 c	3,62 a	5,10 b	5,66 b
02/01/2009	1,26 a	2,02 b	2,13 c	3,71 a	5,05 b	5,92 b
09/01/2009	1,28 a	2,05 b	2,18 c	3,77 a	5,13 b	6,05 b
16/01/2009	1,27 a	2,01 b	2,18 c	3,74 a	5,02 b	5,89 b

Figura 1. Evolución del crecimiento del fruto y del hueso en la Arbequina, la Haouzia y la Menara en régimen de secano en la región de Mequinez durante la campaña 2008/2009



cional, 2000) y es inferior a los 0,5 g registrados por el INRA de Marrakech en las colecciones de Menara en régimen de regadío. El peso medio final del endocarpo de la Arbequina es de 0,34 g, valor superior al registrado por Romero y Díaz (2005), y por Sweeney (2005), quienes refieren un peso de 0,27 g. Taiebi (2008) registró un peso del hueso de la Arbequina de 0,26 g en régimen de regadío. Sin embargo, Rafik (2008), en las mismas condiciones de secano que nuestro ensayo, refirió un peso del hueso de la Arbequina de 0,4 g, mientras que para la Menara y la Haouzia el peso del hueso era de 0,5 g, superior al peso registrado este año para los dos clones. Por tanto, el peso del hueso depende de las condiciones de cultivo y las condiciones climáticas del año. De este modo, el peso medio del endocarpo es un carácter ligado a la variedad pero también variable en función de las condiciones del medio y de los cuidados recibidos.

Así, el peso medio de los frutos, que se encuentra ligado a la variedad, también está influido por las condiciones anuales del medio y los cuidados, que pueden ser fuente de importantes variaciones.

El peso medio del hueso de la Haouzia en la fase negra es de 0,4 g, por lo que queda dentro del intervalo de 0,3 a 0,45 g del Catálogo mundial de variedades de

olivo (Consejo Oleícola Internacional, 2000) y es inferior a los 0,75 g registrados por el INRA en los olivares del clon Menara de Marrakech en régimen de regadío. El peso medio del hueso de la Menara es de 0,37 g, por lo que se encuentra dentro del intervalo de 0,3 a 0,45 g de la ficha varietal del clon Menara del Catálogo mundial de variedades de olivo (Consejo Oleícola Interna-

La relación pulpa/hueso alcanza el 3,87 para la Arbequina, el 5,62 para la Haouzia y el 6,05 para la Menara (cuadro 3). La relación de la Haouzia es conforme a los datos de la ficha técnica del olivo (Boulouha et al., 2006a), que señala una relación de entre 4 y 6. En cambio, para la Menara, la relación resultante de nuestro experimento es superior a la indicada en la ficha, que es de entre 3 y 5. Barranco et al. (1999) señalaron que las variedades de aceitunas de mesa deben presentar una relación mínima de 5. De este modo, los clones marroquíes alcanzaron en las condiciones del ensayo un peso de fruto y una relación pulpa/hueso que los hace aptos para la conserva. En cuanto a la Arbequina, Tous et al. (1998) y Rallo et al. (2005) habían indicado una relación de 3,9, muy próxima a la registrada en este estudio para este año (3,87).

La relación entre longitud y anchura, que representa la forma del fruto, no cambia prácticamente durante la evolución del mismo en ninguna variedad. El valor medio de la relación entre longitud y anchura es de:

- 1,17 para la Arbequina, que se corresponde con una forma esférica.
- 1,26 para la Haouzia y 1,31 para la Menara, de forma ovoide, lo que concuerda con la descripción del Consejo Oleícola Internacional (2000).

### 3.3. Composición de las aceitunas

#### 3.3.1. Evolución de la humedad

El contenido de agua de los frutos de las tres variedades disminuye con la maduración, y pasa del 61 al 56% en la Arbequina, del 65 al 56% en la Menara y del 65 al 58% en la Haouzia. Faqih y Hmama (1999) describieron una ligera disminución de la humedad en un estado avanzado de madurez debido a la transpiración del fruto. Otros autores realizaron observaciones similares (Atouati, 1991; Idrissi, 1994; Lachir y Sidi Baba, 1994; Lamrini, 1995; Rahmani et al., 1997; El Cadi y Jamaï, 1998).

Según la clasificación propuesta por Del Río y Caballero (1994) para el contenido de agua en las aceitunas (muy bajo: < 40; bajo: 40-50; medio: 50-60; alto: 60-70; muy alto: > 70), cabe deducir que las tres variedades se pueden clasificar en la categoría "media".

#### 3.3.2. Evolución del contenido de aceite

La evolución del contenido en aceite de las aceitunas (expresado en porcentaje sobre materia fresca) de las tres variedades se incluye en el cuadro 4 y en la figura 2. Cada variedad tiene su propio contenido de aceite, que cons-

tituye una característica varietal. En este sentido, Walali et al. (1984) describieron una diferencia en el rendimiento graso entre los clones de la Picholine marroquí. Boulouha (2006 b) afirma que existe una diferencia en el contenido de aceite referido a materia seca entre las variedades Haouzia (48%), Menara (56%) y Arbequina (37%). En esta campaña y en las condiciones de nuestro estudio, la Haouzia y la Menara presentan un contenido de aceite respecto a la materia fresca más elevado que la Arbequina (23% frente al 17,6%). Esta última presenta un valor inferior al referido por distintos autores: del 22,6% (El Ajal, 2006) y del 23% (Ouazzani et al., 2002) en olivares en régimen de regadío en la región de Mequinez, y del 25,7% (Taiebi, 2008) en régimen de regadío en la región de Settat. El rendimiento graso de la Arbequina referido a materia fresca en régimen de regadío en California se encuentra entre el 22 y el 27% (Vossen, 2005). En el caso de la Haouzia, el contenido de aceite del 23,3% se encuentra dentro del intervalo del 20 al 24% indicado en la ficha varietal del INRA (Boulouha et al. 2006a), y concuerda con el 23,2% publicado por Hadidou et al. (2006) y el valor del Catálogo mundial de variedades de olivo (Consejo Oleícola Internacional, 2000), que es del 23%. Sin embargo, El Ajal (2006) y Rafik (2008) encontraron menores niveles

de aceite sobre materia fresca, del 20,3% y del 21,8% respectivamente. La Menara ha arrojado un contenido de aceite del 23,6%, un valor acorde con el valor medio del 24% señalado por Hadiddou

et al. (2006). El mismo valor consta en el Catálogo mundial de variedades de olivo (Consejo Oleícola Internacional, 2000), y encaja con el 23,2% indicado por Rafik (2008).

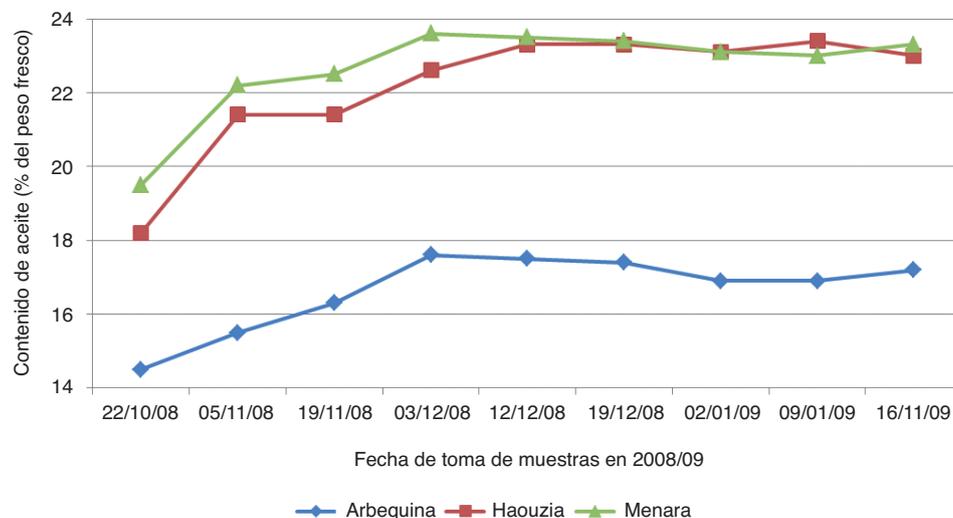
El rendimiento graso de los frutos aumenta con la madurez, pasando del 14,5 al 17,6% para la Arbequina, del 18,1 al 23,3% para la Haouzia y del 19,5 al 23,6% para la Menara. Estos valores máximos se consiguen a principios de diciembre, momento a partir del cual se estabiliza el contenido de aceite. La diferencia en dicho contenido entre las fechas de las tomas de muestras ha sido descrita por Walali et al. (1984) para cinco clones de la Picholine marroquí. El Antari (2006) refirió esta diferencia entre la Menara y la Haouzia en las fechas de toma de muestras de los meses de octubre y noviembre. La biosíntesis del aceite se produce rápidamente entre el estadio de pigmentación verde de las aceitunas y el momento en que adquieren un color totalmente negro, momento al que sigue una fase de estabilización del contenido de aceite (Uceda y Frías, 1975; Suárez, 1984; y Civantos, 1999) e incluso una pequeña disminución del mismo en los estadios más avanzados de madurez (Lachir y Sidi Baba, 1994; El Cadi y Jamaï, 1998; y Hmama y Faqih, 1999). Esta disminución puede atribuirse a la acumulación de la materia seca en las aceitunas en fase de madurez avanzada, pero también a las lipasas endógenas (activas en el estadio de pigmentación negra), que hidrolizan los triglicéridos y los ácidos grasos (Harrar, 2007). La intensidad de la li-

**CUADRO 4.**  
**Evolución del contenido de polifenoles (en ppm) de las aceitunas de las variedades Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09**

Fecha de la toma de muestras	Arbequina	Haouzia	Menara
22/10/2008	1731 a <sup>1</sup>	1833 b	1854 c
05/11/2008	1735 a	1933 b	1946 c
19/11/2008	1803 a	2054 b	2123 c
03/12/2008	1833 a	2124 b	2133 c
12/12/2008	1828 a	2127 b	2134 c
19/12/2008	1812 a	2103 b	2125 c
02/01/2009	1755 a	2067 b	2112 c
09/01/2009	1724 a	2013 b	2066 c
16/01/2009	1722 a	1987 b	2032 c
Media	1771,4	2026,8	2058,3

<sup>1</sup> Para cada fecha y parámetro, las medias seguidas de una misma letra no difieren significativamente entre sí al nivel del 5% según el test de Tukey.

**Figura 2.** Evolución del contenido de aceite (en porcentaje del peso fresco) en las variedades Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región de Mequínez durante la campaña 2008/2009



pogénesis es un carácter genético, pero también depende de las condiciones edafoclimáticas y de la gestión del olivar (Civantos, 1999).

En las tres variedades existe una fuerte correlación entre el índice de madurez y el contenido de aceite. Las ecuaciones que mejor describen esta relación son:

- Para la Arbequina:  $y = 1,297x^3 - 14,72x^2 + 54,55x - 48,78$ ; siendo  $R^2 = 0,953$  (figura 3).
- Para la Haouzia:  $y = -0,480x^4 + 6,358x^3 - 30,24x^2 + 61,83x - 24,72$  siendo  $R^2 = 0,987$  (figura 4).
- Para la Menara:  $y = 0,517x^5 - 8,465x^4 + 53,40x^3 - 161,8x^2 + 235,3x - 109,5$  siendo  $R^2 = 0,997$  (figura 5).

Mahhou et al. (2011) también describieron la existencia de una fuerte correlación entre el índice de madurez y el contenido de aceite en la Arbequina, la Koroneiki y la Picholine marroquí cultivadas en régimen de regadío en la región de Settat.

### 3.3.3. Evolución de los polifenoles

El control de la evolución de la concentración de compuestos fenólicos reviste un interés especial, ya que estas sustancias influyen en las características organolépticas del aceite de oliva y en su es-

Figura 3. Relación entre el índice de madurez y el contenido de aceite (% PF) de la Arbequina en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09

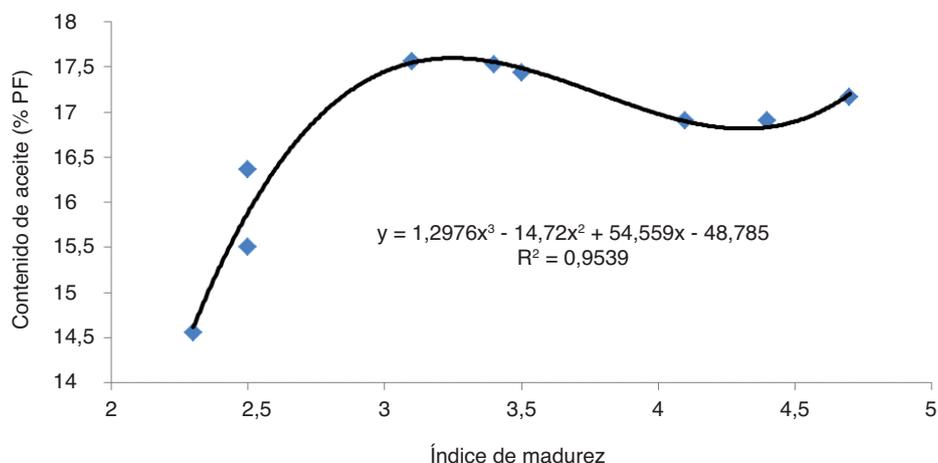


Figura 4. Relación entre el índice de madurez y el contenido de aceite (% PF) de la Haouzia en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09

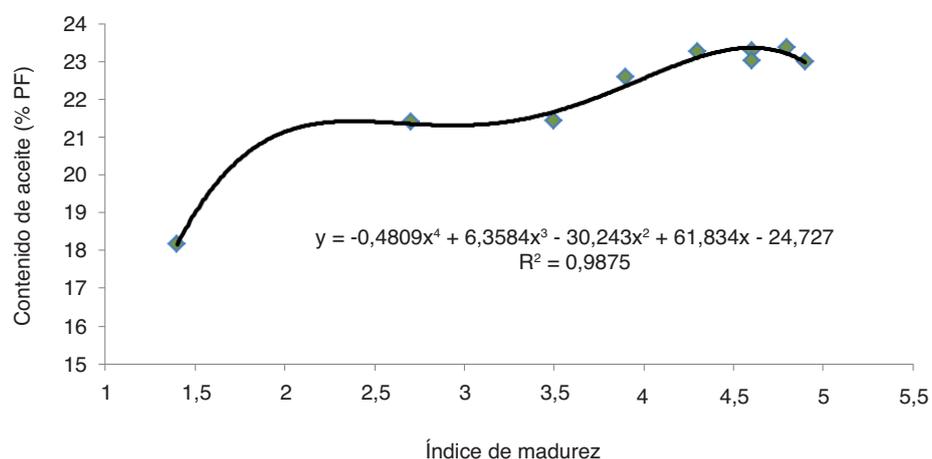
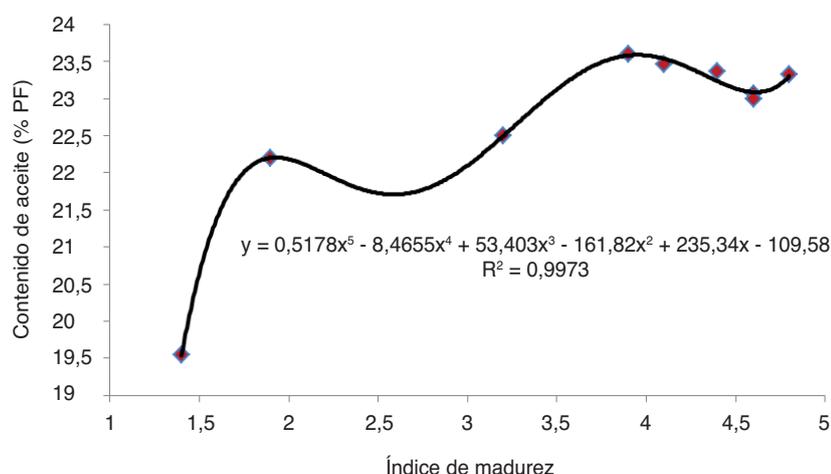


Figura 5. Relación entre el índice de madurez y el contenido de aceite (% PF) de la Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09



tabilidad oxidativa (Chimi, 1987; Chimi et al., 1991). Fantozzi y Montedero (1978) observaron que la concentración de compuestos fenólicos en la pulpa de la aceituna varía en función del nivel de pigmentación. Así, pasa de 2065 mg de ácido gálico por cada 100 g de pasta de aceituna seca en su estadio de pigmentación verde a 2285 mg en su estadio de pigmentación seminegra y, posteriormente, a 1997 mg

en su estadio de pigmentación negra. Los autores concluyen, por tanto, que el contenido de polifenoles es óptimo cuando la aceituna presenta pigmentación seminegra, y este contenido está relacionado además con los aceites de mayor calidad. La Haouzia y la Menara presentan valores de polifenoles claramente superiores a los de la Arbequina (cuadro 5 y figura 6). Durante la maduración, los polifenoles se acu-

mulan en las aceitunas hasta alcanzar unos valores máximos de 1833 ppm en la Arbequina, 2127 en la Haouzia y 2134 en la Menara. Estos valores permanecen estables durante un tiempo y posteriormente comienzan a disminuir si no se lleva a cabo la recolección de las aceitunas. La misma tendencia en el contenido de polifenoles fue registrada por Atouati (1991), quien observó un aumento de la proporción de

**CUADRO 5.**

**Índice de madurez, contenido de aceite (%) y de polifenoles (ppm) de las aceitunas de las variedades de olivo Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequinez durante la campaña 2008/09**

Variedad	Fecha de la toma de muestras	Índice de madurez	Contenido de aceite (% PF)	Polifenoles
Arbequina	22-10-2008	2,3	14,56	1731
	05-11-2008	2,5	15,50	1735
	19-11-2008	2,5	16,36	1803
	03-12-2008	3,1	<b>17,56</b>	<b>1833</b>
	12-12-2008	3,4	17,53	1828
	19-12-2008	3,5	17,44	1812
	02-01-2009	4,1	16,90	1755
	09-01-2009	4,4	16,90	1724
	16-01-2009	4,7	17,16	1722
Haouzia	22-10-2008	1,4	18,16	1833
	05-11-2008	2,7	21,40	1933
	19-11-2008	3,5	21,43	2054
	03-12-2008	3,9	22,60	2124
	12-12-2008	4,3	23,26	<b>2127</b>
	19-12-2008	4,6	<b>23,30</b>	2103
	02-01-2009	4,6	23,03	2067
	09-01-2009	4,8	23,36	2013
	16-01-2009	4,9	23,00	1987
Menara	22-10-2008	1,4	19,54	1854
	05-11-2008	1,9	22,20	1946
	19-11-2008	3,2	22,50	2123
	03-12-2008	3,9	<b>23,60</b>	2133
	12-12-2008	4,1	23,46	<b>2134</b>
	19-12-2008	4,4	23,37	2125
	02-01-2009	4,6	23,03	2112
	09-01-2009	4,6	23,00	2066
	16-01-2009	4,8	23,33	2032

compuestos fenólicos totales entre el estadio de pigmentación verde y el grado de maduración que se corresponde con la pigmentación seminegra, al que sigue una caída de dicha proporción en el estadio de pigmentación negra. Por el contrario, la tendencia relativa al contenido de aceite es la contraria, ya que las aceitunas presentan un contenido máximo de aceite en el estadio de pigmentación negra. En tres variedades estudiadas en la región de Settat en olivar en régimen de regadío, Mahhou et al. (2011) observaron que el contenido de polifenoles tiende a crecer, alcanzando un valor máximo de 1823 ppm para la Arbequina, de 2192 ppm para la Koroneiki y de 2113 ppm para la Picholine marroquí, para luego comenzar a reducirse a partir de principios de diciembre.

En este estudio, hemos determinado la relación entre el índice de madurez y el contenido de polifenoles en las aceitunas. La correlación existente entre dicho contenido y el índice de madurez es muy fuerte en las tres variedades y se describe con las siguientes ecuaciones:

- Para la Arbequina:  $y = 53,04x^3 - 621,5x^2 + 2322x - 976,8$ ; siendo  $R^2 = 0,855$  (figura 7).
- Para la Haouzia:  $y = -49,70x^3 + 436,8x^2 - 1075x + 2620$ ; siendo  $R^2 = 0,98$  (figura 8).

Figura 6. Evolución del contenido de polifenoles (en ppm) de las aceitunas de las variedades Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09

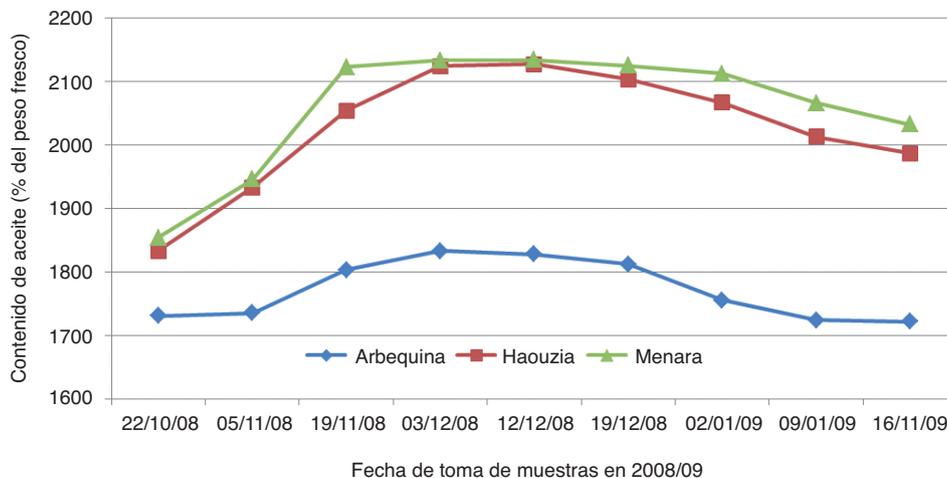


Figura 7. Relación entre el índice de madurez y el contenido de polifenoles (ppm) de la Arbequina en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09

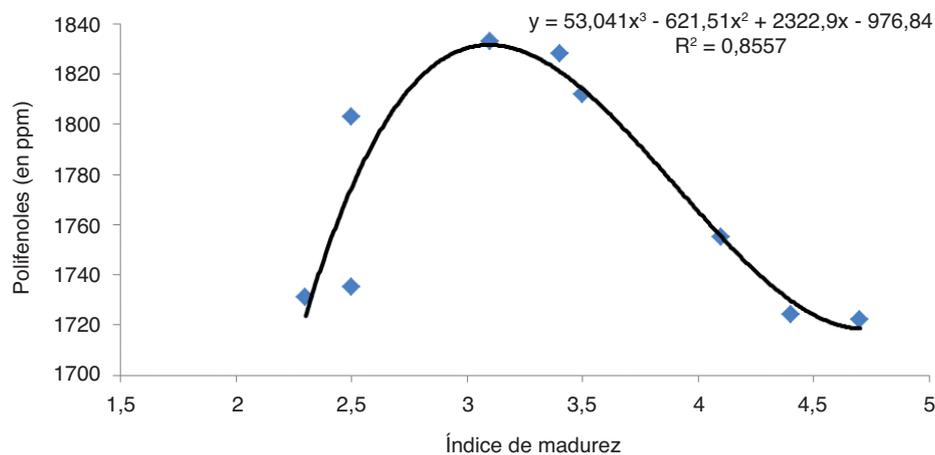
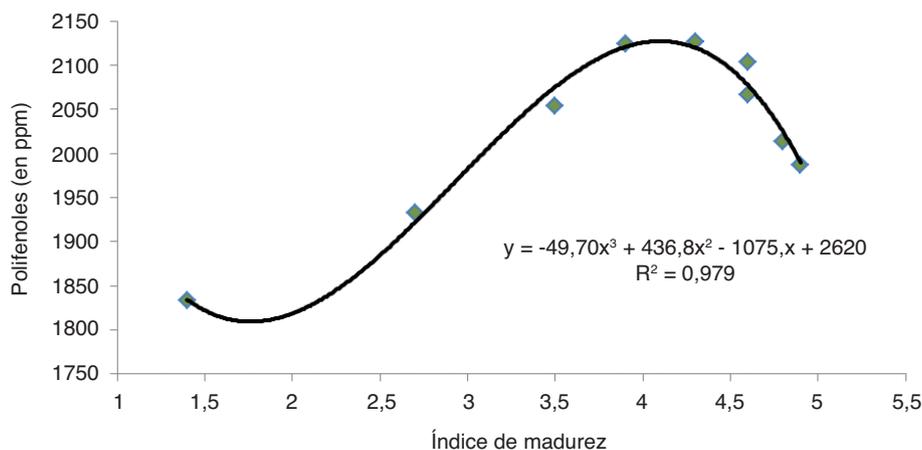


Figura 8. Relación entre el índice de madurez y el contenido de polifenoles (ppm) de la Haouzia en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante la campaña 2008/09



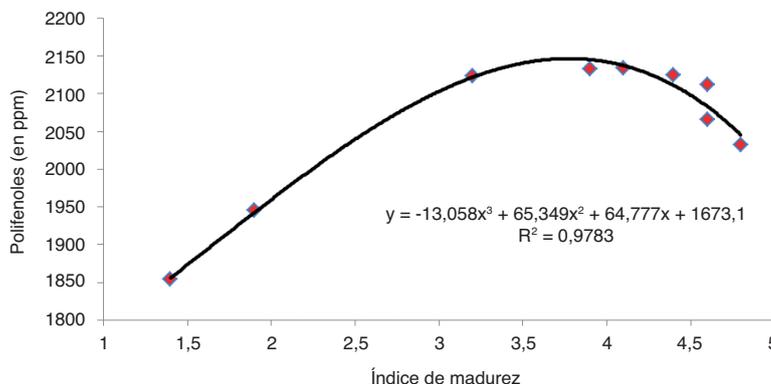
- Para la Menara:  $y = -13,05x^3 + 65,34x^2 + 64,77x + 1673$ ; siendo  $R^2 = 0,98$  (figura 9).

Mahhou et al. (2011) también describieron la existencia de una fuerte correlación entre el índice de madurez y el rendimiento graso en la Arbequina, la Koroneiki y la Picholine marroquí cultivadas en régimen de regadío en la región de Settat.

### 3.3.4. Ácidos grasos

Por lo que respecta al ácido oleico, la Haouzia y la Menara presentan valores superiores (76,4% y 76,8%) a los de la Arbequina (66,6%). Estos valores concuerdan con los registrados por El Ajal (2006) para la Haouzia (76,3%) y la Menara (76,6%). El Alami (2003) registró valores del 74,62% para la Haouzia y del 68,58% para la Menara. La proporción que hemos registrado en este estudio para la Arbequina (66,6%) es superior a los valores del 62,3% de El Antari (2006) y del 60,4% de El Antari (2003). Sin embargo, otros autores han referido niveles más elevados que el nuestro: 68,2% (Romero y Díaz, 2005), 70,8% (Ouazzani, 2005) y 74,6% (El Ajal, 2006). Cada variedad de olivo presenta un contenido en ácido oleico diferente. Romero y Díaz (2005) encontraron diferencias en este parámetro entre siete variedades, cuyos contenidos pueden ir desde el

Figura 9. Relación entre el índice de madurez y el contenido de polifenoles (ppm) de la Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequinez durante la campaña 2008/09



61,23% de la Blanqueta hasta el 78,28% de la Picual. Ouazzani (2005) observó también esta diferencia entre variedades, con un 80,24% para la Picual y un 70,85% para la Arbequina.

Por lo que respecta al ácido linoleico, la Arbequina presenta un contenido superior (13,7%) a la de la Haouzia y la Menara (en torno al 10%). Estos valores concuerdan con los registrados por El Ajal (2006) para la Haouzia (9,41%) y los registrados por Ouazzani (2005) para la Menara (10,9%). Sin embargo, El Alamy (2003) registró unos valores del 11,69% para la Haouzia y del 15,12% para la Menara. En el caso de la Arbequina, el contenido de ácido linoleico del 13,7% concuerda con el 13,98% registrado por El Antari (2006) pero supera ampliamente el 8,08% registrado por El Ajal (2006).

Estas diferencias en el contenido de ácidos grasos registradas por los distintos

autores se pueden explicar por las condiciones climáticas y de producción. La proporción de ácido oleico y linoleico aumenta en las tres variedades hasta los últimos diez días del mes de noviembre, momento a partir del cual se estabiliza.

### 3.4. Determinación del periodo de recolección óptimo

La determinación del estadio óptimo de recolección de las aceitunas destinadas a la trituración tiene por objeto identificar un estadio de madurez en el que el contenido de aceite sea elevado (cantidad) y el nivel de polifenoles sea adecuado.

El periodo de recolección óptimo debe determinarse, por tanto, en función de estos dos parámetros. El cuadro 6 resume los resultados de los criterios que permiten determinar el periodo de recolección óptimo. Las figuras 10, 11 y 12 muestran el periodo

en el que se produce la intersección entre los contenidos máximos de aceite y polifenoles y el índice de madurez. Se trata del periodo de reco-

lección óptimo de las aceitunas. Al poner en relación el índice de madurez y el contenido de aceite y polifenoles de las aceitunas (cuadro 6),

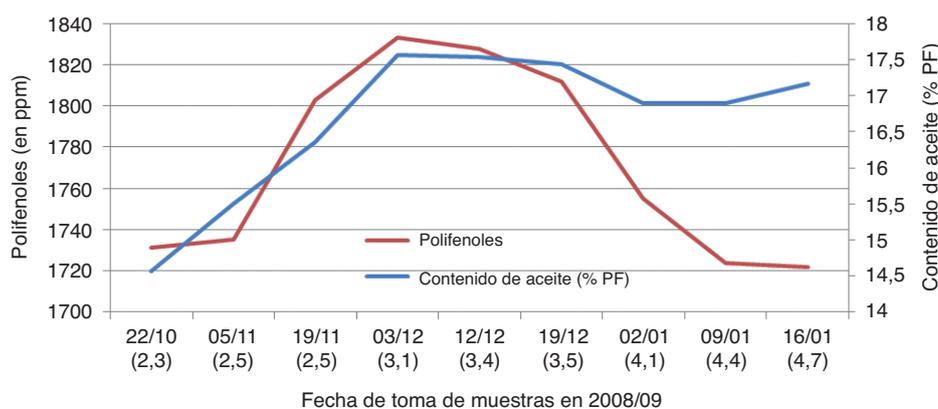
estas figuras permiten establecer cuál es el periodo de recolección óptimo de las tres variedades.

**CUADRO 6.**

**Periodos de recolección óptimos de la Haouzia, la Menara y la Arbequina en función del índice de madurez y los contenidos de aceite (% PF) y polifenoles (ppm) en régimen de secano en la región de Mequínez durante la campaña 2008/09**

Variedades	Índice de madurez	Polifenoles (ppm) (% PF)	Contenido de aceite óptimo	Periodo de recolección
Arbequina	de 3,1 a 3,5	de 1812 a 1833	de 17,44 a 17,56	Del 3 al 19 de diciembre
Haouzia	de 3,9 a 4,6	de 2067 a 2127	de 22,6 a 23,3	Del 3 de diciembre al 2 de enero
Menara	de 3,9 a 4,6	de 2112 a 2134	de 23,03 a 23,6	Del 3 de diciembre al 2 de enero

Figura 10. Evolución del contenido de aceite (% PF) y de polifenoles (ppm) en relación con el índice de madurez en la Arbequina en régimen de secano en la región de Mequínez durante la campaña 2008/09



### 3.5. Rendimientos

Los rendimientos de las variedades durante las cuatro últimas campañas se incluyen en el cuadro 7 y en la figura 13. La Arbequina ha sido la variedad más productiva este año en las condiciones del estudio, con un rendimiento de 68 kg por árbol, seguida por la Menara, con 63 kg por árbol, y la Haouzia, con 48 kg por árbol. Los rendimientos obtenidos en la Arbequina y la Menara son muy superiores a los registrados en la campaña anterior, con un aumento respectivo del 106% para la Arbequina, del 6% para la Haouzia y del 50% para la Menara. Si se tienen en cuenta las medias obtenidas durante las cuatro últimas campañas, la Menara ofrece el máximo rendimiento, con 44 kg por árbol,

Figura 11. Evolución del contenido de aceite (% PF) y de polifenoles (ppm) en relación con el índice de madurez en la Haouzia en régimen de secano en la región de Mequínez durante la campaña 2008/09

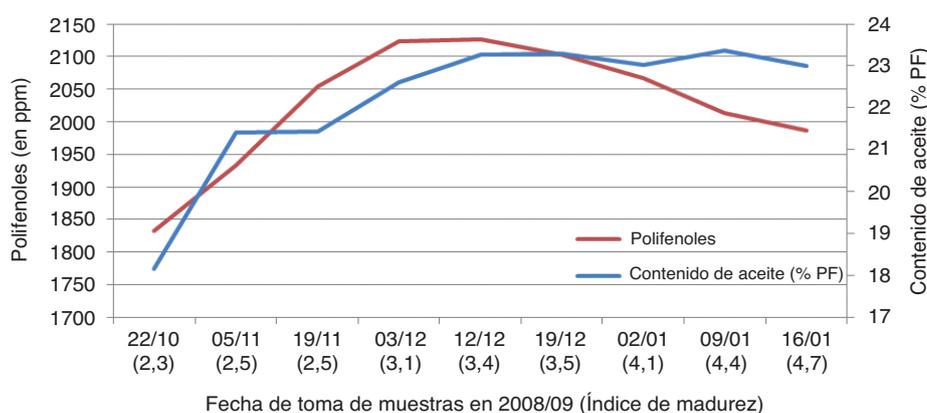
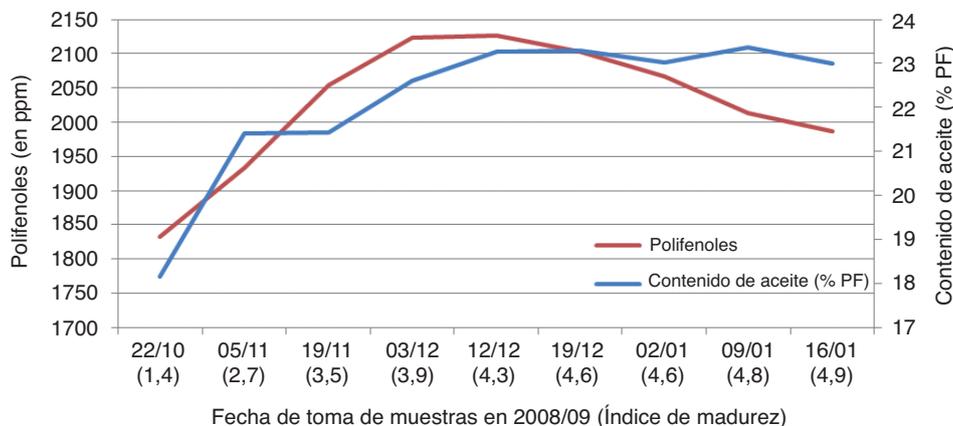


Figura 12. Evolución del contenido de aceite (% PF) y de polifenoles (ppm) en relación con el índice de madurez en la Menara en régimen de secano en la región de Mequínez durante la campaña 2008/09

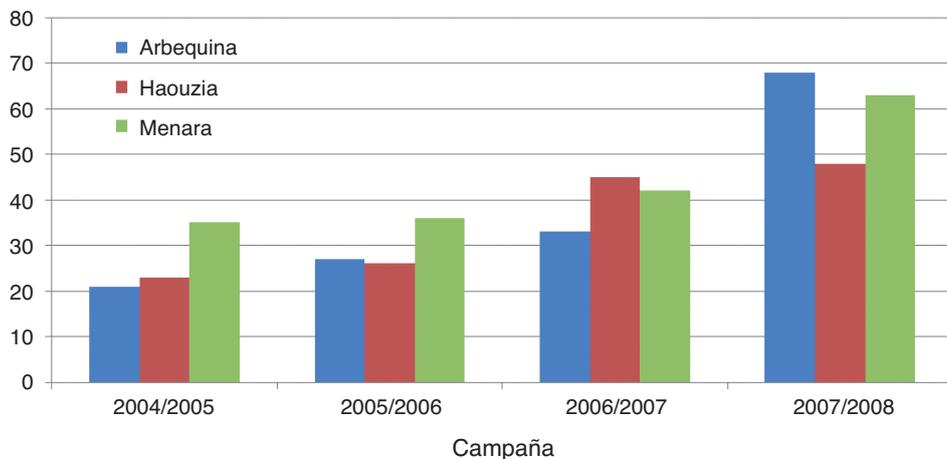


seguida por la Arbequina, con 37,25 kg por árbol, y por la Haouzia, con 35,5 kg por árbol.

## CONCLUSIÓN

En este estudio, realizado durante la campaña 2008/2009, hemos evaluado el comportamiento de dos clones de la Picholine marroquí, Haouzia y Menara, y de la variedad española Arbequina en régimen de secano en la región de Mequínez. La pluviometría media en la zona es de 500 mm, aunque en esta campaña ha sido de 700 mm. Entre primeros de octubre y mediados de enero, el índice de madurez pasó de 2,3 a 4,7 en la Arbequina, de 1,4 a 4,8 en la Haouzia y de 1,4 a 4,9 en la Menara. El contenido en agua de las aceitunas de los tres genotipos presenta tendencia a disminuir a medida que avanza la maduración. Sin embargo, las fuertes precipitaciones de este año han ocasionado un ligero aumento del índice de humedad de las aceitunas a final del ciclo. La humedad de la Menara y la Haouzia fue mayor que la de la Arbequina. En cuanto al contenido máximo de aceite respecto a la materia fresca, la variedad Menara lo alcanzó a principios de diciembre con un 23,6%, valor similar al 23,2% registrado por Rafik (2008); la Haouzia lo alcanzó a mediados de diciembre con un 23,3%, valor superior

Figura 13. Rendimiento de las variedades Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región marroquí de Mequínez durante cuatro campañas, en kg por árbol



### CUADRO 7.

Rendimiento de las variedades de olivo Arbequina, Haouzia y Menara en régimen de secano en la región de Mequínez, en kg por árbol

Variedad	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	Media
Arbequina	21	27	33	68	<b>37,25</b>
Haouzia	23	26	45	48	<b>35,5</b>
Menara	35	36	42	63	<b>44</b>

al 21,8% registrado por Rafik (2008); por último, la Arbequina lo alcanzó a partir de principios de diciembre con un 17,56%, valor muy por debajo del 25,7% registrado por Taeibi (2008) en la región de Settat en olivar en régimen de regadío y por encima del valor registrado por Rafik (2008) en el olivar del presente estudio (16,6%). El contenido máximo de polifenoles registrado para la Arbequina fue de 1833 ppm, siendo menor que en las variedades Menara y Haouzia, en las que se registraron unos valores de 2134 ppm y 2127 ppm respectivamente. En cuanto a la concentración de los dos ácidos grasos, oleico y linoleico, se han registrado porcentajes de ácido oleico superiores en los dos clones locales, con un 76,5% en la Haouzia y un 76,8% en la Menara, frente al 66,7% de la Arbequina. Sin embargo, se ha observado lo contrario en el caso del ácido linoleico, cuya proporción fue del 13,7% en la Arbequina frente a una proporción cercana al 10% en la Haouzia y la Menara.

Con los datos del contenido de aceite y polifenoles se determinó el periodo de recolección óptimo en régimen de secano en la región de Mequínez. Este año las fechas fueron las siguientes:

- Para la Arbequina: del 3 al 19 de diciembre, con unos índices de

madurez de entre el 3,1 y el 3,5.

- Para la Menara y la Haouzia: del 3 de diciembre al 2 de enero, con unos índices de madurez de entre el 3,9 y el 4,6.

Los rendimientos registrados este año fueron superiores a los de las tres campañas anteriores en el mismo olivar, con 68 kg por árbol, 48 kg por árbol y 63 kg por árbol para la Arbequina, la Haouzia y la Menara, respectivamente.

El periodo de floración de la Arbequina tuvo lugar entre el 8 y el 29 de abril. En la Menara y la Haouzia, este periodo comenzó el 15 de abril y finalizó, respectivamente, el 5 y el 8 de mayo. El solapamiento entre los periodos de floración de la Menara y la Haouzia, que son parcialmente compatibles, debería mejorar el índice de cuajado de ambos genotipos. Los índices de cuajado registrados fueron del 15% para la Arbequina, el 12% para la Menara y el 11% para la Haouzia.

Los resultados de nuestro estudio completan los de Rafik (2008) y confirman que los tres genotipos están adaptados al régimen de secano de la región de Mequínez. Sin embargo, los clones Haouzia y Menara presentan cierta superioridad, puesto que ofrecen un fruto

de mayor calibre con un mayor rendimiento graso y con un aceite de mayor calidad. ■

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atouti, B.Y., 1991. Évolution des caractéristiques carpométriques et de la fraction phénolique totale avec le stade de maturité des olives, variété Picholine Marocaine. Mémoire de 3ème cycle. Option: I. A. A. I. A. V. Hassan II, Rabat.

Boulouha B., Oukabli A., Hadiddou A., Sikaoui E., Ouguas Y. et Mamouni A., 2006a. Fiche technique olivier. Edt INRA, Rabat.

Boulouha, B. 2006. Forum Oléa. Marrakech, 25 May.

Chimi H. 1987. Dosage des composés phénoliques de l'huile d'olive vierge et comparaison avec leurs pouvoirs antioxydants respectifs, Mémoire de 3ème cycle Agronomie Option IAA, IAV Hassan II, Rabat, 1987.

Civantos L, 1999. Obtención del aceite de oliva virgen. 2ª Edición. Editorial Agrícola Española, S.A. Artes Gráficas COIMOFF, S.A., Madrid, Spain.

Conseil oléicole international, 2000 (Castañeda C. Barranco Navero D., Cimato

A., Fiorino P., Rallo Romero L., Touzani A., Serafini F. et Trujillo Navas D): Catalogue mondial des variétés d'olivier. Edition Conseil Oléicole International, 360p.

Del Río, C., J. M. Caballero et M. Dolores García-Fernández. 2005. Chapitre 2: "Variedades de olivo en España" (Libro II: Variabilidad y selección).

El Ajal A. 2006. Évaluation des performances agronomiques des variétés étrangères et locales d'olivier cultivées dans les conditions pédoclimatiques de la région de Meknès du Maroc. Mémoire de 3ème cycle, option Sciences et techniques de la production fruitières. ENA Meknès.

Elantari, A et El Moudni, A et Ajana, H et Cert, A. 2003 "Étude de la composition lipidique de deux compartiments du fruit d'olive (pulpe et amande) de six variétés d'oliviers cultivées au Maroc ", *Olivae* n° 98 pages 20-28.

EL CADI, H. et JAMAÏ, M. A., 1998, " Contribution à l'étude de l'amélioration de la qualité de la production oléicole dans la zone d'action de l'ORMVA du Tadla ", Mémoire de 3ème cycle Agronomie Option IAA, IAV Hassan II, Rabat.

El Antari, 2006 Étude de la qualité de l'huile des variétés d'olivier sélectionnées

par L'INRA-Maroc " Edition Journée Olivier la recherche agronomique et la profession, ensemble pour le développement durable de l'oléiculture nationale.

FAQIH, H. et HMAMA, M., 1999, " Contribution à l'amélioration de la qualité de production oléicole dans la zone d'action de l'ORMVA du Tadla ", Mémoire de 3ème cycle Agronomie Option IAA, IAV Hassan II, Rabat.

FONTOZZI, P. et MONTEDERO, G. 1978 " Dosage des composés phénoliques dans les drupes des olives récoltées à différents stades de maturation ". IAA, 1335-1339.

Hadiddou A., K. Bencheqroun O. Mamouni A., Oukabli A. et Mekaoui A., 2006 " Performances des obtentions INRA d'olivier et des variétés étrangères sous les conditions pluviales " Edition Journée Olivier la recherche agronomique et la profession, ensemble pour le développement durable de l'oléiculture nationale.

Harrar, 2007 Contribution à l'amélioration de la qualité de la production oléicole dans la zone d'action de la DPA de Khénifra. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Industries Agricoles et Alimentaires, IAV Hassan II, Rabat.

Idrissi, My A., 1994. Diagnostic du Secteur Oléicole au Maroc. Cas du Haouz. Mémoire de 3ème cycle. Département de Chimie-Biochimie alimentaire I. A. V. Hassan II, Rabat.

LACHIR, B. et SIDI BABA, A. 1994 « Diagnostic du secteur oléicole au Maroc, cas de la région de Fès », Mémoire de 3ème cycle Agronomie Option IAA, IAV Hassan II, Rabat.

LAMRINI, M., 1995 " Détermination de la date optimale de maturité des olives à huile (var, Picholine marocaine) ", Mémoire de 3ème cycle Agronomie Option IAA, IAV Hassan II, Rabat.

MAPM, 2012 : Bilan de la campagne oléicole, DPV, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, Rabat Maroc.

Mahhou & al. (2011) *OLIVAE* n° 116, 2011, Performance et qualité de production des variétés d'olivier Arbéquine, Koroneiki et Picholine marocaine conduites en irrigué dans la région de Settat (Maroc).

Ouazzani N., Idrissi A., El Ghazi N., Lumaret R., 2002. Varietal structure of Moroccan olive germplasm: evidence from genetic markers and morphological characteristics. *Acta Hort.* 586, 30 October, Valenzano, Italy.

Rafik, 2008, Évaluation du comportement de 11 variétés d'olivier (Carolea, Leccino, Arbéquine, Manzanilla, Agvalik, M26, K26, S19), retenues par l'INRA, en zone pluviale (Ain Taoujdate) "Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie option Horticulture. IAV Hassan II, Rabat.

Rallo Romero L., Barranco D., Caballero J. M., Del Rio C. Martin A., Tous J. et Trujillo I., 2005. Variedades de olivo en España. Eds. Junta de Andalucía, MAPA y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Romero Agustí et Joan Tous, Juan F. Hermoso, Joan Plana, 2005 Dept. d'Arboricultura Mediterrània, Centre "Mas Bové", IRTA, Reus-Constantí (Tarragona); Estación Experimental del Ebro, IRTA, Amposta (Tarragona), Espagne.

Rahmani, M.; Lamrini, M. et Csallany, S., 1997, "Mise au point d'une méthode simple pour déterminer

l'époque de récolte des olives", *Olivae* n° 69, pp 48-51.

Sweeney, S. 2005. National olive variety assessment – NOVA- Stage 2. Rural Industries Research and Development Corporation Publication No. 05/155, Project No. SAR-47A.

Suarez M. P., Fernández-Escobar R. et Rallo L., 1984. Competition among fruit in olive. II. Influence of inflorescence or fruit thinning and cross-pollination on fruit set components and crop efficiency. *Acta Horticulturae*, 149:131-143.

Taiebi, 2008 "Production et qualité d'huile de trois variétés d'olivier : Arbéquine, Koroneiki et Picholine marocaine dans la région de Settat", *Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie option Horticulture. IAV Hassan II, Rabat.*

Tous J., Romero A., Plana J., 2005. Vigor – Chapter 2, *in* Variedades de olivo en Es-

paña (Libro II: Variabilidad y selección).

Uceda M. et Frías L., 1975. Époque de recolección, evolución del contenido graso del fruto y de la composición y calidad del aceite. II seminario oleícola internacional. Córdoba.

Vázquez Roncero, A.; Janer Del Valle, C. Et Janer Del Valle, M. L., 1973, "Détermination de la teneur en polyphénols totaux dans l'huile d'olive". *Grasas y Aceites*, Vol. 24, N° 6, pp 350-357.

Vossen, P. 2005. Producing Olive Oil. *In* Olive Production Manual, 2nd edition. University of California Ag and Natural Resources publication, 157–173.

Walali, L.; Chmitah, M.; Loussert, R.; Mahhou, A. et Boulouha B., 1984, "Caractères morphologiques et physiologiques de clones d'olivier, Picholine marocaine". *Olivae* n° 3, pp 26-31.

# Diseño y manejo del olivar en seto: efecto en la producción y calidad del aceite

M. Gómez del Campo<sup>1</sup>, E. Trentacoste<sup>1,2</sup> y D. J. Connor<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia, Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria Junín (INTA), Mendoza, Argentina.

<sup>3</sup> School of Land and Environment, The University of Melbourne, Victoria, Australia.

## RESUMEN

El olivar en seto adaptado a la recolección con vendimiadora modificada, supone una alternativa viable a los olivares preparados para la recolección con vibradores de tronco. Presenta como principales ventajas: altas producciones en los primeros años, bajo coste de recolección, menor mano de obra y recolección rápida en el momento óptimo. Sin embargo, estas características sólo son posibles con estructuras óptimas, mantenidas en el tiempo. La intercepción de la radiación solar es el factor determinante de la producción de aceite, así la estructura óptima del seto deberá tender a maximizar la iluminación de la copa. Debido a que el olivar en seto es de reciente implantación, se desconoce la respuesta de la producción y calidad de aceite en setos de diferentes tamaños en distintas localidades. Las simulaciones de producción y calidad de aceite para distintos diseños serán útiles para el sector a la hora de decidir la estructura óptima. En este artículo describimos los avances realizados en este sentido y los retos que agricultores e investigadores, deberemos ir resolviendo.

**Palabras claves:** Olivar superintensivo, mecanización de recolección, estructura del seto, ancho de calle, orientación.

## SETO DE OLIVO

La copa del olivo tiene algunas particularidades que son importantes de describir antes de adentrarnos en las características del seto. Por un lado las hojas son de pequeño tamaño, elevado peso específico y persisten durante el invierno, mientras los frutos son pequeños, distribuidos por la copa, situándose principalmente en zonas bien iluminadas. Hojas y frutos se encuentran a su vez en ramas flexibles. Este conjunto de órganos vegetativos y fructíferos pueden conducirse de diversas formas, siendo el vaso y el seto los sistemas de conducción más utilizados (Figura 1). El seto es un sistema de conducción, en el que la vegetación de la copa se distribuye de forma continua a lo largo de la línea de plantación, presenta dos caras verticales o con cierta inclinación. Para conseguir un sistema continuo de vegetación es necesario reducir la distancia de los árboles en la línea. Este

sistema de cultivo no sólo supone un incremento en la densidad de plantación, sino un cambio en la geometría de la copa que afecta al microclima de las hojas, de los frutos y del suelo, modificando la radiación recibida, temperatura, viento y humedad. Esto provoca grandes cambios en la respuesta del olivo, ya que, la fisiología de los árboles aislados difiere de la fisiología de los olivos conducidos en seto.

Las dimensiones de los setos son muy diversas y depende de las condiciones de cultivo y de su manejo (Figura 2). El seto se puede conseguir con distintas densidades de plantación. Existen setos en olivares comerciales de alturas comprendidas entre 2,5 y 5 m y anchuras entre 1 y 4 m.

## SETOS PARA SER RECOLECTADOS CON VENDIMIADORA

Ha sido el elevado coste de recolección lo que ha definido las dimensiones del seto. La posibilidad de recolección con máquinas que trabajan en continuo ha supuesto, en muchos cultivos,

Figura 1. Distintos sistemas de cultivo del olivo. Olivar tradicional en vaso a baja densidad de plantación (izquierda). Olivar intensivo en vaso plantado a más del doble de la densidad del olivar tradicional (centro), con lo que se consigue incrementar la superficie foliar externa (SFE) y el volumen de copa. Olivar en seto adaptado a la recolección con vendimiadora plantado a una densidad superintensiva (derecha); su copa a pesar de ocupar menor volumen, consigue prácticamente doblar la SFE

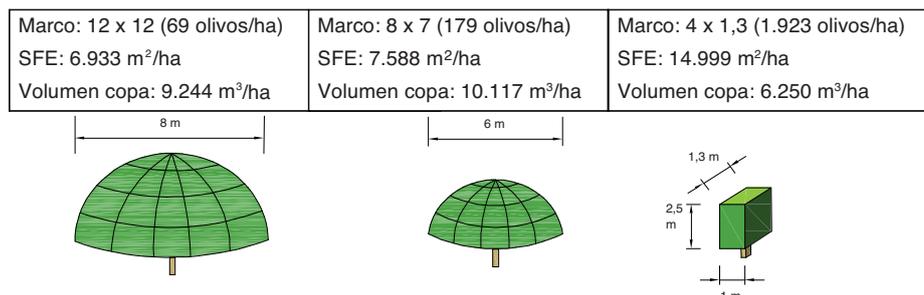
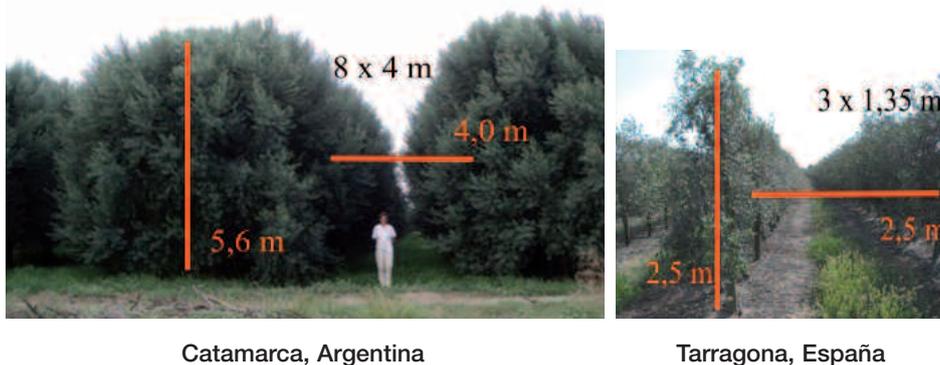


Figura 2. Setos con diferentes características geométricas de la variedad 'Arbequina'. Setos de grandes dimensiones de Argentina y Australia plantados a 8x4 m (313 olivos/ha) que fueron formados en vaso pero debido al elevado vigor, las copas se fueron entrecruzando hasta formar una pared continua (izquierda). Olivares plantados a altas densidades (1975 olivos/ha), en condiciones poco vigorosas, y conducidos en eje central, el seto alcanza menor tamaño (derecha). La línea horizontal indica la distancia entre caras de seto contiguos, la línea vertical representa la altura del seto



un importante avance en competitividad y así ha ocurrido en el olivar. Aunque Bravigieri, ya en 1961, propuso en Italia este sistema de conducción para alcanzar altas producciones, fue descartado debido a que los olivos se desarrollaron en exceso y la recolección no fue resuel-

ta (Morettini, 1972). Posteriormente, a finales de los 90, el sector productor español se lanzó a la plantación de olivares en seto adaptados a la recolección con vendimiadoras (Figura 3). Estas máquinas habían sido desarrolladas 30 años atrás en EE.UU. para la recolección

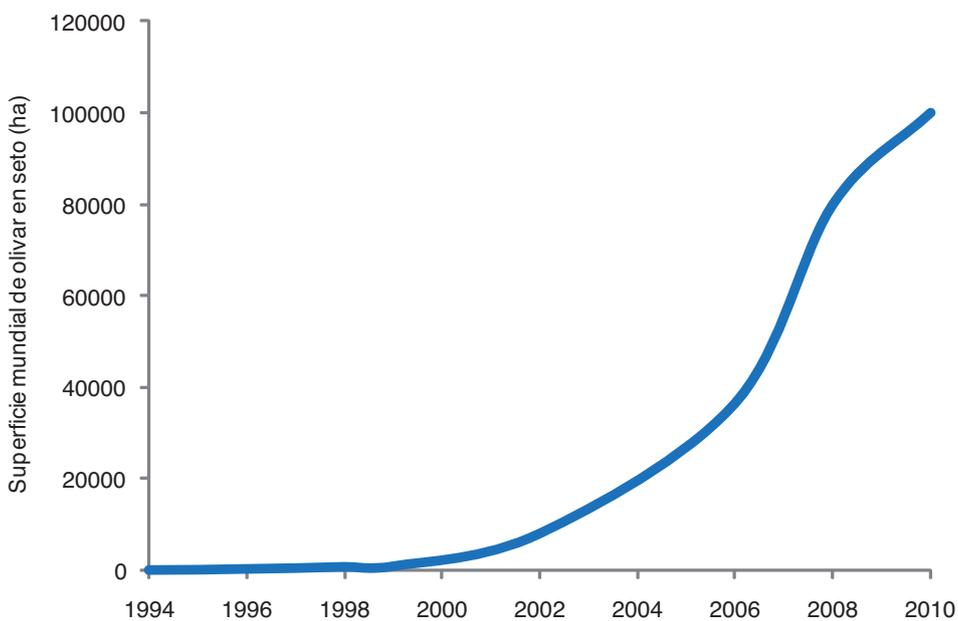
de la uva y, con pequeñas modificaciones, pueden recolectar aceituna durante los primeros años del olivar. Años después aparecieron prototipos para recolectar aceituna, son máquinas de mayor tamaño que permiten la entrada de setos más voluminosos. Desde entonces la superficie mundial de olivar en seto para la recolección con vendimiadora no ha dejado de incrementar (Figura 4). La densidad de plantación es variable. En parcelas de regadío se encuentra entre 1.250 y 1.975 olivos/ha, prácticamente 10 veces la del olivar tradicional, de ahí el nombre de olivar superintensivo. Actualmente en zonas de poca disponibilidad de agua se están distanciando las filas hasta los 5 y 6 m, manteniendo la distancia entre olivos en 1,5-2,0 m, las densidades de plantación se ven reducidas a 833 y 1.333 olivos/ha.

El olivar en seto supone una alternativa viable a los olivares intensivos en vaso (200-350 olivos/ha) preparados para la recolección con vibradores de tronco. La competitividad del olivar en seto se debe a las altas producciones que se alcanzan desde los primeros años, los bajos costes de recolección y la menor necesidad de mano de obra. Por otro lado, este sistema de plantación permite obtener un aceite de excelente calidad, ya que la aceituna puede ser recolec-

Figura 3. El olivar en seto, adaptado a la recolección con vendimiadora modificada, apareció a principios de los 90 en España. El gran logro del sector fue conseguir diseñar y manejar un olivo para ser recolectado con esta máquina, que trabaja en continuo y, que llevaba más de 30 años innovándose y mejorándose. El manejo del olivo debe permitir que la máquina trabaje rápido, dañando lo mínimo posible al árbol. Los modelos de vendimiadora actuales permiten recolectar setos de hasta 3,30 m de altura y 1 m de anchura



Figura 4. Evolución mundial del olivar en seto adaptado a la recolección con vendimiadora



tada en cualquier fecha y procede exclusivamente del árbol. Por otro lado, la alta velocidad de recolección reduce el tiempo de espera de la aceituna en la parcela antes de llegar a la almazara.

Sin embargo, el diseño y manejo del olivar en seto plantea interrogantes y retos a los agricultores e investigadores, alguno de ellos serán discutidos a continuación.

## RADIACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACEITUNA

La producción del olivo depende de la radiación interceptada y su distribución dentro del seto, sin embargo, la respuesta del olivo a la luz ha sido escasamente estudiada debido a que en olivares tradicionales la radiación no es un factor limitante. En olivares en seto que no mantienen una estructura adecuada a lo largo del tiempo se produce un descenso de la productividad (Pastor *et al.*, 2007). En las primeras experiencias con setos plantados muy próximos, se observó que las partes bajas empezaban a desvestirse y que la carga de frutos iba ascendiendo a medida que el seto iba incrementando su tamaño. En consecuencia, el diseño y manejo del seto para mantener unas características óptimas es decisivo para conseguir que el sistema de plantación sea rentable.

La Universidad Politécnica de Madrid, en colaboración con la Universidad de Melbourne (Australia), inició en 2006 los primeros trabajos en olivar en seto con el objetivo de aportar al sector herramientas para diseñar y manejar setos de dimensiones óptimas. En un primer paso hubo que diseñar una herramienta que permitiera conocer, de forma rápida, la radiación interceptada por setos de distintas características. Connor

(2006) desarrolló un modelo teórico que predecía la radiación interceptada por los diferentes estratos de un seto opaco (pared sin poros) a partir de sus características (altura, distancia entre setos y orientación), latitud de la localidad y día del año, estos últimos determinan la altura del sol y el azimut (Figura 5). Este modelo se basa en los desarrollados por Cain (1972), Jackson y Palmer (1972; 1980). Viendo que muchos de los setos adaptados a la vendimiadora son estrechos y porosos, Connor *et al.* (2009) introdujeron la porosidad en el modelo. A medida que va ascendiendo el sol y va cambiando el azimut las paredes de los setos se van iluminando desde la parte más elevada hasta la más baja. La longitud de pared de seto soleada es determinante de la iluminación del seto y

de la respuesta de la fotosíntesis. El modelo también considera el papel que juega la radiación difusa, que aunque es reducida (alrededor del 10%) comparada con la radiación horizontal incidente, es importante en días nublados. Este modelo fue validado con medidas diarias de radiación incidente en setos con orientación N-S y E-O (Connor *et al.*, 2009). El modelo primero estima los perfiles de radiación incidente en la superficie externa del seto, a partir de aquí se calcula la radiación interceptada (incidente menos la que atraviesa el seto) usando las estimaciones de porosidad del seto obtenidas a partir de fotografías del seto con fondo rojo o blanco (Figura 6).

El siguiente paso en nuestro trabajo, fue conocer

la respuesta de la producción de aceite y sus componentes a los diferentes niveles de radiación, con el objetivo de determinar los umbrales de radiación para los diferentes procesos fisiológicos implicados. Estudios previos ya señalaban la sensibilidad a la radiación de la iniciación floral, crecimiento vegetativo, cuajado, tamaño de la aceituna y contenido en aceite (Ortega-Nieto, 1945; Tombesi y Standardi, 1977; Tombesi y Cartechini, 1986; Acebedo *et al.*, 2000). Se observó que el peso seco de los frutos y el rendimiento graso incrementan de forma lineal al aumentar la radiación interceptada por el seto durante octubre, mes de máxima síntesis de aceite (Figura 7). Sin embargo, la producción depende principalmente del número de aceitunas, este componente de la producción depende de la radiación pero su respuesta es diferente para cada olivar y año. Analizando los datos de 11 olivares, la relación entre densidad de frutos y radiación presentó  $R^2=0,30$ , sin embargo cuando se establecieron relaciones individuales  $R^2$  ascendió a 0,70 (Connor *et al.* 2012).

## RADIACIÓN Y CALIDAD DEL ACEITE

La posición de la aceituna en el seto determina igualmente la calidad del aceite (Figura 8). Son pocos los da-

Figura 5. Corte perpendicular a la fila del seto. Los setos se caracterizan geoméricamente por su altura ( $d$ ), ángulo respecto a la vertical ( $s = 0$  para los setos rectangulares) y anchura en la base ( $w$ ). La altura del seto sobre el nivel del suelo ( $h$ ) se calcula sumando la altura del seto ( $d$ ) más la distancia desde el suelo hasta las primeras hojas ( $t$ ). El ancho de calle o distancia entre líneas de plantas será ( $r$ ), dando una distancia entre las caras de setos contiguos o calle libre ( $a = r - w$ ). Estos parámetros, junto con la porosidad y orientación de las filas, permiten caracterizar un seto

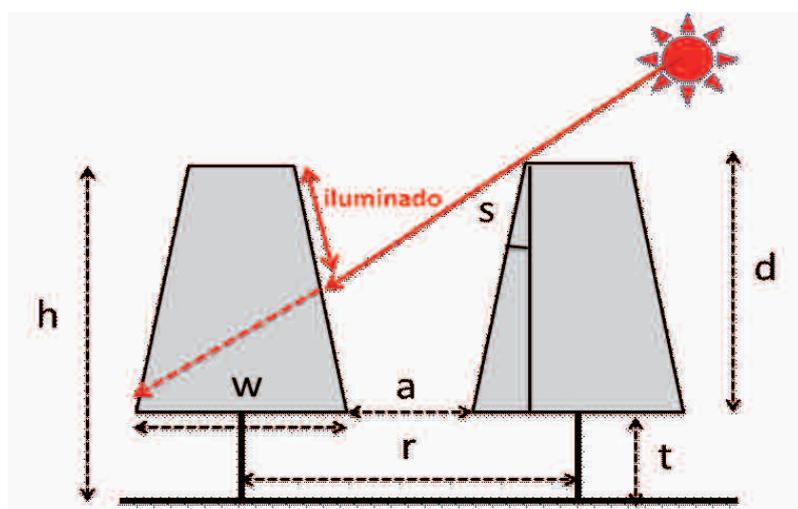


Figura 6. Efecto del ancho de la calle (1, 2 y 3 m) en 35°N en la radiación interceptada por un seto rectangular orientado N-S y E-O de 2 m de alto y 1 m de ancho. La longitud de seto iluminado depende de la distancia entre las paredes de los setos. La evolución anual difiere entre setos de características geométricas diferentes. En un N-S ambas caras reciben la misma radiación, la cara E recibe el sol de la mañana y la cara O de la tarde. En un seto E-O, la cara N (hemisferio Norte) solamente recibe radiación directa periodos cortos por la mañana y por la tarde en pleno verano

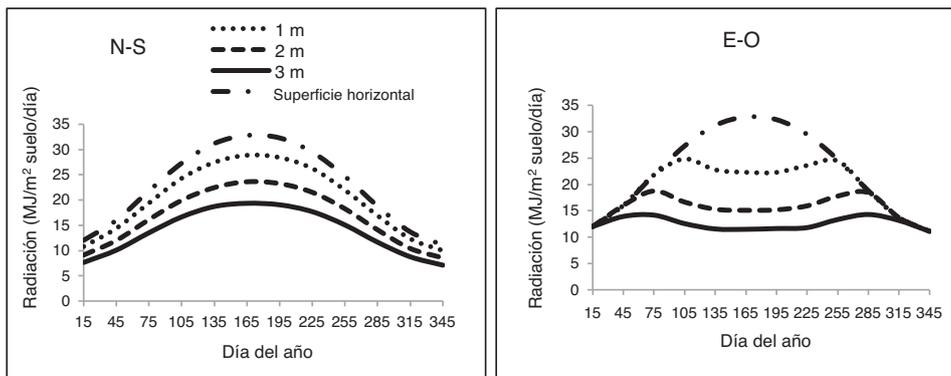


Figura 7. Relación entre los componentes del rendimiento y la radiación incidente diaria en octubre en varios olivares en seto, de la variedad ‘Arbequina’ plantados N-S (Connor *et al.*, 2012). Círculos con fondo blanco representan las partes altas del seto que reciben una radiación diaria superior a 6 MJ m<sup>-2</sup>. La densidad de frutos (izquierda) en las zonas que reciben radiación por encima de 6 MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> es horizontal =1000 frutos m<sup>-2</sup>, por debajo la densidad desciende linealmente. El peso seco (centro) y el contenido en aceite de la aceituna (% materia seca) (derecha) incrementan linealmente con la radiación incidente

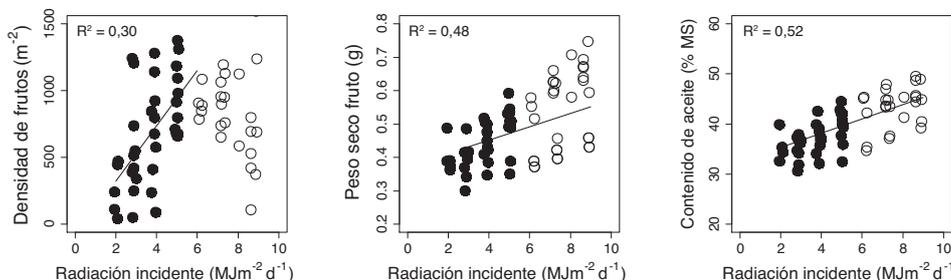
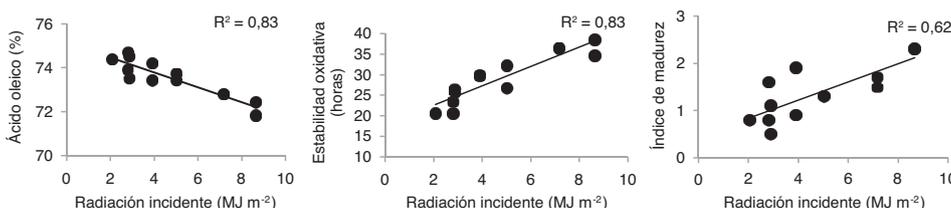


Figura 8. Relación entre las características químicas del aceite y el índice de madurez de la aceituna con la radiación incidente diaria en Octubre, en 9 olivares de la variedad ‘Arbequina’ (Gómez-del-Campo y García, 2012). La concentración de ácido oleico (arriba izquierda) disminuye con el incremento de radiación incidente, mientras la estabilidad oxidativa y el índice de madurez incrementan linealmente con el aumento de radiación incidente



tos disponibles y deben considerarse preliminares. Gómez-del-Campo y García (2012) observaron que las aceitunas de las partes altas producen aceites más estables, por el mayor contenido en polifenoles. Sin embargo, la mayor concentración de ácido oleico se encuentra en las partes bajas del seto.

### DISEÑO ÓPTIMO Y LA UTILIDAD DE LAS SIMULACIONES DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD

El diseño de la plantación y su manejo debe permitir que el seto mantenga características geométricas óptimas para alcanzar la máxima rentabilidad. Hasta ahora hemos trabajado en setos orientados N-S y por lo tanto, la iluminación en ambos lados es simétrica a lo largo del día. La máxima producción se alcanza cuando toda la pared del seto recibe niveles de radiación superiores a un valor umbral y toda la estructura del seto está rellena sin dejar huecos entre olivos ni en las partes altas ni bajas, alcanzando la máxima superficie fotosintética por longitud de seto. El modelo de radiación permite calcular la radiación interceptada por los distintos estratos y por el seto en su conjunto (Figura 5). Aplicando los modelos de producción (Figura 7) y calidad (Figura 8) a la radiación interceptada se pudo simular

la producción (Figura 9) y la calidad del aceite (Figura 10) de setos de diferentes características geométricas (Connor y Gómez-del-Campo, 2013).

Es interesante describir brevemente la información que aportan estas simulaciones. En setos N-S, la distancia óptima entre setos (ancho de calle – ancho de seto) se alcanza cuando es igual a la altura del seto (Figura 9). Setos más estrechos alcanzan producciones más altas, porque al reducir el ancho de calle se incrementa la longitud de seto por hectárea. La ilu-

minación de los setos se puede incrementar aplicando un cierto ángulo en las formas romboidales, principalmente en los setos más anchos. Las formas romboidales responden a los cambios de iluminación alcanzando producciones más elevadas, en parte, por la reducción en el ancho de calle. Al simular la respuesta de la producción a latitudes entre 30 ° y 40° se observó que la respuesta es escasa y, por tanto, no debe condicionar la distancia entre setos.

Son escasos los datos actualmente disponibles sobre

el efecto de la radiación en la calidad de la aceituna, únicamente disponibles para la variedad ‘Arbequina’ (Gómez-del-Campo y García, 2012). El aceite de esta variedad es valorado por sus cualidades organolépticas, sin embargo es sensible a la oxidación y presenta bajo contenido en oleico. Por tanto, los parámetros de calidad simulados son estabilidad oxidativa y ácido oleico (Figura 10). El contenido en ácido oleico descende en la medida que se incrementa la distancia entre setos, pero menos en setos estrechos y sombreados que en setos anchos. La estabilidad y el índice de madurez se incrementan en la medida que lo va haciendo la distancia entre setos y es mayor en setos estrechos y bajos que en setos altos y anchos.

Según las simulaciones presentadas, no hay una única solución y la máxima producción se puede alcanzar con setos de diferentes características. Sin embargo, el diseño óptimo será aquel que permita maximizar la producción con un manejo fácil y económico, sin olvidar que no siempre el seto más productivo será el más rentable. La facilidad y economía en el manejo hace referencia, principalmente, a dos cuestiones: facilitar el trabajo de maquinaria barata para las labores de cultivo (recolección, poda, tratamientos) y conseguir un seto que permita la circulación del aire para

Figura 9. Simulaciones de producción de aceite de setos rectangulares N-S en 35°N de diferente altura (2, 3 y 4 m), anchura (1 m -izquierda y 3 m - derecha), ancho de calle (2 a 8 m) (Connor y Gómez-del-Campo, 2013). Setos de 1 m de ancho (izquierda) corresponde a los setos adaptados a la recolección con vendimiadoras, mientras que los de 3 m de ancho deben ser recolectados con máquinas más voluminosas. Todos los setos alcanzan la máxima producción cuando la distancia entre caras de setos contiguos es igual a su altura. La máxima producción se alcanza con los setos más altos. Los setos más estrechos alcanzan producciones más elevadas

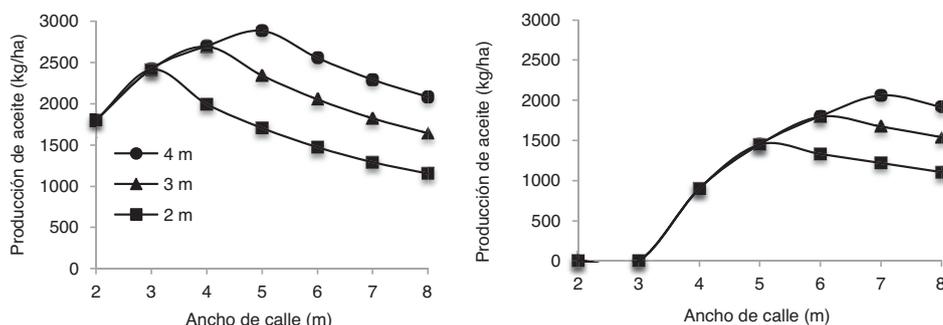
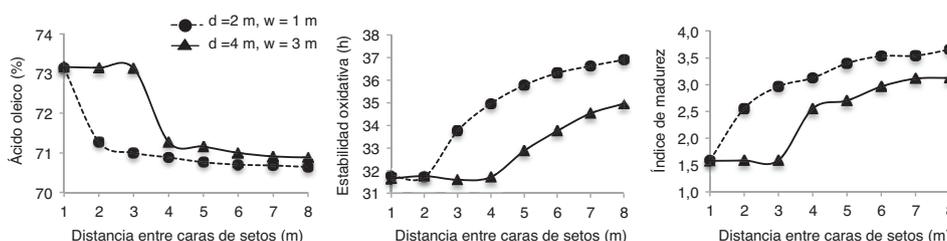


Figura 10. Efecto simulado de la distancia entre las caras de setos contiguos o calle libre (1 a 8 m) en la calidad del aceite e índice de madurez de setos rectangulares N-S en 35°N de dos alturas (d= 2 y 4 m) y anchuras (w= 1 y 3 m) (Connor y Gómez-del-Campo, 2013)



mejorar su estado sanitario. A nivel de radiación se observa que cuanto mayor sea la distancia entre setos, más altos y anchos deberán ser para interceptar la máxima radiación, sin embargo, cuanto más alto y ancho es un seto más costosa resulta la maquinaria de recolección y más se dificulta la poda. Esto parece indicar que los setos bajos y estrechos son más rentables.

### **LA ORIENTACIÓN DE LOS SETOS: UNA CUESTIÓN POR RESOLVER**

La mayoría de los setos se plantan con orientación N-S, sin embargo, hay situaciones (geometría de la parcela y pendiente del terreno) donde esto no es posible, incluso, podrían existir ventajas al modificar la iluminación del seto utilizando otras orientaciones. Por eso cabe preguntarnos cuál es el efecto de la orientación del seto sobre la productividad y calidad de aceite.

La orientación de los setos definirá en gran medida la cantidad y distribución de la radiación y su efecto en los distintos procesos fisiológicos del olivo. En la Figura 6 se presenta la evolución de la radiación interceptada por setos orientados N-S y E-O. La orientación N-S expone al cultivo a altos niveles de radiación durante el verano,

mientras que setos orientados de E-O, interceptan mayor radiación al inicio de primavera y durante el otoño, coincidiendo con el periodo de síntesis y acumulación de aceite en aceitunas.

Las mayores diferencias generadas por la orientación del seto radican en la distribución de radiación entre ambas caras del seto. En la orientación N-S, ambas caras reciben similar radiación a lo largo del día, la cara E es iluminada durante la primera mitad del día, mientras la cara O es iluminada después del mediodía. En setos E-O, la cara S (en hemisferio Norte) queda expuesta a la radiación solar durante la mayor parte del día, mientras la cara N permanece sombreada, excepto en verano durante cortos periodos de la mañana y de la tarde. En consecuencia la cara N es dependiente de la radiación difusa (radiación con menor energía) desde el cielo, la radiación reflejada desde la fila contigua y la transmitida desde la cara soleada. Estas relaciones son alteradas por la presencia de poros o espacios libres sin hojas en la pared del seto, que permiten que los rayos solares la traviesen alcanzando la otra cara del seto. La presencia de poros en el seto presenta mayor efecto en la orientación E-O, y permiten que los periodos de mayor radiación interceptada (invierno-primavera y otoño) coincidan con los mayores

ángulos de los rayos solares, elevando así la radiación transmitida desde la cara S hacia la cara N. En los setos orientados N-S, la radiación que atraviesa la cara E y llega a la O, durante la mañana, es compensada con radiación en sentido contrario durante la tarde.

Es escasa la información disponible en olivo sobre el efecto de la orientación de los setos. En otros frutales (manzano, pera y vid), se ha observado un incremento de la producción en el rango del 15-25% de N-S frente a E-O (Khemira *et al.*, 1993), sin embargo, la mayor productividad de N-S no puede generalizarse por ser dependiente del ciclo fenológico de cultivo, características estructurales del seto y latitud del lugar. El objetivo será lograr coincidir alta iluminación del seto durante las fases críticas para la determinación de la producción y calidad.

La disposición de las filas modifica otros factores directamente relacionados a la radiación solar, como la temperatura. Numerosos procesos biológicos involucrados en el crecimiento, desarrollo y calidad de los frutos dependen de su temperatura. La diferencia entre la temperatura del fruto y el ambiente incrementará en condiciones de mayor radiación incidente y menor velocidad de viento. Las diferencias en radiación y temperatura generadas por

la orientación del seto pueden afectar a la composición química de los aceites. Recientemente, Gómez-del-Campo y García (2012), trabajando con setos variedad 'Arbequina' orientados N-S y E-O, observaron que el aceite de los frutos que crecen en la cara E (seto N-S) y cara N (seto E-O) presenta mayor contenido de ácido oleico, menor contenido de ácido palmítico y linoleico que el aceite extraído de la cara opuesta. Por otro lado, independientemente de la posición de los frutos en el seto, el aceite de setos N-S mostró mayor contenido de compuestos fenólicos (i.e. antio-

xidantes) que setos E-O. En relación a la calidad del aceite, resulta fundamental determinar el momento oportuno para cosechar, y que el estado de maduración sea uniforme. La orientación del seto modificó el índice de madurez, frutos en setos E-O anticiparon su madurez frente a setos N-S, asociado a la mayor radiación incidente durante el otoño sobre la cara S de los setos E-O. Sin embargo, debe considerarse que en setos E-O poco porosos se genera mayores diferencias en la radiación recibida entre las caras S y N, por lo tanto mayor heterogeneidad en el estado de maduración.

Seleccionar adecuadamente la orientación del seto es más importante en ambientes limitados por radiación (setos estrechos, nubosidad elevada). Los trabajos mencionados sólo han utilizado las orientaciones extremas (N-S y E-O), pero obviamente existen orientaciones intermedias que deben ser estudiadas no sólo para conocer su impacto sobre la producción y calidad, sino también sobre la demanda hídrica, daño por bajas temperaturas y manejo de malas hierbas. Los datos que aporten ensayos ya establecidos (Figura 11) permitirán esclarecer estas cuestiones.

Figura 11. Parcela experimental plantada en el año 2008 en la Puebla de Montalbán (Toledo) de la variedad 'Arbequina' en cuatro orientaciones (N-S, E-O, las intermedias NE-SO y NO-SE), gracias a la ayuda de varias empresas. La Universidad de Córdoba y la empresa Todolivo (Córdoba) establecieron posteriormente ensayos similares



## RETOS

La plantación en seto para recolección con vendimiadora presenta algunas limitaciones: inversión inicial ele-

vada, pendiente moderada de la parcela y necesidad de disponer de suficiente aporte hídrico (ya sea lluvia o agua de riego). Otra cuestión importante por resolver es la redu-

cida gama de variedades adaptadas a este sistema. Las características deseables de una variedad para cultivo en seto son: rápida entrada en producción, producciones re-

gulares, elevadas y de alta calidad y reducido vigor. Pocas variedades cumplen estas premisas. Actualmente en olivar superintensivo se está plantando 'Arbequina', y en menor cantidad 'Arbosana' y 'Koroneiki'. La plantación de gran superficie con una única variedad supone un problema en el control de la recolección y molienda. Por otro lado, en explotaciones de pequeño tamaño no es un sistema viable, si no se da la circunstancia de que olivares cercanos recolecten con la misma máquina.

Actualmente nos encontramos ante dos grandes retos: determinar la estructura óptima y mantenerla. Respecto al diseño óptimo del seto, es necesario determinar los umbrales de radiación para la producción de aceite. La radiación permite explicar algunos componentes del rendimiento (tamaño de aceituna y rendimiento graso) sin embargo, el número de aceitunas no se explica exclusivamente con niveles de radiación, otros factores, como temperatura, pueden estar incidiendo. Por otro lado, es necesario conocer la respuesta a la radiación de la producción y calidad del aceite en diversas variedades, ya que los datos obtenidos hasta la fecha provienen, en su mayoría, de setos de 'Arbequina'. Se dispone de poca información de setos orientados E-O, y los datos indican que la respuesta a la radiación y, previ-

siblemente, a la temperatura de los setos orientados E-O difieren de N-S.

Respecto al mantenimiento de la estructura del seto, es importante diseñarlo correctamente, en función no sólo de las dimensiones de las máquinas de cosecha disponibles, sino conociendo adecuadamente las condiciones ambientales, edáficas y de cultivo que determina el crecimiento potencial del olivo en el lugar. En regiones donde el cultivo exprese escaso crecimiento será posible utilizar estructuras de setos bajos y estrechos, adaptados a máquinas de menores dimensiones, mientras regiones que favorezcan un alto vigor de las plantas, las dimensiones del seto óptimos deberán ser mayores, y habrá que asegurar, con el manejo, la adecuada iluminación de toda la copa. El crecimiento vegetativo puede ser controlado manejando adecuadamente el riego y los nutrientes y, en último caso, con la poda. Los resultados del trabajo de varios grupos de investigación sobre riego deficitario en olivar en seto, aportará información para utilizar esta estrategia y reducir el vigor.

Pero el gran desafío lo encontramos en el olivar de aceituna de mesa. El sector ha iniciado algunas experiencias de olivar en seto. Los retos que se plantean son mayores que en el olivar de almazara, ya que además de

alcanzar altas producciones, las aceitunas deben tener suficiente calibre y llegar intactas a la planta de aderezo.

## AGRADECIMIENTOS

Estos trabajos se han podido realizar gracias a las empresas que han permitido el acceso a sus parcelas: Casas de Hualdo (La Puebla de Montalbán, Toledo), Jacinto Cabetas (Carpio de Tajo, Toledo), Antonio Capitán (Écija, Sevilla), Todolivo (Pedro Abad, Córdoba), y todas las personas que participaron en la recolección por alturas y caras de estos setos y la posterior preparación de las muestras de aceitunas y extracción del aceite (Ana Centeno, Ángela Rodríguez, Beatriz Somoza, Enrique Vivas, Mercedes Ortí, Ignacio Sanjuan, Felipe Oliva). Pudimos cuantificar el contenido en aceite de las muestras de aceituna gracias a que Diego Barranco puso a nuestra disposición el equipo de RMN de la Universidad de Córdoba. Eduardo Trentacoste está realizando la tesis doctoral en la UPM gracias al programa ERASMUS MUNDUS de la UE. Parte de estos trabajos fueron financiados por la UPM y la Comunidad de Madrid (Project M0800204112). El ensayo de orientaciones, establecido en la Puebla de Montalbán (Toledo), fue financiado por las empresas Casas de Hualdo, Todolivo, Regaber y Agromillora. ■

**Este trabajo ha sido previamente publicado en la Revista de Fruticultura nº 24.**

## REFERENCIAS

Acebedo M.M., Cañete M.L., Cuevas J. 2000. Processes affecting fruit distribution and its quality in the canopy of olive trees. *Adv. Hort. Sci.* 14: 169-175.

Cain J.C. 1972. Hedgerow orchard design for most efficient interception of solar radiation. Effects of tree size, shape, spacing, and row direction. *Search Agric.* 2:1-14.

Connor D.J. 2006. Towards optimal designs for hedgerow olive orchards. *Aust. J. Agric. Res.* 57:1067-1072.

Connor D.J., Centeno A., Gómez-del-Campo M. 2009. Yield determination in olive hedgerow orchards. II. Analysis of radiation and fruiting profiles. *Crop Pasture Sci.* 60:443-452.

Connor D.J., Gómez-del-Campo M., Comas J. 2012. Yield characteristics of N-S

oriented olive hedgerow orchards, cv. Arbequina. *Sci. Hort.* 133: 31-36.

Connor D.J., Gómez-del-Campo M. 2013. Simulation of oil productivity and quality of N-S oriented olive hedgerow orchards in response to structure and interception of radiation. *Sci. Hort.* 150:92-99.

Gómez-del-Campo M., García J.M. 2012. Canopy fruit location can affect olive oil quality in 'Arbequina' hedgerow orchards. *J. Amer. Oil Chemists* 89:123-133.

Jackson J.E., Palmer J.W. 1972. Interception of light by model hedgerow orchards in relation to latitude, time of year and hedgerow configuration and orientation. *J. Applied Ecol.* 9:341-357.

Jackson J.E., Palmer J.W. 1980. A computer model study of light interception by orchards in relation to mechanized harvesting and management. *Sci. Hort.* 13:1-7.

Khemira H., Lombard P.B., Sugar D., Azarenko A.N. 1993. Hedgerow orientation affects canopy exposure, flowering, and fruiting

of Anjou pear trees. *HortScience* 28: 984-987.

Morettini A. 1972. *Olivicoltura*. Ramo Editoriale Degli Agricoltori. Roma. Italia.

Ortega-Nieto J.M. 1945. *Poda del Olivo, con aplicaciones especiales a la zona de Ubeda y 'El Condado' (Jaén)*. Editora El Olivo, S.S.L. Jaén. España.

Pastor M., García-Villa M., Soriano M.A., Vega V., Fereres E. 2007. Productivity of olive orchards in response to tree density. *J. Hort. Sci. Biotechnology* 82: 555-562.

Tombesi A., Standardi A. 1979. Influenza della defogliazione, della eliminazione dei frutti e della decorticazione anulare sulla differenziazione delle gemme a fiore nell'olivo. *Annali della Facoltà di Agraria di Perugia* 33: 407-421.

Tombesi A., Cartechini A. 1986. L'effetto dell'ombreggiamento della chioma sulla differenziazione delle gemme a fiore dell'olivo. *Riv. Ortoflorofrutticoltura Italiana* 70: 277-285.

# Potencial antioxidante de extractos de madera de poda de olivos, cv. Arbequina, procedentes de Catamarca. Argentina

C. Salim Rosales, P. Gómez, E. Gómez, N. Rodríguez y M. Bravo

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca. [analitica@caunca@gmail.com](mailto:analitica@caunca@gmail.com)

## RESUMEN

Argentina posee alrededor de 105.000 ha de cultivo de olivo, en su mayor parte bajo un sistema de producción intensivo en el que la poda resulta una práctica de manejo habitual. Sin embargo, poco se conoce sobre la potencialidad de la madera proveniente de los restos de poda de olivos, como fuente de antioxidantes naturales. En el presente trabajo se pretenden valorar las propiedades antioxidantes de extractos de madera de Arbequina, procedentes del Valle Central de Catamarca (Argentina), por ser la variedad y la provincia con mayor superficie implantada en el país. Se trabajó con extractos etanólicos al 50% y en acetato de etilo. Se evaluó el contenido polifenólico de los extractos, su capacidad antirradicalaria frente al radical libre (RL) DPPH y la actividad antioxidante de los mismos, a través de su aplicación sobre aceite de oliva virgen, sometido a oxidación durante 5 días a 80 °C. El seguimiento del avance del proceso oxidativo de los aceites bajo tratamiento y los aceites testigos se realizó a través de la determinación de polifenoles totales, índice

de peróxidos, absorbancias al ultravioleta ( $K_{232}$  y  $K_{270}$ ), acidez libre y perfil ácido. Los resultados muestran que el etanol acuoso exhibe mayor poder extractivo que el acetato de etilo, lo que pone en evidencia la polaridad de los principios activos extraídos. Por otra parte, a las concentraciones de extracto ensayadas (100, 300 y 600 ppm), los de mayor concentración presentan un potencial de inhibición (PI) de radicales libres DPPH superior al 90%, a los 15 minutos de producida la mezcla del extracto con el radical libre. Los extractos aplicados sobre aceite de oliva virgen, a temperatura ambiente, ejercen un leve efecto protector, pero carecen de actividad antioxidante una vez sometidos a condiciones de oxidación forzada. Se recomienda aplicar los extractos a otros sistemas que permitan una mejor distribución interfacial de los fenoles adicionados, favoreciendo los mecanismos de protección antioxidante. En vista del creciente interés por el uso de antioxidantes de origen natural, estos extractos, o sus derivados, pueden convertirse en una alternativa válida de mercado para el sector olivarero.

**Palabras clave:** Olea europaea L.; madera; extractos; antioxidantes; polifenoles totales; DPPH.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la superficie implantada con olivos en Argentina ronda las 105.000 hectáreas, siendo el primer productor y exportador de aceite de oliva y aceitunas de mesa de América (Federación Olívicola Argentina, 2011). Las principales provincias productoras son, en orden de superficie plantada, Catamarca, La Rioja, Mendoza, San Juan, Córdoba y Buenos Aires (Federación Olívicola Argentina, 2011; Peter Searles *et al*, 2011). La actividad olívicola es una de las principales actividades económicas de los valles áridos de las regiones de Cuyo y del NOA.

Catamarca ha tenido una expansión importante en hectáreas de cultivo a partir de la década del 90, debido a políticas de beneficios fiscales (Ley N° 22.021) y a condiciones favorables del mercado exterior. Estas situaciones dieron lugar a la radicación de numerosas empresas con plantaciones de olivo en sistemas intensivos y

de alta tecnología. Hoy Catamarca cuenta con 24.500 hectáreas de cultivo (Searles et al, 2011), distribuidas en las regiones del Valle Central (Capayán y Valle Viejo), el Bolson de Pipanaco (Pomán) y las zonas de altura (Tinogasta). Aproximadamente el 80% de las variedades cultivadas son aceiteras, entre las que se destacan Arbequina, Frantoio, Barnea y Coratina. El 20% restante corresponde a las de doble propósito, como la Manzanilla (Matías et al, 2012). La variedad Arbequina toma relevancia en la provincia por el elevado porcentaje de superficie implantada, posicionando a Catamarca como el principal centro de producción de este aceite fuera de Cataluña (Andrada et al, 2008).

La industria aceitera de Catamarca destina el 90% a mercado externo y el 10% a mercado interno. En el caso de la aceituna, el 70% del volumen procesado por la industria tiene como destino el mercado externo y el 30% el mercado interno, tales como supermercados, mayoristas y minoristas (Cáceres et al, 2009). Los principales compradores del aceite son EE.UU. y Brasil (Cáceres et al, 2009), mientras que esta situación se revierte para las aceitunas de mesa, donde el principal comprador es Brasil y en segundo lugar EE.UU. (Cáceres et al, 2009). Sin embargo, la delicada situación que está atravesando actual-

mente la economía europea, afectó la rentabilidad del sector olivícola argentino debido a que, para paliar la crisis, los países tradicionalmente olivareros, compiten por conquistar los actuales mercados de venta argentinos (Pallares, 2012). Ante esta situación se hace necesaria la búsqueda de nuevos fragmentos de mercado, no solo del aceite sino también de los subproductos de la producción olivícola. Entre las alternativas factibles, una opción innovadora podría llegar a ser la obtención de antioxidantes presentes en los residuos de esta industria (Gómez et al, 2008), particularmente aquellos obtenidos de la poda del olivo, biomasa actualmente sin aprovechamiento y con perspectiva de seguir aumentando en el tiempo debido a que es una práctica agrícola habitual y necesaria para este tipo de cultivo, sobre todo en un manejo intensivo (Iñiguez Monterde et al., 1999).

Se define como antioxidante a toda sustancia que, hallándose presente a bajas concentraciones con respecto a las de un sustrato oxidable (moléculas orgánicas o inorgánicas), retarda o previene la oxidación del mismo (Venero Gutiérrez, 2002). Es comúnmente aceptado que los compuestos polifenólicos (CPF) son antioxidantes multifuncionales. Los CPF constituyen un grupo complejo de metabolitos secundarios biosintetizados por el reino vege-

tal (Wood et al, 2001) que actúan como fitoalexinas, protegiendo a las plantas frente a estrés provocado por el ambiente o plagas (Pelayo Villarejo, 2006; Rugna et al, 2007). En cada una de las situaciones de estrés, existe un comportamiento metabólico diferente que condiciona la producción y la variabilidad de estos metabolitos (Harbone, 1994), es así que, individuos de una misma especie que crecen en diferentes medios, tienen variaciones en la síntesis de sus compuestos fenólicos (Matsuki, 1996). Uno de los factores más importantes que determina la actividad antioxidante de los polifenoles es su grado de hidroxilación y la posición de los grupos hidroxilo en la molécula (Oliveras López, 2005); aquellos que contienen una estructura ortodihidroxifenólica poseen mayor actividad antioxidante (De la Torre Carbot, 2007).

El olivo, al igual que otras plantas aumenta la producción de compuestos polifenólicos como respuesta a factores ambientales (Halls, 2003). Los compuestos fenólicos de extractos de diferentes partes de la planta de olivo (hojas, frutos, flores, corteza) han sido utilizados en el pasado en medicina popular y actualmente existen antecedentes acerca de la elevada actividad antioxidante de infusiones de las hojas de este árbol (Romani, 1999), esta característica condujo a la comercialización de los

extractos de hoja de olivo, debido a la gran utilidad en fitoterapia, cosmética y las industrias farmacológicas y de la alimentación.

Por otra parte, cada día se conoce más acerca de los beneficios del empleo de antioxidantes naturales en la salud humana e industria y la desventaja de los antioxidantes sintéticos por ser volátiles y potenciales cancerígenos (Venero Gutiérrez, 2002; Dwyer, 1996), por lo que se hace necesario explorar nuevas fuentes naturales de metabolitos con actividad antioxidante. En éste sentido, la madera de olivo procedente de la poda puede ser una opción válida, sin embargo en la actualidad, apenas existen antecedentes sobre la composición fenólica en la madera de esta especie, existiendo trabajos puntuales sobre lignanos y glucósidos aislados de la corteza de diferentes especies del género *Olea* (Chiba, 1979; Tsukamoto, 1985), la determinación de ácido clorogénico por cromatografía en capa fina (Ozkaya, 1999) y sobre la fracción volátil de la madera y la potencialidad de los residuos leñosos procedentes de la poda del olivar como nueva fuente de antioxidantes naturales (Altarejos, 1997; Pérez-Bonilla, 2003).

A nivel local, estudios llevados a cabo por el presente equipo de investigación, evidencian la presencia de polifenoles con propiedades antioxi-

xidantes en el alperujo proveniente de la industrialización para aceite de aceitunas de Arbequina y Coratina, (Gómez *et al*, 2007) y en hojas de olivos de Arbequina (Gómez *et al*, 2008) y Coratina (Reales *et al*, 2010), cultivados en el Valle Central de Catamarca. La presente investigación pretende avanzar en esta línea sobre el estudio de las potencialidades de la madera proveniente de la poda del olivo como fuente natural de antioxidantes, contribuyendo con información de base para dar inicio a probables aplicaciones de un residuo completamente renovable, pero aún subestimado, de la industria olivícola.

## OBJETIVOS

Valorar la potencialidad de la madera proveniente de la poda de olivos de la variedad Arbequina, cultivados en el Valle Central de la Provincia de Catamarca, como fuente de antioxidantes naturales a partir de la determinación del contenido en polifenoles totales y ortodifenoles, la capacidad antirradicalaria y la actividad antioxidante de extractos de este residuo vegetal en solventes de diferente polaridad.

## METODOLOGÍA

### Muestreo

Se trabajó con residuos originarios de la poda de oli-

vo (*Olea europaea* L.), cultivar Arbequina, procedentes de Agrofresco S.A, empresa ubicada en la localidad Las Esquinas, departamento Valle Viejo, Catamarca, Argentina. La toma de muestras se efectuó en Agosto 2007, mediante muestreo aleatorio simple. Por medio de sorteo se escogieron 20 plantas, de las cuales se recogieron los restos de poda. Las ramas de olivo fueron trasladadas al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCa) y allí se sometieron a limpieza, secado en estufa durante 48 horas a una temperatura de 40 °C, deshojado y molienda de la madera. Las muestras se almacenaron en recipientes perfectamente identificados.

### Preparación de los extractos, contenido polifenólico, o-difenoles y sólidos totales

Se prepararon, por quintuplicado, extractos de madera de olivo en etanol acuoso al 50% (ME) y en acetato de etilo (MAc), utilizando una relación 1:10 p/v, y se dejaron macerar en vasos de precipitado, recubiertos con film y papel de aluminio, a temperatura ambiente, durante 24 hs. Posteriormente se filtró al vacío y al residuo remanente se le adicionaron 50 ml de solvente fresco. El proceso se repitió estimando

48 h de maceración. Los extractos obtenidos de la primera y segunda maceración se combinaron y el volumen final de cada extracto se dividió en dos alícuotas de 50 ml, medidos en matraz aforado. Una de las alícuotas se destinó para la cuantificación de polifenoles totales (PFT) y ortodifenoles (ODF), la otra se utilizó para determinar la cantidad de sólidos totales (ST). Las muestras se almacenaron en recipientes ámbar para mayor protección contra la luz a 5-10 °C. El procedimiento se repitió para la obtención de los extractos con acetato de etilo.

El contenido polifenólico se evaluó a través del método de Folin-Ciocalteu, por espectrofotometría de absorción a  $\lambda = 725$  nm. Se calculó mediante la fórmula (1). Asimismo, se midió el contenido ortodifenólico con molibdato de sodio al 5% en etanol acuoso al 50%, a  $\lambda = 370$  nm. Se calculó mediante (2). En ambas determinaciones se empleó ácido cafeico como patrón.

$$\text{ppm PFT} = L \times \text{VD} \times \frac{\text{VT}}{(\text{VA} \times \text{MM})} \quad (1)$$

$$\text{ppm ODF} = L \times \text{VD} \times \frac{\text{VT}}{(\text{VA} \times \text{MM})} \quad (2)$$

Donde: L: Lectura de la curva en ppm. VD: Volumen de dilución; VT: Volumen total de extracto; VA: Volumen de la alícuota; MM: Masa de la muestra.

El contenido en sólidos totales se valoró por el método de evaporación a 105 °C, hasta sequedad, y posteriores pesadas hasta alcanzar peso constante.

Para cada determinación se realizó un análisis descriptivo de los datos, efectuados a través de los valores de las medianas. Mientras que en el análisis estadístico inferencial, se utilizó el análisis de varianza no paramétrico, calculando las diferencias significativas de los rangos medios con la prueba de Kruskal Wallis, considerándose significativos los valores de  $p < 0.05$ . El software estadístico empleado fue el InfoStat versión 1.1, 2002.

### Determinación de la capacidad de captura del radical 2,2-difenil-1-picril-hidracilo (DPPH)

Por dilución de los extractos ME y MAC se prepararon soluciones de 100, 300 y 600 ppm en extracto.

A partir de una solución stock de DPPH, se preparó una solución de  $7,4 \times 10^{-5}$  M (Pérez Bonilla *et al*, 2003) en metanol grado analítico. Se evaluó, por quintuplicado, la capacidad antirradicalaria de las diferentes soluciones de extracto por el ensayo con el RL 2,2-difenil-1-picril-hidracilo (DPPH) (Brad Williams *et al*, 1995; Gadow *et al*, 1997) utilizando una relación

estequiométrica de extracto:DPPH = 1,6:1 (Pérez Bonilla *et al*, 2003). Se siguió la cinética de reacción de la mezcla durante 30 minutos leyendo las absorbancias en un espectrofotómetro a 515 nm y se calcularon los porcentajes de inhibición, según la fórmula (3):

$$\text{PI} = \frac{(A_{t=0 \text{ min}} - A_{t=15 \text{ min}})}{A_{t=0 \text{ min}}} \times 100. \quad (3)$$

Donde:  $A_{t=0 \text{ min}}$ : Absorbancia inicial del DPPH;  $A_{t=15 \text{ min}}$ : Absorbancia a los 15 minutos de producida la mezcla de extracto: DPPH.

El análisis descriptivo se realizó con los valores de las medianas de los PI. Para el tratamiento estadístico se utiliza el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis, considerándose significativos los valores de  $p < 0.05$ .

### Aplicación de los extractos a un sustrato lipídico

Se colocaron en tres erlenmeyer de 2000 ml, 1250 ml del aceite de oliva virgen (S), previamente caracterizado. Posteriormente se incorporaron, por separado y con agitación enérgica y continua, los extractos ME y MAC, en una concentración de 120 ppm en fenoles totales. Las mezclas de aceite testigo y extracto etanólico de madera (S-ME) y aceite

testigo y extracto con acetato de etilo (S-MAc) se dejaron reposar durante 48 horas a temperatura ambiente, protegidas de la luz.

Cada sistema modelo (tratamiento) se fraccionó en cinco alícuotas de 250 ml y se trasvasaron a frascos color caramelo sin tapa, rotulados previamente. De igual manera se fraccionaron los testigos.

La oxidación lipídica se llevó a cabo durante 5 días a 80 °C en estufa y el seguimiento de la misma se efectuó a través de la determinación de polifenoles totales por método Folín Ciocalteu, a  $\lambda = 725$  nm, índice de peróxidos (IP) según ISO 3960-COI/T15-IUPAC 2501, absorbancias al ultravioleta  $K_{232}$  y  $K_{270}$  según COI/T20/Doc. N° 19, acidez libre según COI/T15 y perfil ácido según COI/T20/Doc. N° 24. Las determinaciones se realizaron antes de someter las muestras al calentamiento y a 1 y 5 días de iniciado el ensayo, excepto perfil ácido, que se realizó únicamente luego de la aplicación de los extractos al aceite. Para su posterior procesamiento estadístico, el experimento se realizó por quintuplicado. Se utilizó el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis, considerándose significativos los valores de  $p < 0.05$ .

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

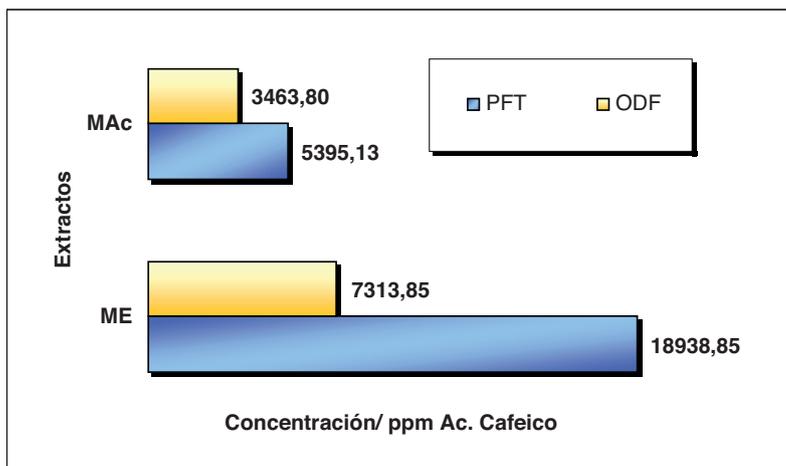
### Contenido en polifenoles, o-difenoles y sólidos totales

Como se observa en el Gráfico 1, los contenidos en PFT, ODF y ST, de extractos de madera de olivo, variaron con respecto a los solventes de extracción utilizados en los ensayos. Los rendimientos más elevados en ST, PFT y ODF se obtuvieron en los extractos con etanol acuoso al 50%, lo que revela la naturaleza polar de los fenoles extraídos (Tabla 1).

Con el solvente acetato de etilo se extrajo un 71,51% de PFT menos que con etanol agua 50%, registrándose valores de 5395,13 mg y 18938,85 mg de fenoles por kilogramo de madera respectivamente (Gráfico 1 y Tabla 1). Asimismo, las diferencias de las medianas del contenido en PFT para los extractos tratados con etanol 50% y acetato de etilo resultaron estadísticamente significativas ( $p < 0,0079$ ) (Tabla 1).

Un comportamiento similar se observó en los valores registrados en los rendimien-

Gráfico 1. Medianas de los rendimientos en PFT y ODF de los extractos ME y MAc de olivo



**TABLA 1.**  
Medianas de los rendimientos en PFT, ODF y ST en los extractos ME y MAc

Parámetros	Medianas*		Diferencias de extracción
	ME	MAc	
PFT	18938,85 A	5395,13 B	71,51
ODF	7313,85 A	3463,80 B	52,64
ST	17,54 A	3,00 B	82,9

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 5% (calculadas mediante el análisis unilateral de varianza por rangos de Kruskal Wallis).

tos en ODF (Gráfico 1). El etanol acuoso extrajo un 52,64% más de ODF que el acetato de etilo. En este caso, a nivel estadístico, también se encontraron, entre las medianas de los extractos, diferencias significativas ( $p < 0,0079$ ) (Tabla 1). Sin embargo, el acetato de etilo extrajo mayor proporción de ODF en madera que el etanol acuoso. Los valores registrados en PFT y ODF señalaron que sólo el 38,62% de PFT cuantificados en el extracto etanólico son ODF, en tanto que, en el extracto con acetato de etilo este porcentaje ascendió al 64,20% (Gráficos 2 y 3). Esto resulta interesante si se tiene en cuenta que el grado de hidroxilación y la posición de los grupos oxhidrilos en la molécula son factores importantes en la actividad antioxidante de los CPF (Oliveras López, 2005; De la Torre Carbot, 2007).

Se encontró además que, con acetato de etilo la extracción fue un 82,90% menor en ST que la obtenida con etanol acuoso al 50% y de acuerdo al análisis estadístico, existen diferencias significativas ( $p < 0,0079$ ) en el rendimiento de ST en relación a los solventes de extracción (Tabla 1 y Gráfico 4).

En este estudio se evidenció, en coincidencia con otras investigaciones (Perez-Bonilla et al, 2003), que la composición química de los

extraíbles de la madera son en gran medida compuestos fenólicos hidrosolubles, ya que es el etanol-agua 50% el que exhibió extracciones más eficientes, obteniéndose valores de las medianas de los rendimientos en ST, PFT y ODF significativamente superiores. Sin embargo, es preciso resaltar que es el acetato de etilo el que extrajo mayor proporción de ODF sobre los fenoles totales extraídos.

Es importante señalar que desde la perspectiva de las posibles aplicaciones de los extractos, como conservantes de productos alimenticios o su empleo en la industria farmacológica y cosmetológica, el mayor poder extractivo de la mezcla etanólica acuosa, tanto para PFT, ODF y ST, resulta positivo debido a la inocuidad del etanol y la toxicidad del acetato de etilo.

### Actividad antirradicalaria

De los seis extractos de madera de olivo de la variedad Arbequina analizados, los más activos resultaron ser MAc 600 ppm y ME 600 ppm en ese orden respectivamente, coincidiendo con estudios que reportaron excelente actividad antirradicalaria de los extractos de madera de olivo en estos mismos solventes (Perez Bonilla et al, 2003). A excepción del tratamiento MAc 100 ppm, todos los extractos

Gráfico 2. Proporción de ODF del extracto ME

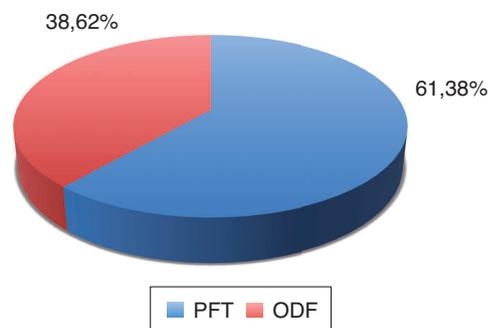


Gráfico 3. Proporción de ODF del extracto MAc

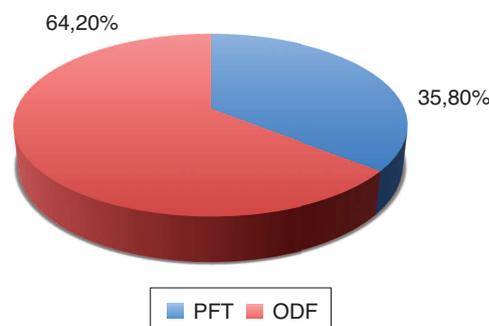
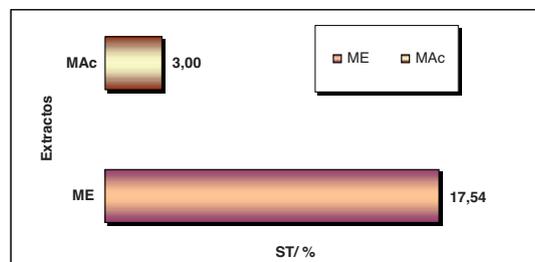


Gráfico 4. Medianas de los rendimientos en ST de los extractos ME y MAc de olivo



de madera presentaron PI superiores al 50% a los 15 minutos de producirse la mezcla extracto: DPPH (Tabla 2), valor registrado para el butil-hidroxitolueno (BHT) a 500 ppm (Rosales Castro M. y Gonzáles Laredo R. 2003). A 600 ppm la mayor capacidad de captura de RL la presentó el extracto en acetato

de etilo, mientras que para 300 y 100 ppm los extractos etanólicos muestran mejor actividad antirradicalaria (Tabla 2).

Por otra parte, en el gráfico 5 se observa que a 600 ppm existe menor diferencia en el comportamiento de los extractos en etanol:acuoso 50% y en acetato de etilo, que en el resto de las concentraciones ensayadas. Se verificó que a 600 ppm el extracto MAc logró una actividad 2,75% superior a ME. Sin embargo, a 300 ppm el extracto ME tuvo una actividad antirradicalaria un 30,23% por encima de MAc. Al seguir disminuyendo la concentración de ambos extractos de madera, el poder inhibitorio se reduce de manera acentuada, registrándose que, a 100 ppm, ME presentó una capacidad de captura superior al extracto MAc en un 52,82% (Gráfico 5).

En el gráfico 6 se observa que los extractos en acetato de etilo presentaron una relación directa entre la concentración de los extractos y la capacidad de captura del RL DPPH. Así, el mayor poder inhibitorio (95,14%) del RL fue revelado por el extracto a 600 ppm. A 300 y 100 ppm los extractos exhibieron una actividad antioxidante inferior (64,44% y 27,73%). En tanto los PI de las soluciones etanólicas de 600 y 300 ppm se vieron prácticamente solapadas por la alta cantidad de

**TABLA 2.**  
Medianas de los PI de extractos ME y MAc de olivo para 100, 300 y 600 ppm (Extracto:DPPH = 1,6:1; 15 min.)

Extractos	Concentraciones en extracto	PFT	ODF	% ODF/PFT	PI
ME	600 ppm	11363,31	4388,31	38,62	92,52
	300 ppm	5681,65	2194,16		92,37
	100 ppm	1893,88	731,39		58,77
MAc	600 ppm	3237,08	2078,28	64,20	95,14
	300 ppm	1618,54	1039,14		64,44
	100 ppm	539,51	346,38		27,73

Gráfico 5. Actividad antioxidante de los extractos de madera de olivo expresada en términos de medianas de PI a 100, 300 y 600 ppm (Extracto:DPPH= 1,6:1; 15 min.)

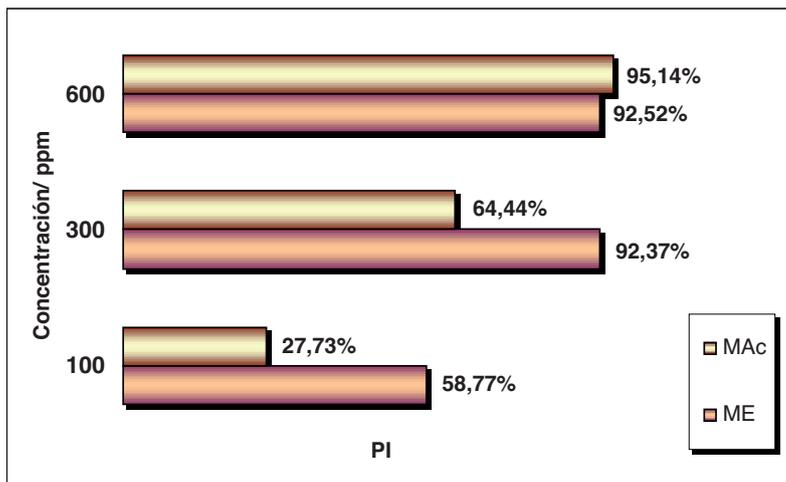
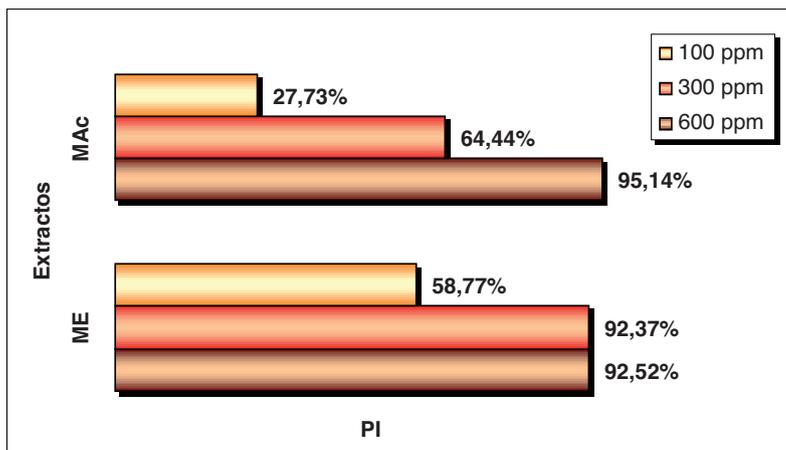


Gráfico 6. Actividad antioxidante de los extractos de madera de olivo en función de los solventes de extracción, expresada en términos de medianas de PI a 100, 300 y 600 ppm (Extracto:DPPH= 1,6:1; 15 min.)



CF antioxidantes presentes en los dos extractos. Es decir, en este solvente la incidencia de la concentración del extracto en la capacidad de captura del radical libre no fue muy marcada. Sólo el tratamiento ME 100 ppm exhibió una actividad significativamente menor en comparación con los más concentrados.

El extracto MAc 600 ppm, con mayor proporción o-difenólica, presentó el PI más elevado de los seis extractos analizados, sin embargo al realizar la prueba de Kruskal Wallis no se encontraron diferencias significativas al 5% con los PI de los tratamientos ME 600 ppm y ME 300 ppm que presentaron PI superiores al 90% (Tabla 3).

**TABLA 3.**  
**Medianas de los PI de extractos ME a 300 y 600 ppm y del extracto MAc a 600 ppm**

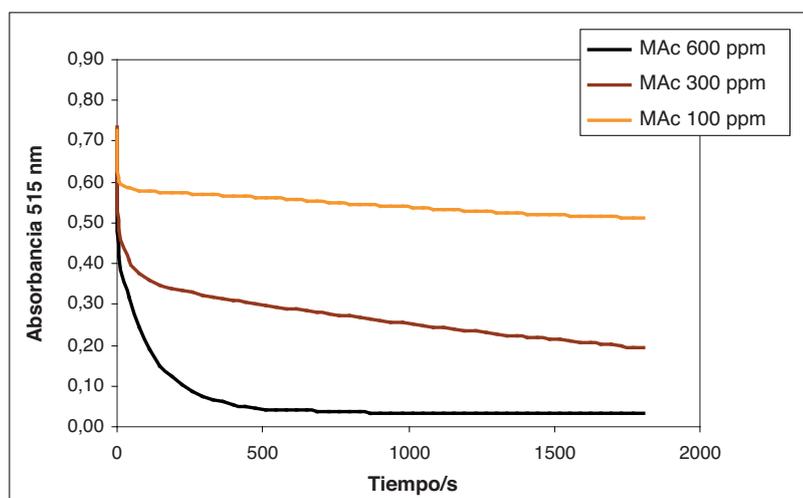
Extractos	Medianas de PI*
MAc 600 ppm	95,14 A
ME 300 ppm	92,37 A
ME 600 ppm	92,52 A

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Los extractos en acetato de etilo, que mostraron una relación directa entre la concentración de los extractos y el PI, exhibieron cinéticas de reacción diferentes frente al RL

DPPH (Gráfico 7). A 600 ppm la curva de la absorbancia de la mezcla extracto: DPPH decae hasta un valor mínimo de 0,032 y luego comienza a establecerse el equilibrio de la

Gráfico 7. Medianas de las absorbancias, en función del tiempo, de las mezclas extracto:DPPH = 1,6:1 de las soluciones de 100, 300 y 600 ppm en extracto de madera de olivo con acetato de etilo



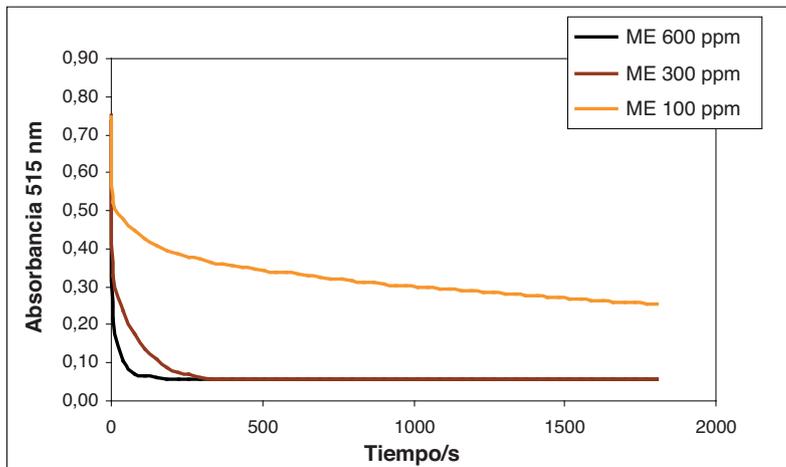
reacción hasta estabilizarse finalmente en 0,033 de absorbancia con un PI de 95,42%; esta actividad permaneció casi constante hasta completar treinta minutos de medición. A 300 ppm los valores de absorbancia siguieron disminuyendo hasta finalizar los 30 minutos de lectura, es decir la actividad antioxidante de MAc 300 ppm continuo revelándose sin alcanzar el equilibrio. En el caso de MAc 100 ppm se observó que la estequiometría extracto:DPPH ensayada (1,6:1) no es la apropiada para inhibir al RL. Las lecturas finales de absorbancias de esta mezcla revelaron que la curva estaba llegando a un equilibrio con porcentajes de captura del 31,73% y 31,75%. A diferencia, los extractos etanólicos ensayados resultaron ser intensamente activos, sin embargo, se observa también una marcada diferencia en el comportamiento antirradicalario de la solución más diluida del extracto (Gráfico 8). Con el tratamiento ME 600 ppm, la reacción se encaminó rápidamente al equilibrio hasta alcanzarlo con una absorbancia de 0,055 y un PI de 95,52%, valores que permanecieron constantes desde los 1373 segundos y hasta finalizar los treinta minutos de lecturas. ME 300 ppm, por su parte, exhibió también una excelente actividad atrapadora de RL, pero a diferencia de ME 600 ppm, la rapidez de la reacción fue menor; se estabilizó en 0,057 de A y PI de 92,37%.

Finalmente, se evidenció que ME 100 ppm reacciona más lentamente que los extractos más concentrados. A los treinta minutos del ensayo, la curva no llegó a estabilizarse, no logró alcanzar el equilibrio y continuó la disminución de la absorbancia, necesitando en este caso más tiempo de reacción.

Antecedentes señalan que la bioactividad reportada en los extractos vegetales se debe no sólo a los diferentes mecanismos ejercidos por los compuestos fenólicos que posee (flavonoides, taninos, quinonas), sino además al efecto sinérgico del conjunto de metabolitos secundarios que pudiera contener la planta (alcaloides, terpenos) y a los cuales también se les reconoce esta actividad (Muriillo *et al*, 2007).

A través del análisis efectuado acerca del poder inhibitorio de RL y la cinética de la reacción de los extractos de madera de olivo en etanol:agua 50% y en acetato de etilo sobre el radical DPPH, se confirma que la polaridad del solvente extractor juega un papel relevante en la capacidad de captura del RL DPPH, comportamiento que está vinculado a la naturaleza de los compuestos extraídos y que podría explicarse a través del aislamiento e identificación de los compuestos puros presentes en los extractos y del estudio de su capacidad antioxidante.

Gráfico 8. Medianas de las absorbancias, en función del tiempo, de las mezclas extracto:DPPH = 1,6:1 de las soluciones de 100, 300 y 600 ppm en extracto de madera de olivo con etanol al 50%



Independientemente del solvente utilizado, el presente estudio muestra que los extractos de madera de olivo, con elevado contenido en PFT, son excelentes captadores de RL y podrían ser considerados una fuente potencial de antioxidantes. No obstante, todas estas suposiciones debieran ser confirmadas a través de estudios cualitativos y cinéticos más profundos y especialmente complementarse a través de la aplicación de estos extractos en sistemas biológicos reales para evaluar la capacidad de captura efectiva de RL.

### Actividad antioxidante

De las 120 ppm de PFT adicionadas, el tratamiento etanólico sólo incorporó el 1,52% y el tratamiento con acetato de etilo el 4,68% del total de los fenoles agregados. El incremento fenólico en el tratamiento S-ME fue

menor que en S-MAC, lo que pone en evidencia una mejor distribución de las estructuras fenólicas del extracto MAC sobre el sustrato lipídico, debido posiblemente a que con el acetato de etilo se extraen compuestos de menor polaridad y por tanto, con mayor solubilidad en el aceite. Se observó que un día después de ser sometidos a altas temperaturas, tanto S (aceite de oliva virgen testigo) como los aceites con los extractos exhiben un descenso inicial de los PFT (Tabla 4 y Gráfico 9). En el día 0, el incremento fenólico en los aceites con tratamientos, con respecto al contenido en fenoles del testigo, no resultó significativo. Tampoco existieron diferencias significativas en las concentraciones de PFT de S-ME, S-MAC y S, a 1 y a 5 días de iniciado el ensayo (Tabla 6).

En lo que refiere a la composición acídica, los trata-

**TABLA 4.**  
**Medianas y porcentajes de variación del testigo (S)**  
**y los tratamientos (S-ME y S-MAc)**

Parámetros	Días de ensayo	S	% de variación	S-ME	% de variación	S-MAc	% de variación
			S		S-ME		S-MA
PFT	0	58,17		60,35		63,79	
	1	55,40	-4,75	59,12	-2,03	51,68	-18,98
	5	45,62	-21,57	45,39	-24,79	49,11	-23,01
IP	0	14,47		12,49		12,00	
	1	27,92	92,95	27,45	119,78	26,94	124,50
	5	62,35	330,89	73,46	488,15	71,92	499,33
K <sub>232</sub>	0	2,38		2,41		2,42	
	1	3,73	56,72	3,80	57,68	3,77	55,79
	5	6,33	165,97	8,64	258,51	7,88	225,62
K <sub>270</sub>	0	0,23		0,24		0,24	
	1	0,23	0,00	0,22	-8,33	0,27	12,50
	5	0,39	69,57	0,53	130,43	0,52	116,67
% AOL	0	1,07		1,04		1,04	
	1	1,13	5,61	1,13	8,65	1,10	5,77
	5	1,18	10,28	1,18	13,46	1,18	13,46

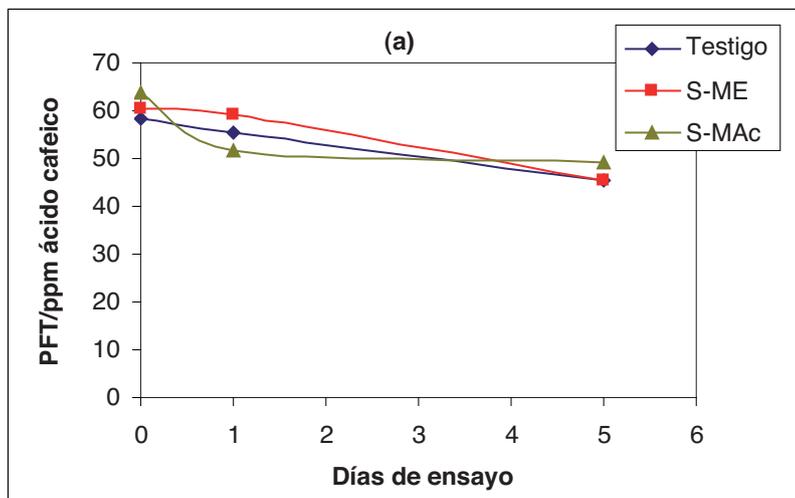
mientos S-ME y S-MAc no evidenciaron variación con respecto al perfil ácido del aceite testigo. Es decir, el agregado de los extractos fenólicos no afectó la composición en ácidos grasos del sustrato lipídico, conservando

sus propiedades en este aspecto. (Tabla 5 y gráfico 10).

El consumo acelerado de los polifenoles presentes en los aceites con tratamientos permite suponer que la incorporación de los extrac-

tos contribuyó a proteger la oxidación de los ácidos grasos del aceite, sin embargo, se observó que los extractos de madera adicionados al aceite solo exhibieron protección oxidativa el día 0, donde se registró una reducción significativa de los valores de IP en los tratamientos con respecto a S ( $p < 0,0044$ ) (Tabla 6). Antes de ser sometidos al efecto de la temperatura, los tratamientos redujeron los porcentajes de IP en un 14,19% para el caso S-ME, y 16,27% para S-MAc (Tabla 4 y Gráfico 11). A 1 día de iniciado el ensayo, el nivel de IP de los tratamientos permaneció por debajo del testigo, aunque no de forma significativa (Tabla 6). En el día 5, los valores de IP de los tratamientos fueron significativamente superiores ( $p < 0,0255$ ) a los de S, mientras que no se hallaron diferencias significativas entre los valores de este parámetro para S-ME y S-MAc (Tabla 6). Esta situación pone en evidencia que la cantidad de antioxidantes incorporados a través de los extractos no resultaron capaces de amortiguar la oxidación violenta desencadenada por la presencia de radicales libres, cuya formación se catalizó por la elevada temperatura impuesta en el ensayo. Inclusive, en condiciones forzadas de oxidación, los extractos actuaron como prooxidantes, elevando la concentración de los indicadores de oxidación.

Gráfico 9. Evolución de PFT del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAc



**TABLA 5.**  
**Perfil ácido del aceite (S) y de los tratamientos (S-ME y S-MAC)**

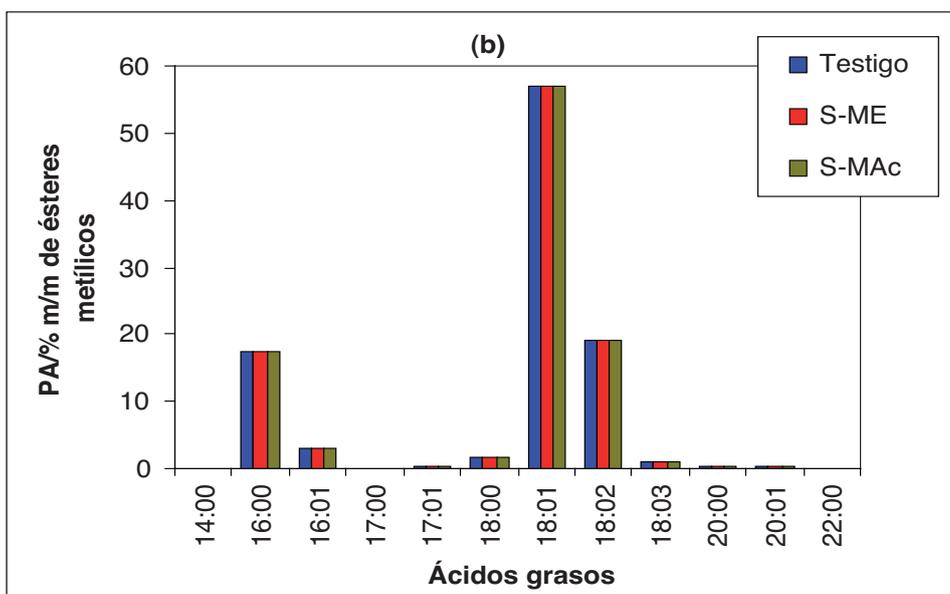
Ácidos	S	S-ME		S-MAC		
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
14:0	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00
16:0	17,33	0,01	17,34	0,02	17,32	0,00
16:1	3,10	0,00	3,12	0,01	3,10	0,00
17:0	0,09	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00
17:1	0,21	0,00	0,21	0,01	0,20	0,01
18:0	1,53	0,01	1,54	0,02	1,52	0,00
18:1	57,12	0,00	57,12	0,02	57,10	0,01
18:2	19,07	0,01	19,05	0,01	19,07	0,01
18:3	0,94	0,00	0,94	0,01	0,94	0,00
20:0	0,40	0,00	0,40	0,00	0,40	0,00
20:1	0,29	0,01	0,28	0,00	0,28	0,00
22:0	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00

**TABLA 6.**  
**Medianas de valores de PFT, IP,  $K_{232}$ ,  $K_{270}$  y % AOL de los tratamientos S, S-ME y S-MAC**

Días de ensayo	Tratamientos	Medianas *				
		PFT	IP	$K_{232}$	$K_{270}$	% AOL
0	S	58,17 A	14,47 B	2,38 A	0,23 A	1,07 B
	S-ME	60,35 A	12,49 A	2,41 A	0,24 A	1,04 AB
	S-MAC	63,79 A	12,00 A	2,42 A	0,24 A	1,04 A
1	S	55,40 A	27,92 A	3,73 A	0,23 AB	1,13 A
	S-ME	59,12 A	27,45 A	3,80 A	0,22 A	1,13 A
	S-MAC	51,68 A	26,94 A	3,77 A	0,27 B	1,10 A
5	S	45,62 A	62,35 A	6,33 A	0,39 A	1,18 A
	S-ME	45,39 A	73,46 B	8,64 B	0,53 B	1,18 A
	S-MAC	49,11 A	71,92 B	7,88 AB	0,52 AB	1,18 A

\* Letras distintas indican, dentro de un mismo parámetro y día de ensayo, diferencias significativas al 5%.

Gráfico 10. Perfil ácido del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAC



Entre los días 0 y 1 las curvas de absorbancias de las  $K_{232}$  de los aceites con y sin tratamiento prácticamente se superponen en el gráfico 12 y aunque no se manifestó el efecto protector de los extractos, que si se registró con el IP para esos mismos días, las diferencias entre las  $K_{232}$  de S, S-ME y S-MAC no resultaron significativas (Tabla 6). Las absorbancias para la  $K_{270}$  muestran valores próximos entre sí (Gráfico 13) y el análisis estadístico reveló (Tabla 6) que no existen diferencias significativas entre los valores registrados para este mismo día. Esto pone de manifiesto que no existió aporte de productos de oxidación primaria ni secundaria con el agregado de extracto al sustrato. Después de 1 día de calentamiento, la  $K_{270}$  del aceite testigo no difirió estadísticamente con la de los tratamientos. A 5 días de iniciado el ensayo, la  $K_{270}$  de S fue significativamente inferior ( $p < 0,0435$ ) a la de S-ME (Tabla 6) y los tratamientos no ejercieron protección contra los procesos de oxidación primaria ni secundaria. Probablemente el menor incremento de  $K_{232}$  y  $K_{270}$  en S, comparado con los valores de los tratamientos, fue debido a que con los extractos se incorporan compuestos que, sometidos a la elevada temperatura del ensayo, dan lugar a productos de oxidación primaria y

Gráfico 11. Evolución de los IP del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAc

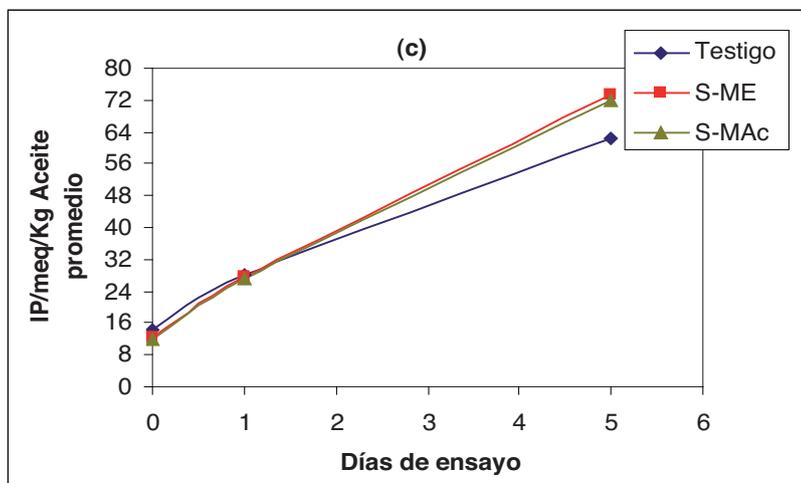


Gráfico 12. d) Evolución de las  $K_{232}$  del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAc

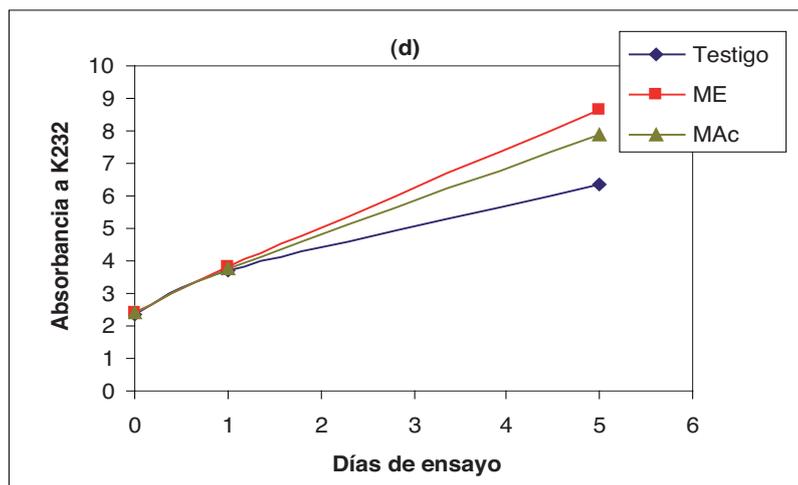
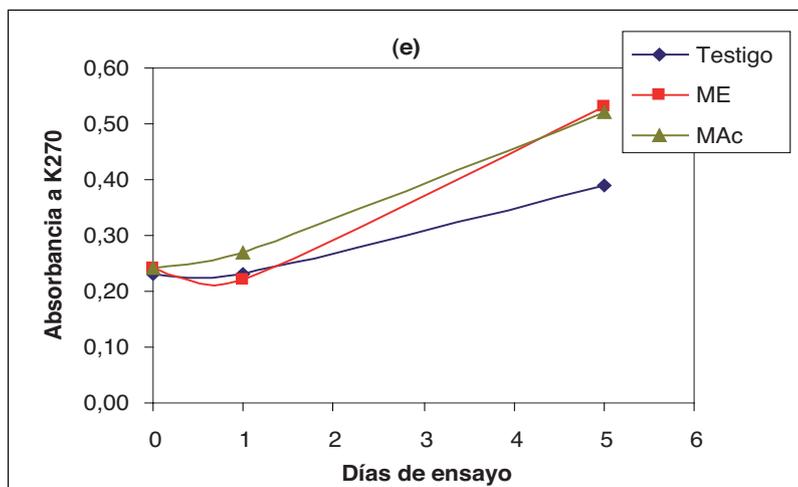


Gráfico 13. Evolución de las  $K_{270}$  del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAc



secundaria que elevan los índices correspondientes.

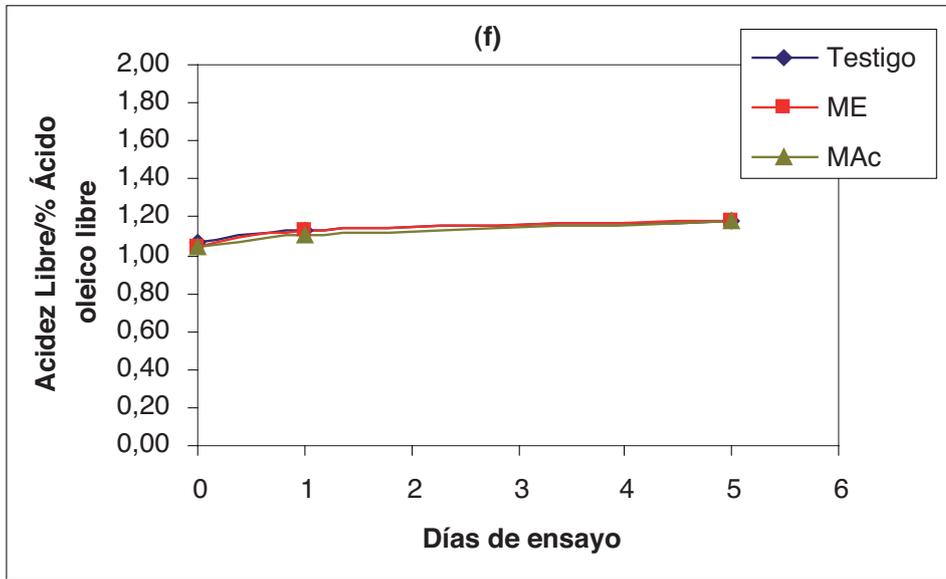
A nivel estadístico, el porcentaje de ácido oleico libre de S-ME no presentó diferencia significativa con el de S-MAc ni con el del aceite testigo, mientras el %AOL de S-MAc fue significativamente menor ( $p < 0,0291$ ) que el de S (Tabla 6). A partir del día 1 y hasta finalizar el ensayo, los tratamientos evolucionaron de manera semejante a S y no existieron diferencias significativas (Tablas 4, 6 y Gráfico 14).

## CONCLUSIONES

Los extractos de madera de olivo, en etanol:agua y acetato de etilo, presentan una elevada capacidad de captura de radicales libres DPPH y aplicados sobre aceite de oliva virgen ejercen, a temperatura ambiente, un leve efecto protector; pero carecen de actividad antioxidante cuando el sustrato lipídico es sometido a condiciones forzadas y extremas de oxidación, e incluso manifiestan un comportamiento prooxidante. Por otra parte, con su aplicación no se modifica el porcentaje de ácido oleico libre y ni la composición en ácidos grasos del aceite utilizado como sustrato.

A la vista de lo anteriormente expuesto, podemos concluir que los extractos etanólicos y con acetato de

Gráfico 14. Evolución de los % de AOL del aceite testigo y los tratamientos S-ME y S-MAc



etilo de madera de poda de olivo de la variedad Arbequina, procedentes del Valle Central de la Provincia de Catamarca - Argentina, constituyen una materia prima muy valiosa para la extracción de polifenoles de origen natural, y comparados con otras fuentes de extracción alternativas, se sitúan en una posición de ventaja, con buenos rendimientos polifenólicos e importantes propiedades antioxidantes.

Los resultados obtenidos en el presente estudio aportan conocimientos acerca de la posibilidad de considerar a la madera de poda de olivo, procedente del Valle Central de Catamarca, como subproducto de la industria olivícola y materia prima para el aislamiento de extractos fenólicos y compuestos puros con actividad antioxidante, en lugar de resi-

duos. Esta estrategia de valorización implica no solo contribuir en la prevención de problemas ambientales, sino también la de otorgarle rentabilidad a un material completamente desaprovechado, estableciendo de esta forma prácticas agrícolas sustentables, con posibilidad de generar industrias competitivas del sector, con los resultantes beneficios sociales que ello implica. ■

## BIBLIOGRAFÍA

Altarejos J., Nogueras M., Sánchez A. (1997). VIII Simposium Científico-Técnico de Expoliva, Jaén.

Andrada C., Luna M., Gómez P. (2008). "La reconversión productiva de la olivicultura en Catamarca". La Alimentación Latinoamericana. N° 276. Pp. 54-60.

Brand-Williams W., Cuvelier M., Berset C. (1995). "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity". *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie/Food Science and Technology*. Vol. 28. Pp 25-30.

Cáceres R., Novello R., Robert M. (2009). "Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales". *S ISSN 1852-4605*. N° 2. Pp 11-41.

De la Torre Carbot K. Efecto del consumo del aceite de oliva sobre la composición de las lipoproteínas de baja densidad en individuos de diferentes países europeos. Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona. 21-40, 2007.

Dwyer J. (1996). "Is there a need to change the American Diet?: Dietary phytochemicals in cancer prevention and treatment". *Adv. Experimen. Med. Biol.* N° 401. Pp. 192-193.

Gómez E., Salim Rosales C., Gómez P., Bravo M. (2008). "Métodos de extracción de polifenoles en hojas y residuos leñosos de Olivos". IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. Ed. Universitaria de resúmenes- Línea científica. Catamarca. Argentina. Pp. 296.

Gómez P., Dalla Lasta M., Porcú E., Bravo M., Nieto S., Kaen R. (2007) "Evaluación de la actividad antioxidante de extracto fenólico de alperujo". Aceites y Grasas N° 67. Tomo XVII. Vol.2. Buenos Aires. Argentina. Pp. 336-341.

Gómez P., Dalla Lasta M., Bravo M., Rosales Salim C., Gómez E., Castillo D. (2008) "Efecto de extractos de alperujo de Arbequina y Coratina sobre la estabilidad de aceite de oliva virgen". IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. Ed. Universitaria de resúmenes-Línea científica. Catamarca. Argentina. Pp. 171.

Halls S. (2003). "In vinus vitali? Compounds activate life-extending genes". Science. N° 301. Pp.165.

Harbone, J. (1994). "Introduction to Ecological Biochemistry". 4ta. Edición. Academic Press Ed., London. Pp. 384.

Iñiguez Monterde, A; Sánchez Riquelme, L; Sierra Carrascosa, M. (1999). "Poda e Injertos del Olivo". Cuadernos de tecnología agraria. Serie agricultura. N° 2. Pp. 5-6.

Matías, C.; Cáceres, R. (2012). "Olivo: el cultivo con mayor crecimiento". INTA Informa. Año XI N° 123. Marzo 2012. Disponible en:

[http://intainforma.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2012/02/Inta\\_Informa\\_123.pdf](http://intainforma.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2012/02/Inta_Informa_123.pdf)

Matsuki M. (1996). "Aust" J. Bot. N° 44. Pp. 613-634.

Mosquera O., Niño J., Correa Y., Buitrago Bejarano D. (2005). "Estandarización del método de captura de radicales libres para la evaluación de la actividad antioxidante de extractos vegetales". Scientia et Técnica. Año XI. N° 27. Pp. 231-234.

Murillo E., Lombo O., Tique M., Méndez J. (2007). "Potencial Antioxidante de Bauhinia Kalbreyeri Harms (FABACEAE)". Información Tecnológica N° 6. Vol 18. Pp 65-74.

Oliveras López J. (2005). "Calidad del aceite de oliva virgen extra. Antioxidantes y función biológica". Tesis de Doctorado. Universidad de Granada. 25-56.

Ozkaya M., Celik M. (1999). Acta Hort. N° 474. Pp. 477.

Pallares J. H. (2012). "La crisis golpea al sector olivícola". LA NACION. 2012 - lanacion.com. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1442206-la-crisis-golpea-al-sector-olivicola>.

Pelayo Villarejo E. (2006). "Vigilancia Tecno-

lógica e Inteligencia Económica para la industria de zumos. Aplicación práctica para el caso de zumos funcionales y nutracéuticos obtenidos de olivo, romero y alcachofa". Trabajo de doctorado. Pp 12-13 y 51-53.

Pérez-Bonilla M., S. Salido, P. Linares, T. van Beek, J. Altarejos, M. Noguera, A. Sánchez. La madera de olivo como nueva fuente de antioxidantes naturales. Foro de la tecnología oleícola y la calidad. Código TEC-26. 2003. Disponible en:

<http://www.expoliva.com/expoliva2003/symposium/com.asp?anio=2003&codigo=TEC>.

Reales N., Gómez P., Salim Rosales C., Bravo M., Gómez E. "Actividad antioxidante de extractos de hoja de olivo, cultivar Coratina, del Valle Central de Catamarca". Revista del CIZAS. Vol 11. N°1. Año 2010. Pp. 27-39.

Romani A., Mulinacci N., Pinelli P., Cimato A. (1999). "Polyphenolic Content in Five Tuscany Cultivars of Olea Europaea L". J Agric. Food Chem. Vol. 47. Pp. 964-967.

Rosales Castro M. y González Laredo R. (2003). "Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pino". Maderas y

Bosques. N° 2. Vol. 9. Pp. 41-49.

Rugna A., Riccio R., Gurni A. y Wagner M. (2007). "Efectos de la radiación solar sobre la producción de polifenoles en ejemplares femeninos de *Smilax Campestris* Griseb. -Smilacaceae-." Comunicaciones breves. Lat. Am. J. Pharm. N° 3. Vol. 26. Pp. 420-423.

Searles P., Aguero Alcarás M., Rousseaux M. (2011). "El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea". Ecología Austral N° 21. Pp15-28.

Tsukamoto H., Hisada S., Nishibe S. (1985). Sho-

yakugaku Zasshi. N° 39. Pp. 90.

Venereo Gutiérrez J. (2002). "Daño Oxidativo, Radicales Libres Y Antioxidantes". Rev. Cuban Medic. Militar. N° 2. Vol. 31. Pp. 126-133.

Venereo Gutiérrez J. (2002). "Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes." Rev. Cubana Med. Milit. 2002; 31(2). Pp. 126-133.

von Gadow A., Joubert E., Hansmann C. (1997). "Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of rooibos tea (*Aspalathus linearis*),  $\alpha$ -tocopherol, BHT and BHA". J. Agric. Food Chem. N° 45. Vol. 3. Pp. 632-638.

Waterman P y S. Mole. Methods in ecology. (1994). "Analysis of phenolic plant metabolites". Blackwell Scientific publications. Pp. 237.

Wood J., Senthilmohan S. y Peskin A. (2001). "Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs". Food Chemistry N° 77. Pp. 155-161.

Ryan D., Robards K., Prenzler P., Antolovich M. (1999). "Applications of mass spectrometry to plant phenols. Trac-Trends in Analytical Chemistry". Cap.18. Pp. 362-372.

# Influencia de los factores tecnológicos en el aceite de oliva virgen\*

M. Servili

Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, Facoltà di Agraria, Università di Perugia,  
Via San Costanzo, 06121 Perugia (Italia). [servimau@unipg.it](mailto:servimau@unipg.it)

De conformidad con la normativa europea (Reglamento UE n.º 61/2011 de la Comisión) y la normativa del Consejo Oleícola Internacional (COI, 2010), la calidad comercial del aceite de oliva virgen (AOV) está determinada por parámetros como la acidez libre y el estado de oxidación (índice de peróxidos,  $K_{232}$ ,  $K_{270}$  y  $\Delta K$ ), que sirven para evaluar el deterioro del producto, mientras que otros marcadores analíticos, como las ceras, los esteroles, los alcoholes alifáticos y triterpénicos, los isómeros *trans* de los ácidos grasos, la composición de ácidos grasos y triglicéridos, y los estigmastadienos, se tienen en cuenta para prevenir las adulteraciones de los aceites y los fraudes.

El análisis sensorial se añadió a los métodos analíticos para controlar la presencia de sabores defectuosos no permitidos por la normativa europea en el aceite de oliva virgen extra (AOVE). El Consejo Oleícola Internacional definió exhaustivamente dichos sabores (IOC, 1987) y también normalizó el procedimiento para su de-

terminación mediante valores asignados por medio del análisis sensorial (Reglamento CE n.º 1989/03).

Los parámetros comerciales no tienen en cuenta los marcadores analíticos que certifican las propiedades saludables y sensoriales del AOVE, a pesar de que éstas representan una fracción importante de la composición exclusiva del AOVE que lo diferencia de los demás aceites vegetales habituales consumidos en el mundo. Ejemplos de dichos marcadores son los compuestos antioxidantes naturales, el ácido oleico, monoinsaturado, y el escualeno. Además, estos marcadores no se indican en el etiquetado actual de los AOVE, por lo que los consumidores no están informados sobre las propiedades saludables del producto, que se deben principalmente a su alto contenido de ácido oleico, escualeno y antioxidantes naturales, así como a los compuestos fenólicos, tocoferoles y carotenoides (López-Miranda *et al.*, 2010; Bach-Faig *et al.*, 2011; Cicerale *et al.*, 2011). Las propiedades sensoriales (principalmente el aroma) del AOVE

son el resultado de una mezcla compleja de compuestos volátiles, aldehídos saturados e insaturados  $C_5$  y  $C_6$ ; alcoholes y ésteres, que son los responsables de los sabores típicos, como el de “hierba recién cortada”, el “sabor a heno” y el “floral”, así como de fenoles hidrofílicos, que son la causa de las notas amargas y picantes (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2004; 2009a). Además, estos compuestos presentan una gran actividad antioxidante y desempeñan un papel importante en la prevención y la reducción de las afecciones crónicas degenerativas que tienen por origen procesos inflamatorios, así como de las enfermedades crónicas degenerativas como las enfermedades cerebrovasculares (EFSA, NDA, 2011) y el cáncer (Servili *et al.*, 2009b; Obied *et al.*, 2012).

La importancia nutricional del AOVE siempre se ha vinculado a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), especialmente el ácido oleico. Sin embargo, en la última década, se ha observado una importante variabilidad en el contenido de ácido oleico de

\* Este trabajo es una versión resumida de la ponencia presentada en el Seminario internacional “Presente y futuro del sector olivarero mediterráneo”, celebrado en Zaragoza (España) en noviembre de 2012.

los AOVE, tradicionalmente comprendido entre el 55 y el 83% del contenido total de ácidos grasos. Esta fuerte variabilidad guarda una estrecha relación con la expansión de la olivicultura a nuevas zonas en las que los AOVE elaborados presentan un bajo contenido de ácido oleico, inferior al 50%, lo que, evidentemente repercute sobre las propiedades saludables y nutricionales del AOVE (Terés *et al.*, 2008; López-Huertas, 2010). Las mismas observaciones resultan aplicables a los tocoferoles y los fenoles hidrofílicos del AOVE (Servili, 2012a).

Los polifenoles del AOVE constituyen un grupo de metabolitos secundarios de las plantas que no se encuentran con frecuencia en otros aceites ni en otras grasas. Esta es la clase más importante de fenoles, e incluye los alcoholes y los ácidos fenólicos, los flavonoides, los lignanos y los secoiridoides (Servili *et al.*, 2004; Obied *et al.*, 2008), que se encuentran exclusivamente en las plantas pertenecientes a la familia de las *Oleáceas* (de las que la aceituna es el único fruto comestible) y que constituyen la fracción más importante desde el punto de vista biológico. En concreto, los principales secoiridoides son la forma dialdehídica del ácido decarboximetil elenólico ligado a 3,4-DHPEA o p-HPEA (3,4-DHPEA-EDA o p-HPEA-EDA), el isómero 3,4-DHPEA-EA de la oleuropeína

na aglicona y el ligustrósido aglicona (p-HPEA-EA) (De Marco *et al.*, 2007; Obied *et al.*, 2007, 2008; Servili *et al.*, 1999, 2004, 2009b).

Varios factores agronómicos, como el cultivar, la fase de maduración, el origen geográfico y genético de las aceitunas, el riego, y factores tecnológicos, como las condiciones de extracción del aceite durante la molienda, la malaxación y la separación del AOVE (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2004; 2009a; Inglese *et al.*, 2011), tienen una fuerte influencia sobre la composición cualitativa y cuantitativa de las fracciones volátiles y fenólicas. De hecho, durante el triturado, algunas enzimas endógenas (polifenoloxidasas [PPO], peroxidasa [POD] y lipoxigenasa [LOX]) se distribuyen de formas diferentes en las partes constitutivas de la drupa: en concreto, la POD se encuentra principalmente en el hueso (Servili *et al.*, 1999), mientras que la PPO se encuentra principalmente en el mesocarpo. Estas enzimas endógenas desempeñan un papel importante en la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos y volátiles del AOVE.

La actividad de las enzimas endógenas PPO, POD y LOX está determinada por las condiciones de malaxación (temperatura y concentración de oxígeno), que también afectan en gran medida a la concentración final

de fenoles hidrofílicos y compuestos volátiles de los AOVE. La concentración de fenoles presente en la pasta de aceitunas y el aceite disminuye por acción de la PPO y la POD, que catalizan la oxidación de los fenoles, mientras que los aldehídos saturados e insaturados C<sub>5</sub> y C<sub>6</sub>, los alcoholes y los ésteres relacionados con las notas sensoriales “verdes” del AOVE son producidos por la LOX a través de una ruta en cascada (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2007a).

Los fenoles y los compuestos volátiles del AOVE dependen en gran medida del sistema de triturado. Según Servili *et al.* (1999), los fenoles se concentran principalmente en la pulpa y sólo se encuentran en pequeñas cantidades en el hueso y la semilla de la aceituna. El contenido en fenoles hidrofílicos del AOVE puede incrementarse si se utiliza un tipo de triturador con un efecto diferente sobre los componentes de las drupas, como, por ejemplo, un triturador de cuchillas, un triturador de discos dentados, un pretriturador o un empiedro, que reducen la liberación de POD en la pasta, por lo que disminuyen la degradación de los tejidos de la semilla (Servili *et al.*, 2007a). Esto queda confirmado por el hecho de que la concentración de fenoles del AOVE es mayor cuando se elimina el hueso de la aceituna antes de la ex-

tracción mecánica del AOVE (Angerosa *et al.*, 1999; Lavelli y Bondesan, 2005; Mulinacci *et al.*, 2005; Amirante *et al.*, 2006; Servili *et al.*, 2007a). El sistema de triturado también presenta una fuerte repercusión sobre la concentración de componentes volátiles del AOVE. Por ejemplo, el uso de un triturador de martillo, que muele el tejido de la pulpa de forma violenta, provoca un aumento de la temperatura de la pasta de aceitunas y una correlativa disminución de la actividad de la hidroperóxido liasa (Servili *et al.*, 2002; Angerosa *et al.*, 2004).

Algunos autores han descrito las relaciones existentes entre las condiciones de malaxación (tiempo, temperatura y baja concentración de oxígeno en el espacio de cabeza de la malaxadora) y la concentración de fenoles y compuestos volátiles del AOVE, que se determina mediante el seguimiento de la cantidad de oxidorreductasas endógenas, como la PPO, la POD y la LOX. Durante la malaxación, la disminución de los valores de O<sub>2</sub> (observada en las malaxadoras cubiertas) inhibe la actividad de la PPO y la POD y aumenta la concentración de fenoles hidrofílicos en la pasta de aceitunas y en el AOVE resultante (Servili *et al.*, 2008a, 2008b; Taticchi *et al.*, 2013). Además, la formación natural de CO<sub>2</sub> provoca por el metabolismo celu-

lar de las aceitunas durante la malaxación reduce la actividad oxidativa en la pasta durante esta fase (Parenti *et al.*, 2006 a, 2006b; Servili *et al.*, 2008a). Recientemente se ha estudiado la influencia de la temperatura de malaxación sobre la concentración de fenoles (Boselli *et al.*, 2009; Gómez-Rico *et al.*, 2009). Cuando la concentración de oxígeno es baja en las pastas malaxadas, se inhibe la degradación oxidativa de los fenoles debida a la actividad de las PPO y las POD, mientras que la solubilidad fenólica del AOVE aumenta a medida que lo hace la temperatura (Taticchi *et al.*, 2013). Estos resultados muestran que las temperaturas superiores a los 30 °C inactivan parcialmente las PPO. Por otro lado, estas temperaturas podrían aumentar la actividad de las enzimas despolimerizantes, que estimulan la liberación de fenoles hidrofílicos en el aceite y el agua de vegetación mediante la hidrólisis de la pared celular de las aceitunas (Vierhuis *et al.*, 2001; Servili *et al.*, 2008a, 2008b). Además, se ha observado que las enzimas implicadas en la ruta de las LOX están activas durante la malaxación. Por este motivo, los cultivares y la temperatura de malaxación afectan al perfil volátil y, por tanto, a las características sensoriales de los AOVE resultantes (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2009a). De hecho, las temperaturas superiores a 35 °C durante la malaxación

reducen la cantidad de compuestos volátiles en los AOVE. En concreto, la concentración de aldehídos parece verse afectada por la temperatura de procesado: las menores concentraciones se observan a 35 °C, mientras que las mayores concentraciones se dan con temperaturas de 25 °C. Los ésteres se comportan de igual modo que los aldehídos, mientras que la concentración de alcohol aumenta a medida que lo hace la temperatura de malaxación. Por tanto, la temperatura de malaxación debe fijarse a unos 25 °C. Sin embargo, varios estudios realizados hace algunos años en distintos cultivares revelaron que la disminución en los aromas por la ruta de las LOX (debido a temperaturas elevadas) depende del cultivar. Este aspecto abre una nueva línea de investigación para optimizar las condiciones de malaxación, ajustándolas a cada cultivar. Se han llevado a cabo estudios preliminares en algunos cultivares italianos para determinar las mejores condiciones de malaxación en términos de temperatura y concentración de O<sub>2</sub>. Estos estudios han revelado que las temperaturas óptimas están entre los 20 y los 33 °C, mientras que la concentración de oxígeno debe encontrarse entre los 50 y los 30 kPa (Servili *et al.*, 2012a).

El sistema de extracción utilizado, por ejemplo, presión o centrifugación, tam-

bién influye en el contenido en fenoles del AOVE. En los sistemas de centrifugación tradicionales, se añadía una gran cantidad de agua para reducir la viscosidad de la pasta y aumentar la cantidad de aceite obtenida. Sin embargo, esto también reducía la concentración de fenoles del AOVE y alteraba sus características sensoriales y nutricionales. En los últimos veinte años, se ha adaptado este sistema de extracción para reducir la cantidad de agua añadida durante la extracción del aceite. Las centrifugas se pueden clasificar en tres grupos, en función de este aspecto: (a) centrifugas tradicionales de tres fases, que se caracterizan por la adición de 0,5 a 1 m<sup>3</sup> de agua por tonelada; (b) nuevas centrifugas de tres fases, en las que se añade entre 0,2 y 1 m<sup>3</sup> de agua por tonelada como máximo; (c) centrifugas de dos fases, que pueden funcionar sin necesidad de agua añadida y que no producen agua de vegetación como subproducto del proceso de extracción del aceite. Los nuevos sistemas de centrifugación consiguen aceites con un contenido de compuestos fenólicos más elevado que los sistemas tradicionales, ya que disminuyen la pérdida de fenoles hidrofílicos en el agua de vegetación. Por tanto, el control de la temperatura durante la malaxación y la reducción de la cantidad de agua añadida antes de la centrifugación son aspectos

esenciales en las tecnologías de extracción de aceite que repercuten en gran medida en la calidad del AOVE.

### **ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN**

En las dos últimas décadas, la nueva tendencia en la extracción de AOVE se centra cada vez más en el aprovechamiento de los subproductos, como el orujo de oliva y el alpechín (ALP), en el pasado considerados residuos cuya eliminación conllevaba un coste adicional. Este nuevo enfoque también debe orientarse a mejorar los subproductos para aumentar la rentabilidad del proceso. La reutilización innovadora de los subproductos del AOVE es especialmente importante debido a los fenoles hidrofílicos que contienen, cuya cantidad se ve muy afectada por las condiciones agronómicas y tecnológicas de la producción de AOVE. En realidad, tras la molienda y la malaxación, únicamente una pequeña proporción de los fenoles se libera en los AOVE (entre el 1% y el 3% de la concentración total de fenoles de las aceitunas), mientras que una proporción mayor se encuentra en el orujo y el ALP (Servili *et al.*, 1999, 2004, 2007a, 2007b, 2011a). En Italia, el sistema de extracción más común es

la centrifugación de tres fases. Requiere la dilución en agua de la pasta malaxada y genera entre 50 y 90 l de ALP por cada 100 kg de pasta de aceitunas, y entre 50 y 60 kg de orujo de oliva por cada 100 kg de pasta de aceitunas. En la actualidad, el sistema de dos fases está muy extendido en España y se caracteriza por una enorme reducción del consumo de agua durante el proceso de extracción: genera 70 kg de orujo de oliva por cada 100 kg de pasta de aceitunas.

El aceite residual que contiene el orujo de oliva se recupera mediante un proceso de extracción con disolventes orgánicos. Entre las nuevas oportunidades de aprovechamiento del orujo de oliva están la elaboración de compost, su uso como combustible para la generación de energía térmica procedente de fuentes renovables y su incorporación como aditivo en los piensos para animales (Pauselli *et al.*, 2007; Servili *et al.*, 2007a).

En el caso del ALP, es posible recuperar las grandes cantidades de fenoles bioactivos que contiene este subproducto. El ALP está compuesto por una emulsión de agua, aceite, mucílago y pectinas, y contiene entre un 3 y un 16% de sustancias orgánicas, entre un 1 y un 8% de azúcares, entre un 1,2 y un 2,4% de compuestos del nitrógeno y entre un 0,34 y un 1,13% de compuestos fenólicos (Naionakis

y Halvadakis, 2004). Secoiridoides como el 3,4-DHPEA-EDA y el verbascósido son los compuestos fenólicos más abundantes en el ALP (Servili *et al.*, 2004). La capacidad contaminante del ALP depende exclusivamente de su contenido de polifenoles. Se expresa en forma de demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y varía entre 35 y 110 g/l, mientras que la demanda química de oxígeno (DQO) varía entre 40 y 196 g/l (Niaonakis y Halvadakis, 2004). La recuperación de grandes cantidades de fenoles en el ALP es, por tanto, un proceso innovador para el aprovechamiento de un producto cuya eliminación representa un coste para las almazaras (Roig *et al.*, 2006). Ya se han puesto en marcha varias estrategias (Turano *et al.*, 2002; Kujawski *et al.*, 2004; Roig *et al.*, 2006; Agalias *et al.*, 2007; Paraskeva *et al.*, 2007; Russo, 2007; Khoufi *et al.*, 2008; Gortzi *et al.*, 2008), aunque existen límites a su aplicación a nivel de la almazara debido a la complejidad del tratamiento previo del ALP y a los elevados costes de tratamiento e instalación. Recientemente se ha aplicado a escala industrial un sistema de filtrado con membrana para obtener un concentrado fenólico crudo (CFC) a partir del ALP tras el tratamiento previo en baño enzimático despolimerizante (Servili *et al.*, 2011a). Mediante este proceso, es posible obtener un volumen de entre el 75 y el 80%

del ALP, así como una gran reducción de la carga contaminante original del ALP (más del 95%). En especial, la concentración de polifenoles del ALP resultante es cuatro veces superior al del ALP original. Los polifenoles presentes en mayores cantidades son el 3,4-DHPEA-EDA y el verbascósido, aunque el contenido del primero se ve muy afectado por el almacenamiento prolongado del ALP, debido a la hidrólisis del ALP (Servili *et al.*, 2011a). ■

## REFERENCIAS

Agalias A., Magiatis P., Skaltsounis A., Mikros E., Tsiropoulos A., Gikas E., et al., 2007. A new process for the management of olive oil mill waste water and recovery of natural antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, p. 2671-2676.

Amirante P., Clodoveo M., Dugo L., Leone G., Tamborrino A., 2006. Advance technology in virgin olive oil production from traditional and de-stoned pastes: Influence of the introduction of a heat exchanger on oil quality. *Food Chemistry*, 98, p. 797-805.

Angerosa F., Servili M., Selvaggini R., Taticchi A., Esposto S., & Montedoro G F., 2004. Volatile compounds in virgin olive oil: Occurrence and their relationship with the quality. *Journal of Chromatography A*, 1054, p. 17-31.

Angerosa F., Basti C., Vito R., Lanza B. 1999. Effect of fruit stone removal on the production of virgin olive oil volatile compounds. *Food Chemistry*, 67, p. 295-299.

Bach-Faig A., Berry EM., Lairon D., Reguant J., Trichopoulou A., Dernini S., ... & Serra-Majem L., 2011. Mediterranean diet pyramid today. Science and cultural updates. *Public Health Nutrition*. 14, p. 2274-2284.

Boselli E., Di Lecce G., Strabbioli R., Pieralisi G. & Frega N.G., 2009. Are virgin olive oils obtained below 27 °C better than those produced at higher temperatures? *LWT - Food Science and Technology*, 42, 3, p. 748-757.

Cicerale S., Lucas LJ, and Keast RSJ., 2011. Antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory phenolic activities in extra virgin olive oil. *Current opinion in biotechnology*, 23, (2), p. 129-135.

De Marco E., Savarese M., Paduano A., Sacchi, R., 2007. Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive oil mill waste waters. *Food Chemistry*, 104, p. 858-867.

E.U., 2003 November 6, Regulation 1989/03 amen-

ding Regulation (EEC) No 2568/91 on the characteristics of olive oil and olive-pomace oil and on the relevant methods of analysis. Official Journal of the European Communities L. 295/57 13/11/2003.

E.U., 2011. Regulation No. 61/2011 of 24 January 2011 amending Regulation (EEC) No. 2568/91 on the characteristics of olive oil and olive-residue oil and on the relevant methods of analysis. Official Journal of the European Union, L23, 1–14.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to polyphenols in olive and protection of LDL particles from oxidative damage (ID 1333, 1638, 1639, 1696, 2865) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 9, 4, 2033, p. 1-25.

Gómez-Rico A., Inarejos-García A. M., Salvador D.M., & Fregapane G., 2009. Effect of malaxation conditions on phenol and volatile profiles in olive paste and the corresponding virgin olive oils (*Olea europaea* L. Cv. Cornicabra). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(9), p. 3587–3595.

Gortzi O., Lalas S., Chatzilazarou A., Katsoyannos E., Papaconstantinou S.,

Dourtoglou E., 2008. Recovery of natural antioxidants from olive mill wastewater using Genapol-X080. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85, p. 133–140.

Inglese P., Famiani F., Galvano F., Servili M., Esposito S., Urbani S., 2011. Factors affecting extra-virgin olive oil composition. *In Horticultural Reviews*, Jules Janik Ed., John Wiley & Sons Pubs., 38, p. 83-148.

International Olive Council, IOC;1987. Sensory analysis of olive oil – Method – Organoleptic assessment of virgin olive oil. COI/T.20/Doc. No. 3. Madrid, June 18th.

International Olive Council, IOC, 2010. Determination of the content of waxes, fatty acid methyl esters and fatty acid ethyl esters by capillary gas chromatography. COI/T. 20/NC No 28/Rev. 1, 1–17.

Khoufi S., Aloui F., Sayadi S., 2008. Extraction of antioxidants from olive mill wastewater and electro-coagulation of exhausted fraction to reduce its toxicity on anaerobic digestion. *Journal of Hazardous Materials*, 151, p. 531–539.

Kujawski W., Warszawski A., Ratajczak W., Porębski T., Capała W., Ostrowska I., 2004. Removal of phenol from wastewater by different

separation techniques. *Desalination*, 163, p. 287–296.

Lopez-Huertas E., 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. *Pharmacological Research*, 61, p. 200–207.

López-Miranda J., Pérez-Jiménez F., Ros E., et al., 2010. Olive oil and health: Summary of the II international conference on olive oil and health consensus report, Jaén and Córdoba (Spain) 2008. In Nutrition, *Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 20, p. 284-294.

Lavelli V., and Bondesan L., 2005. Secoiridoids, tocopherols, and antioxidant activity of monovarietal extra virgin olive oils extracted from destoned fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 53, p. 1102-1107.

Mulinacci N., Giaccherini C., Innocenti M., Romani A., Vincieri F.F., Marotta F., Mattei A., 2005. Analysis of extra virgin olive oils from stoned olives. *J. Sci. Food Agric.* 85,p. 662- 670.

Niaounakis M., Halvada-kis C.P., 2004. Olive-mill waste management. Literature review and patent survey. Atene: Typothito- George Dardanos.

Obied H.K., Bedgood Jr. D.R., Prenzler P.D., Robards

- K., 2007. Bioscreening of Australian olive mill waste extracts: Biophenol content, antioxidant, antimicrobial and molluscicidal activities. *Food and Chemical Toxicology*, 45, p. 1238–1248.
- Obied H.K., Prenzler P.D., Omar S. H., Ismael R., Servili M., Esposto S., Taticchi A., Selvaggini R., and Urbani S. 2012. Pharmacology of Olive Biophenols., p. 195-223. *In Advances in molecular toxicology* Vol. 6. Eds. James C. Fishbein and Jacqueline M. Heilman.
- Obied H.K., Prenzler P.D., Robards K., 2008. Potent antioxidant biophenols from olive mill waste. *Food Chemistry*, 111, p. 171–178.
- Paraskeva C.A., Papadakis V.G., Kanellopoulou D.G., Koutsoukos P.G., Angelopoulos K.C., 2007. Membrane filtration of olive mill wastewater and exploitation of its fractions. *Water Environment Research*, 79, p. 421–429.
- Parenti A., Spugnoli P., Masella P. and Calamai L., 2006a. Carbon dioxide emission from olive oil pastes during the transformation process: technological spin offs. *Eur. Food Res. Technol.*, 222, p.521-526.
- Parenti A., Spugnoli P., Masella P., Calamai L., and Pantani, O.L., 2006b. Improving olive oil quality using CO<sub>2</sub> evolved from olive pastes during processing. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 108, p. 904-912.
- Pauselli M., Servili M., Esposto S., Gervasi G., Mourvaki E., Taticchi A., Urbani S., Selvaggini R., Concezzi L., and Montedoro GF., 2007. Effect of destoned olive cake as animal feed on ewe milk quality. Proc. of the International Conference New technologies for the treatment and valorization of agro by-products ISRIM, Terni-Italy 3-5 October.
- Roig A., Cayuela M.L., Sanchez-Monedero M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorization methods. *Waste Management*, 26, p. 960–969.
- Russo C., 2007. A new process for the selective fractionation and total recovery of polyphenols, water and organic substances from vegetation waters (VW). *Journal of Membrane Science*, 288, p. 239–246.
- Servili M., Baldioli M., Selvaggini R., Macchioni A. and Montedoro GF. 1999 Phenolic compounds of olive fruit: One- and Two-Dimensional Nuclear Magnetic Resonance characterization of nüzhenide and its distribution in the constitutive parts of fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, p.12-18.
- Servili M., 2012. Olive oil processing technologies and investments. Proc. of the International Seminar on Present and future of Mediterranean olive sector. Mediterranean Agronomic Institute of Zaragoza, Spain, 26-28 November 2012.
- Servili M., Esposto S., Fabiani R., Urbani S., Taticchi A., Mariucci F., Selvaggini R., Montedoro GF., 2009b. Phenolic compounds in olive oil: antioxidant, health and sensory activities according to their chemical structure. *Inflammopharmacology*, 17, p. 76-84.
- Servili M., Esposto S., Taticchi A., Urbani S. Di Maio I., Sordini B., Selvaggini R., Montedoro GF., Angerosa F., 2009a. Volatile compounds of virgin olive oil: their importance in the sensory quality. *In Advances in Olive Resources*, Berti L. and Maury J. Eds., p. 45-77.
- Servili M., Taticchi A., Esposto S., Urbani S., Selvaggini R. and Montedoro GF., 2007a. Effect of olive stoning on the volatile and phenolic composition of virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, p. 7028-7035.
- Servili M., Selvaggini R., Baldioli M., Begliomini L., Taticchi A., Esposto S., Montedoro G.F., 2002. Effect of the time of exposure to the air contact of olive pastes during the mechanical extraction process on the volatile and phenolic com-

pounds of virgin olive oil. Innovation in virgin olive oil processing. *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, vol. LXXIX, 439–441.

Servili M., Pauselli M., Esposito S., Taticchi A., Urbani S., Selvaggini R., Montedoro GF., and Concezzi L., 2007b. New approach to the use of stoned olive pomaces for animal feeding. Proc. of the International Conference New technologies for the treatment and valorization of agro by-products. ISRIM, Terni, Italy 3-5 October.

Servili M., Selvaggini R., Esposito S., Taticchi A., Montedoro GF., Morozzi G., 2004. Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil. *Journal Chromatography A*, 1054, p. 113-127.

Servili M., Taticchi A., Esposito S., Urbani S., Selvaggini R. and Montedoro G.F., 2008b. Innovations in the extraction technology for the improvement of the virgin olive oil quality. Proc. 6th Euro Fed Lipid Congress., Athens, Greece 7-10 September. p. 138.

Servili M., Taticchi A., Esposito S., Urbani S., Selvaggini R., & Montedoro GF., 2008a. Influence of the decrease in oxygen during malaxation of olive paste on the composition of volatiles and phenolic compounds in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (21), p. 10048–10055.

Servili M., Taticchi A., Esposito S., Urbani S., Veneziani G., Fabiani R., Morozzi G. and Montedoro, GF., 2007c. Recovery and chemical characterization of bioactive phenols from virgin olive oil vegetation waters. Proc. of the International Conference New technologies for the treatment and valorization of agro by-products, ISRIM, Terni, Italy 3-5 October.

Servili M., Esposito S., Veneziani G., Urbani S., Taticchi A., Di Maio I., Selvaggini R., Sordini B. and Montedoro GF. 2011a. Improvement of bioactive phenol content in virgin olive oil with an olive-vegetation-water concentrate produced by membrane treatment. *Food Chemistry*, 124, p. 1308–1315.

Taticchi A., Esposito S., Veneziani G., Urbani S.,

Selvaggini R., Servili M., 2013. The influence of the malaxation temperature on the activity of polyphenoloxidase and peroxidase and on the phenolic composition of virgin olive oil. *Food Chemistry*, 136, p. 975–983.

Terés S., Barceló -Coblijn G., Benet M., Álvarez R., Bressani R., Halver J. E. and Escriba P. V., 2008. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil. *PNAS*, 105 (37), p. 13811–13816.

Turano E., Curcio S., De Paola M., Calabrò V., Iorio G., 2002. An integrated centrifugation–ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater. *Journal of Membrane Science*, 209, p. 519–531.

Vierhuis E., Servili M., Baldioli M., Schols H.A., Voragen A.G.J., Montedoro G.F., 2001. Effect of enzyme treatment during mechanical extraction of olive oil on phenolic compounds and polysaccharides. *J. Agr. Food Chem.* 49:1218-1223.

# Sistemas de producción en olivicultura\*

R. Fernández-Escobar<sup>1</sup>, R. de la Rosa<sup>2</sup>, L. León<sup>2</sup>, J. A. Gómez<sup>3</sup>, L. Testi<sup>3</sup>, F. Orgaz<sup>3</sup>,  
J. A. Gil-Ribes<sup>4</sup>, E. Quesada-Moraga<sup>5</sup>, A. Trapero<sup>1</sup> y M. Msallem<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, edificio C4, 14071, Córdoba (España).

<sup>2</sup> IFAPA Centro Alameda del Obispo. Avda. Menéndez Pidal s/n, 14004, Córdoba (España). <sup>3</sup> Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Apartado 4084, 14080, Córdoba (España). <sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, 14071, Córdoba (España). <sup>5</sup> Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, edificio C4, 14071, Córdoba (España). <sup>6</sup> Institut de L'Olivier, Túnez (Túnez).

## RESUMEN

El olivo es uno de los cultivos oleaginosos más importantes del Mediterráneo. El hecho de que el olivo haya estado presente durante siglos en la mayoría de los países productores puede inducir a engaño en relación con la sostenibilidad, la rusticidad, la longevidad y la adaptabilidad de su cultivo. Actualmente, existen olivos plantados en todas las regiones del globo ubicadas entre los 30° y los 45° de latitud, en ambos hemisferios. La olivicultura es un agrosistema complejo con distintos sistemas de producción, distintos paquetes tecnológicos para el cultivo y distintos recursos genéticos. Al examinar la evolución de la olivicultura, se observa que el cultivo del olivo se expandió lentamente hasta los años 50 del siglo XX, momento a partir del cual los sistemas de plantación abandonaron sus rasgos tradicionales para adoptar un carácter intensivo. Desde los años 90, la tendencia ha consistido en convertir los olivares tradicionales en olivares más intensivos. Los olivares in-

tensivos y de alta densidad están proliferando en las nuevas zonas de cultivo y en los nuevos países productores, con el fin de acortar el periodo no productivo y reducir costes. Estos cambios en los sistemas de cultivo se han visto acompañados en muchos casos por una explotación irracional e insostenible de los recursos naturales y por la introducción de nuevas variedades. Este estudio examina los diferentes sistemas empleados en la olivicultura y la transición desde los sistemas tradicionales a sistemas de producción más intensivos.

**Palabras clave.** Recursos genéticos, olivares intensivos, producción de aceitunas sostenible, mecanización, control de plagas y enfermedades

## INTRODUCCIÓN

Los olivares pueden encontrarse en condiciones muy diferentes, desde condiciones desérticas a climas más húmedos, y ocupan una superficie de unos 10 millones de hectáreas en todo el

mundo. En los últimos años, la producción de aceitunas se ha incrementado como consecuencia del desarrollo de olivares modernos, la intensificación de los olivares tradicionales y la expansión de la olivicultura por nuevas áreas de producción. Teniendo en cuenta la longevidad de los olivos, la mayoría de los países productores presenta un mosaico de olivares de diferentes tipos.

Tradicionalmente, el olivo se ha cultivado en condiciones extensivas en secano en olivares caracterizados por densidades de hasta 150 pies/ha y escasa mecanización. Estos tipos de olivar presentan un rendimiento habitualmente bajo y se encuentran ubicados en las zonas dedicadas a la olivicultura más antiguas, que utilizan cultivares locales. Una proporción importante de los mismos está situada en áreas marginales con topografía inclinada. La mayoría de los olivares del mundo se cultivan actualmente con este sistema.

Desde los años 70, los avances en las técnicas de

\* Este trabajo es una versión resumida de la ponencia presentada en el Seminario internacional "Presente y futuro del sector olivarero mediterráneo", celebrado en Zaragoza (España) en noviembre de 2012.

riego, manejo y recolección han introducido cambios en los nuevos sistemas de producción olivícola. Esto ha conducido a una intensificación de la olivicultura, con incrementos en la densidad de plantación hasta llegar a los 450 pies/ha y un marco final determinado por la disponibilidad de agua, las condiciones edafoclimáticas, el sistema de recolección y el cultivar. En estos olivares intensivos existe una fuerte tendencia hacia la mecanización de la recolección. Los árboles se caracterizan por un único tronco y la copa comienza, aproximadamente, a 1 m del suelo. La poda continua desde la plantación hasta la formación del árbol a los 5 o 6 años se considera un factor esencial para obtener una copa con la forma adecuada. El volumen de la copa por árbol tiende a ser menor en las nuevas plantaciones, mientras que la densidad es mayor.

El proceso de intensificación continuó a principios de los años 90 con la llegada de los olivares de alta densidad en seto, que se convirtieron en un sistema capaz de reducir la cantidad de mano de

obra necesaria para la recolección. Con unas densidades iniciales de unos 2000 pies/ha y un marco de plantación de, aproximadamente, 3,75 x 1,35 m, en este sistema los olivos se cultivan siempre con riego por goteo. En cuanto se plantan, se debe dar a las plantas una forma monocónica. Las cosechadoras desarrolladas para los viñedos se han adaptado para su uso en la recolección de las aceitunas. Las principales ventajas de este sistema consisten en la escasa necesidad de mano de obra para la recolección y en un inicio temprano de la producción comercial, que comienza tres años después de plantar el árbol. Sin embargo, la gran inversión necesaria para este sistema de plantación ha conducido a una reducción de la densidad, hasta unos 1200 pies/ha (marco de 4 x 2 m). Otro inconveniente es que el excesivo vigor de los pocos cultivares utilizados actualmente en este sistema impide realizar predicciones a largo plazo sobre los setos productivos (De la Rosa *et al.*, 2007). La poda mecánica se ha propuesto como solución para reducir la mano de obra tanto en los sistemas in-

tensivos como de seto, así como para mantener el volumen de la copa en unos límites adecuados. Una estrategia para controlar el vigor consiste en el desarrollo de nuevos cultivares de escaso vigor especialmente ideados para este sistema de cultivo o el uso de patrones enanizantes. Sin embargo, el vigor del cultivar se ve influido en gran medida por el entorno, por lo que deben llevarse a cabo ensayos específicos para probar la idoneidad de cada cultivar en el entorno concreto. Esto es especialmente importante en las zonas que se encuentren fuera de la Cuenca Mediterránea, en las que las condiciones climáticas podrían afectar enormemente al vigor.

El cuadro 1 resume las principales características de los sistemas de cultivo. Aunque los sistemas incluidos en el cuadro son los más populares hasta ahora, están surgiendo nuevos sistemas como consecuencia de la aparición de nuevas soluciones de recolección. Este es el caso de los olivares con densidades de unos 500 a 700 pies/ha y con un marco de plantación en hilera diseñado

**CUADRO 1.**  
**Características de los sistemas de olivicultura**

Sistema de cultivo	Superficie (%)	Producción (%)	Densidad (pies/ha)	Productividad (kg/ha)
Marginal	20	15	< 80	≤ 1000
Tradicional	50	45	80-150	1500-3000
Intensivo	29	40	200-450	5000-7000 (8000-12000 en regadío)
Alta densidad	1		1500-2500	8000-12000

para una recolección mecánica continua (Ravetti y Robb, 2010). Un número mayor de cultivares podría adaptarse a este sistema, que queda a medio camino entre los olivares intensivos y los sistemas de seto.

En muchos países productores, existe tendencia a convertir algunos olivares tradicionales en plantaciones más intensivas. Dichos intentos deben planificarse bien y deberían tener en cuenta todos los aspectos edafoclimáticos, económicos y sociales antes de su puesta en marcha.

## RECURSOS GENÉTICOS

Los primeros olivicultores seleccionaban los ejemplares con los mejores caracteres en bosques de olivos salvajes, eligiendo, p. ej., los que tenían frutos de mayor tamaño, mayor proporción de pulpa y mayor contenido de aceite. Este proceso probablemente tuvo lugar de forma simultánea en distintos lugares del Mediterráneo y fue el origen de numerosos cultivares locales, cuya dispersión quedó restringida en gran medida a su zona de origen. Durante muchos años, los olivares tradicionales se plantaron con estos cultivares locales. Sin embargo, en las últimas décadas, las técnicas de olivicultura han evolucionado considerablemente, dando lugar a nuevos olivares con un marco de plantación que ofrece

una mayor producción y que facilita la recolección mecánica.

Los cambios en los sistemas de cultivo se han visto acompañados en muchos casos por la sustitución de los cultivares tradicionales por variedades hasta ahora desconocidas en esas regiones. Con frecuencia, no se ha llevado a cabo una experimentación previa a estos cambios que confirme la idoneidad de las variedades para las nuevas zonas, a pesar de que varios estudios muestran que los caracteres agronómicos y de calidad de todo cultivar de olivo pueden variar en función de la zona de cultivo. La falta de experimentación previa ha conducido en algunos casos al fracaso comercial de las nuevas plantaciones.

Las plantaciones de alta densidad en seto son un buen ejemplo de los importantes cambios que se han producido en los olivares en los últimos años. Sin embargo, no existen cultivares específicos de vigor reducido o patrones enanizantes adaptados a este sistema. Debido a la falta de cultivares específicos para este sistema, se han utilizado principalmente los cultivares con una entrada en producción temprana, como la Arbequina, la Arbosana o la Koroneiki (De la Rosa *et al.*, 2007), aunque no se pueden considerar realmente cultivares de vigor reducido. Esto

podría plantear un problema, especialmente en condiciones de cultivo muy favorables, y ha servido de estímulo para elaborar programas de mejora genética de las variedades para obtener nuevos cultivares que amplíen el abanico de cultivares disponibles adaptados a los sistemas de olivicultura modernos.

En los últimos años, se han llevado a cabo intentos de mejora genética en distintos países, aunque sólo se ha conseguido completar el proceso en unos pocos casos. Como consecuencia de estos programas de mejora genética, se han introducido recientemente algunos cultivares nuevos. Entre ellos, se han comercializado con cierto éxito los nuevos cultivares Barnea (Lavee *et al.*, 1986), Fs17 (Fontanazza *et al.*, 1998) y Chiquitita/Sikitita (Rallo *et al.*, 2008), tanto en sus países de origen como en el extranjero.

Algunas herramientas genómicas recientemente desarrolladas podrían ayudar a mejorar varios aspectos en la olivicultura. El uso más práctico de la genómica en la actualidad consiste en la autenticación de las plantas de vivero. Puesto que la plantación de un nuevo olivar resulta muy costosa y los errores en la elección del cultivar utilizado únicamente son aparentes transcurridos 3 ó 4 años desde el cultivo en el te-

reno, la autenticación del olivar resulta muy recomendable, especialmente cuando se utilizan cultivares extranjeros o poco conocidos. Además, existen ensayos moleculares y serológicos para comprobar que las plantas de vivero no incorporen hongos patógenos, bacterias ni virus. Sin embargo, no se ha producido una gran demanda de plantas certificadas en la mayoría de los países olivicultores. También se están utilizando marcadores moleculares y estudios de los genes expresados para descubrir la base genética de los caracteres agronómicos más importantes de las aceitunas, como el contenido de aceite, la calidad del aceite y la resistencia al estrés biótico y abiótico. En el futuro, estos estudios podrían ayudar en gran medida a acelerar los programas de mejora genética, ya que facilitarían enormemente el proceso de selección.

## **GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS OLIVARES**

### **Manejo y degradación del suelo**

La degradación del suelo es una de las principales amenazas para la sostenibilidad de la olivicultura. Las pérdidas de materia orgánica en zonas caracterizadas por suelos poco profundos generan daños, como la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo,

que resulta esencial para la supervivencia y la productividad de los olivos de secano. La disminución de la calidad del agua en los cursos de agua debido al exceso de sedimentos y agroquímicos se ha percibido como un importante problema medioambiental en algunas zonas destinadas a la olivicultura.

Durante siglos, el manejo del suelo en el olivar ha tenido por objetivo garantizar la productividad y la supervivencia de la plantación en condiciones de escasez de lluvias gracias a una combinación de baja densidad de plantación, limitación del tamaño de las copas mediante la poda y eliminación de vegetación adventicia para limitar la competencia por el agua del suelo. Los cultivos extensivos tradicionales constituían un sistema en el que el suelo estaba cubierto por vegetación durante parte del año. Este sistema únicamente sufría pérdidas de suelo moderadas, especialmente si se disponía en una configuración en mosaico, en la que los olivares estuvieran rodeados por zonas de vegetación natural o estructuras de retención. Los sistemas tradicionales basados en un uso del olivar integrado con cultivos herbáceos de baja densidad o con el pastoreo parecían encontrarse en una situación similar. Sin embargo, los índices de erosión aumentaron y se volvieron insostenibles cuando el cultivo

del olivo comenzó a llevarse a cabo de forma sistemática en zonas inclinadas y en entornos cubiertos únicamente por olivos.

La posibilidad de laboreo durante todo el año gracias a la mecanización, junto con la disponibilidad de herbicidas, terminaron por eliminar completamente la vegetación adventicia. Las mediciones realizadas en pequeñas cuencas también revelan grandes pérdidas que afectan a la calidad de las aguas superficiales. La extrapolación de los análisis regionales a áreas con unas condiciones y unos tipos de manejo del suelo similares revela que se trata de un problema extendido por toda la Cuenca Mediterránea, en la que aún se concentran la mayor parte de los olivares (Gómez *et al.*, 2008).

En las últimas décadas, el motor principal para el control de la erosión en los olivares ha consistido en el desarrollo y la expansión del uso de cubiertas vegetales en las calles comprendidas entre las hileras de olivos para evitar la erosión y mejorar las propiedades del suelo. Esta cubierta se controla mediante la siega o la aplicación de herbicidas a finales del invierno o en la primavera para evitar que compita con los olivos por el agua del suelo. Sin embargo, en las plantaciones comerciales, los resultados alcanzados aún son heterogéneos. Sigue existiendo una

considerable incertidumbre en relación con el impacto de la competencia de la cubierta vegetal, especialmente en años con escasas precipitaciones, en los olivares plantados a distintas densidades o en lugares con climas cambiantes caracterizados por temperaturas más altas y menores precipitaciones (Gucci y Caruso, 2011). La expansión del riego del olivar es un cambio relevante que afectará al uso de las cubiertas vegetales en las zonas de cultivo del olivo. Esto ofrece cierto margen de seguridad para llevar a cabo un manejo del suelo con cubierta vegetal sin que se limite significativamente la producción de aceitunas, pero aún no parece haberse evaluado en profundidad. También se ha demostrado el efecto beneficioso de un acolchado compuesto por los restos de la poda. Éste presenta un efecto similar al de la cubierta vegetal, pero sin el riesgo de competencia por el agua, aunque la cantidad de restos de la poda necesarios para evitar la erosión no siempre se encuentra disponible en los olivares menos productivos.

La simplificación del paisaje resultante de la extensión y la intensificación de los olivares también ha generado una fuerte erosión en cárcavas y barrancos. Este problema presenta graves consecuencias para la sostenibilidad del cultivo del olivo. Las técnicas basadas en

el incremento de la cubierta vegetal tienen muy poco efecto en la prevención de la erosión en cárcavas y barrancos, ya que son mucho más eficaces para limitar las pérdidas de suelo que para reducir las escorrentías (Gómez *et al.*, 2011).

### Riego y sostenibilidad

El riego es una práctica relativamente reciente en la olivicultura. Aunque tradicionalmente se ha utilizado algún tipo de riego en los olivos cultivados en zonas muy áridas como práctica auxiliar, la mayor parte del agua disponible en la explotación agrícola se destinaba habitualmente a otros cultivos con menor tolerancia a la sequía. La aparición del riego por goteo en los años 60 facilitó el riego de los olivares ubicados en topografías inclinadas. Las nuevas plantaciones suelen contar en general con un sistema de riego, ya que la producción es muy sensible a cantidades relativamente pequeñas de agua procedente del riego. Una función de la evapotranspiración y el rendimiento revela un aumento de 5 kg de aceite de oliva por hectárea por cada milímetro de agua evapotranspirada durante la temporada (Moriana *et al.*, 2003). La relación no es lineal, por lo que la productividad marginal del agua, es decir, el incremento del rendimiento por cada unidad

incremental de agua utilizada en el cultivo, es mayor en condiciones de uso escaso del agua y menor cuando se aproxima a la necesidad total de agua del olivo. Los olivos normalmente se cultivan en entornos áridos y semiáridos en los que el agua de riego de la que disponen los agricultores es el principal factor limitante de la cosecha. En estas circunstancias, los agricultores tienden a utilizar una cantidad de agua menor que la necesaria para obtener una producción total y tienden a distribuirla en la máxima área posible a la vez que procuran evitar el estrés hídrico cuando el cultivo es más sensible (p. ej., durante la floración o la lipogénesis). Esta estrategia se conoce como “riego deficitario regulado” o RDR. La demanda excesiva de agua es un importante riesgo asociado al riego del olivo en las zonas destinadas a la olivicultura que ya se encuentran en riesgo de desertización. Las necesidades de agua de las zonas destinadas a la olivicultura deben determinarse, por tanto, con la mayor precisión posible. El cambio de los olivares en régimen de secano por olivares en régimen de regadío conlleva una intensificación del sistema de cultivo. Únicamente puede obtenerse el máximo rendimiento mediante una adecuada inversión del agua, es decir, encauzando el agua hacia los entornos más productivos capaces de albergar olivares de

alta densidad, intensivos y productivos.

Puesto que el riego deficitario se practica en muchos olivares que suelen encontrarse en zonas semiáridas, un problema medioambiental habitual asociado a estas condiciones es la salinización del suelo. El uso de agua salina para el riego de los olivos no tiene por qué ser perjudicial para el medio ambiente, pero deben controlarse de cerca los cambios en el suelo a fin de garantizar la sostenibilidad. Los efectos de la salinidad sobre la producción dependen de la concentración, pero, a pesar de que la tolerancia es una característica dependiente del cultivar, la mayoría de los cultivares cultivados en condiciones semiáridas pueden desarrollarse bien con una E<sub>Ce</sub> de entre 3 y 6 dS/m sin que disminuya significativamente la producción. Los olivos son menos sensibles al Cl<sup>-</sup> en las hojas que al Na<sup>+</sup>, y el Ca<sup>2+</sup> desempeña un papel importante en los mecanismos de retención y exclusión del Na<sup>+</sup>. Melgar *et al.* (2009) sugirieron que puede utilizarse agua de riego con una elevada salinidad durante un tiempo largo sin que afecte al crecimiento del olivo y a su producción, siempre que se lleve a cabo un manejo adecuado que incluya la adición de Ca<sup>2+</sup> al agua de riego para evitar la toxicidad del Na<sup>+</sup>, el uso de riego por goteo hasta el reposo invernal y el uso de un cultivar tolerante.

### **Fertilización, calidad de la cosecha y medio ambiente**

La fertilización es una práctica habitual en la olivicultura porque pretende satisfacer las necesidades nutricionales de los árboles cuando el suelo no contiene las cantidades suficientes de los nutrientes necesarios para su crecimiento. El programa de fertilización anual puede variar entre los distintos olivares y en los diferentes años para el mismo olivar. Sin embargo, un estudio realizado en la Cuenca mediterránea (Fernández-Escobar, 2008) reveló que, en el 77% de los casos, el programa de fertilización se repetía cada año y generalmente consistía en la aportación de varios minerales, aunque en la mayoría de los casos se desconocía el estado nutricional del olivar. Esta estrategia tiende a añadir más minerales de los necesarios y, al mismo tiempo, puede acarrear deficiencias de minerales si determinado elemento no se incorpora en cantidades suficientes. El uso excesivo de fertilizantes innecesarios aumenta los costes de cultivo, contribuye innecesariamente a aumentar la contaminación del suelo y el agua, y puede repercutir negativamente sobre el árbol y la calidad de la cosecha.

Predecir la cantidad de fertilizantes necesarios cada año para conseguir una productividad óptima no es tarea simple. Desde un punto de

vista racional, sólo debe añadirse un nutriente cuando existan pruebas de que resulta necesario. Con este objetivo, el análisis foliar ofrece una indicación del estado nutricional del árbol y es una herramienta importante para determinar las necesidades de fertilización (Fernández-Escobar, 2007).

Las plantas perennes, como el olivo, disponen de órganos de almacenamiento de nutrientes que les ayudan a reutilizarlos fácilmente. Este es el motivo por el cual sus necesidades de nutrientes son inferiores a las de las plantas anuales. La deficiencia de potasio es el principal problema nutricional de los olivos en régimen de secano, ya que la baja humedad del suelo limita la dispersión del ión de potasio en la disolución del suelo e impide su absorción por las raíces. El problema se intensifica cuando la producción es alta, ya que se trata del elemento absorbido en mayores cantidades por la cosecha: alrededor de 4,5 gramos de potasio por kilogramo de aceitunas. En los olivares en régimen de secano, entre dos y cuatro aplicaciones de 1% a 2% K en las hojas han dado resultados satisfactorios, aunque normalmente es necesario repetir las aplicaciones en las siguientes temporadas hasta que el potasio alcance un nivel adecuado en las hojas. En los suelos calcáreos, además de la deficiencia de potasio,

puede existir deficiencia de hierro. Los árboles con deficiencia de hierro, lo que se conoce como *clorosis férrica*, muestran una serie de síntomas característicos, como clorosis en hoja, escaso crecimiento de los brotes y menor producción. La corrección de la clorosis férrica es complicada y costosa. La mejor solución para los nuevos olivares consiste en elegir una variedad que tolere esta anomalía. En los olivares ya existentes, el remedio pasa por la aplicación de quelatos de hierro en el suelo o por la inyección de soluciones de hierro en el tronco. En los suelos ácidos cabe esperar deficiencias de calcio. En estas situaciones resulta necesario aplicar carbonato de calcio. La cantidad necesaria depende de la textura y el pH del suelo. Por último, el nitrógeno es el mineral necesario en mayores cantidades por las plantas, por lo que se utiliza habitualmente en los programas de fertilización de cultivos de horticultura. Sin embargo, estudios a largo plazo han demostrado que las aplicaciones anuales de fertilizantes de nitrógeno no son necesarias para mantener una productividad y un crecimiento elevados. Por el contrario, se han descrito efectos negativos de esta práctica sobre los árboles, la calidad de la cosecha y el medio ambiente (Fernández-Escobar, 2011). Estos estudios recomiendan que la mejor estrategia para optimizar

la fertilización con nitrógeno en los olivares, así como la fertilización con otros nutrientes, consiste en aplicarlos únicamente cuando el análisis de las hojas de la temporada anterior indique que las concentraciones de nitrógeno en las hojas han caído por debajo del límite indicador de la deficiencia.

### MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL OLIVO

El olivo es un cultivo leñoso con un agroecosistema complejo en el que existe un buen equilibrio entre numerosos organismos a distintos niveles tróficos. Algunos de estos organismos son fitófagos o patógenos del olivo, otros son depredadores y parasitoides entomófagos, es decir, antagonistas de los patógenos, e incluso se encuentran algunas especies que buscan refugio. Los organismos fitófagos o patógenos que se alimentan del olivo o que se desarrollan en el mismo pueden determinar en gran medida si la olivicultura resulta factible desde el punto de vista económico en determinadas situaciones.

La mayor parte de las miles de publicaciones sobre los insectos del olivo en la Cuenca mediterránea tienen por objeto de estudio de menos de una docena de especies, que representan las principales plagas. Estas in-

cluyen plagas importantes, como la mosca del olivo (*Bactrocera oleae*), la polilla del olivo (*Prays oleae*) y la cochinilla negra (*Saissetia oleae*), así como algunas plagas secundarias, aunque en ocasiones importantes, como el piojo blanco (*Aspidiotus nerii*), los dos barrenillos del olivo *Hylesinus oleiperda* y *Phloeotribus scarabaeoides*, y el agusanado del olivo (*Euzophera pinguis*).

Existen más de 100 patógenos del olivo, aunque solamente algunos provocan pérdidas económicas importantes en el olivar. Un grupo importante está compuesto por las enfermedades fúngicas de las hojas y los frutos, principalmente el repilo del olivo, provocado por el hongo *Fusicladium oleagineum*, la antracnosis, provocada por el hongo *Colletotrichum* spp., y el emplomado del olivo, provocado por *Pseudocercospora cladosporioides*. Estas tres enfermedades, que provocan una grave defoliación y debilitación del olivo y reducen la productividad de la planta y la calidad del aceite, son los motivos por los que se aplican con regularidad tratamientos fungicidas en los olivares. Otra enfermedad importante es la verticilosis, provocada por el hongo vascular *Verticillium dahliae*. Se trata de una enfermedad desconocida hace 30 años, pero actualmente se considera la enfermedad más grave y el principal reto al

que se enfrenta la olivicultura en algunas zonas del Mediterráneo. Otras enfermedades con un impacto moderado en los olivares mediterráneos son la tuberculosis del olivo, causada por la bacteria *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* y que provoca lesiones en las hojas y las ramas; y una podredumbre radical y de la copa causada por distintas especies del género oomycete *Phytophthora*, especialmente prevalente en suelos saturados (Trapero y Blanco, 2010). Estas plagas y enfermedades del olivo limitan en gran medida la producción de aceite de oliva, puesto que reducen el rendimiento del olivar e incrementan el coste total de producción. Se estima que se pierde aproximadamente el 30% de la producción de aceitunas debido a plagas y enfermedades, cuyo control tiene un coste anual que supera los 200 millones de euros.

La biodiversidad tiende a ser elevada en las plantaciones de olivos con un manejo tradicional, ya que su diversidad estructural proporciona diversos hábitats. Los árboles más antiguos contienen una amplia diversidad y una gran densidad de insectos y microorganismos, que, junto con los frutos, ofrecen una abundante fuente de alimento. El escaso uso de plaguicidas permite el florecimiento de una rica flora y una abundante fauna de insectos, lo

que, a su vez, supone una valiosa fuente de alimento para diversas especies de aves. Por el contrario, el uso intensivo de técnicas de aumento de la producción repercute de forma muy negativa sobre la flora de la cubierta vegetal, los microorganismos y las poblaciones de insectos, y reduce considerablemente la diversidad de la flora y la fauna y el número total de individuos.

Al plantar olivos, resulta esencial utilizar un **material certificado**, en especial para evitar problemas ulteriores relacionados con los cocoideos, las cochinillas algodonosas y otros insectos chupadores o picadores. El uso de un material certificado también resulta esencial para la salud de la planta, en especial en el caso de patógenos que provocan infecciones sistémicas (*V. dahliae*, virus y fitoplasmas) y en el caso de aquéllos que se asocian al material de la planta y no pueden detectarse fácilmente, como la fase epifita del *P. savastanoi*, las infecciones latentes de *F. oleagineum* y las infecciones de las raíces causadas por hongos o nematodos. No es extraño que los síntomas de algunas de estas enfermedades aparezcan meses o años después de haber plantado los árboles.

**La fertilización** repercute considerablemente sobre la incidencia de insectos. Así, el uso excesivo de fertilizan-

tes nitrogenados trae consigo la aparición de numerosos brotes nuevos, que ayudan a un alto porcentaje de ninfas neonatas de *S. oleae* a encontrar lugares de asentamiento adecuados. Por el contrario, una absorción equilibrada de minerales no sólo mejora el estado nutricional de los olivos sino también sus mecanismos de defensa, de forma que les ayuda a evitar a los herbívoros que se desarrollan fácilmente en los árboles debilitados, como *E. pinguis* o *H. oleiperda*. En este sentido, el exceso de nitrógeno y la carencia de potasio aumentan la susceptibilidad de los olivos a sufrir los efectos de los patógenos foliares de origen fúngico (principalmente el repilo) y la verticilosis.

**El riego** puede influir tanto en el estado vegetativo del olivo como en el microclima del suelo, en primer lugar favoreciendo la aparición de ácaros, cocoideos y la mosca del olivo, y, en segundo lugar, aumentando la incidencia de *O. cribricollis* y gusanos blancos. El riego también aumenta la actividad de los patógenos de las raíces (*V. dahliae*, *Phytophthora* spp., etc.) y el agua de riego puede contribuir a la dispersión del patógeno. Ambas posibilidades se han confirmado para la verticilosis, que, en consecuencia, resulta especialmente grave en los olivares en régimen de regadío.

**Los sistemas de manejo del suelo** influyen no sólo en las poblaciones de fitófagos y en los patógenos del suelo, sino también en los depredadores, los parasitoides y los antagonistas. Existe poca información disponible, aunque se ha descrito el efecto reductor de algunas crucíferas cultivadas en la cubierta vegetal sobre los inóculos del *V. dahliae* en el suelo. También se ha publicado que la cubierta vegetal aumenta la infección de las hojas por *F. oleagineum* debido a una mayor humedad en las partes inferiores de la copa de los árboles. En general, el manejo convencional del olivar repercute negativamente sobre la abundancia de arañas en las copas y, en menor medida, sobre su diversidad. Por el contrario, la cubierta vegetal aumenta la población de arañas, aunque este efecto es mayor en el caso de las cubiertas naturales que en las plantadas. En general, el laboreo puede ayudar a eliminar las distintas fases de las plagas del suelo y a reducir los inóculos de los patógenos que sobreviven en las hojas caídas, pero también destruye los nidos de sus enemigos naturales, por lo que limita su efecto beneficioso, y favorece la dispersión de los inóculos de algunos patógenos presentes en el suelo, como el *V. dahliae*.

La **poda** tiene un gran efecto sobre la incidencia y el control de las plagas y las

enfermedades. Afecta a los insectos fitófagos y a los patógenos presentes en el aire mediante la modificación del microclima presente en la copa y mediante la disminución del número de inóculos debida a la eliminación de las partes afectadas del árbol. La mejora de la aireación del árbol mediante la poda reduce la incidencia de insectos como *S. oleae*, *P. oleae* y *L. ulmi*, y de los patógenos presentes en el aire *F. oleagineum*, *Colletotrichum*, *P. cladosporioides* y *P. savastanoi*. Sin embargo, una poda excesiva puede acarrear un fuerte crecimiento de brotes tiernos y, en su caso, favorecer la actividad de los cocoideos del olivo. Si se evitan las lesiones en la poda disminuirá la incidencia de *E. pinguis* y de hongos xilófagos. Los restos de la poda deben eliminarse y destruirse antes de que aparezcan los escolitinos. Los barrenillos del olivo *P. scabraeoides* y *Hylesinus* spp, y el mosquito de la corteza *R. oleisuga* se pueden controlar dejando como trampa madera de poda que debe destruirse o tratarse con insecticidas antes de la aparición de los adultos. Además, si se dejan los brotes epicórmicos en el árbol, es posible que protejan los brotes del olivo de los ataques del *O. cribicollis*, ya que prefiere los primeros.

**El método y la fecha de recolección** también pueden afectar a la actividad de los insectos y los patógenos. Las

lesiones provocadas en la recolección por vareo favorecen la actividad de *R. oleisuga*, *E. pinguis* y *P. savastanoi*. Se recomienda una recolección temprana para reducir la actividad de la mosca del olivo, la podredumbre radical provocada por el hongo *Colletotrichum* spp. y otras podredumbres del fruto, lo que indirectamente eleva la calidad del aceite de oliva resultante.

**La densidad de plantación** también puede tener una gran repercusión sobre la aparición de plagas y enfermedades, especialmente en las plantaciones densas, en las que existen zonas umbrías entre los árboles, lo cual aumenta la preservación de la humedad de las hojas y las infecciones por patógenos presentes en el aire (Trapero, 2007). Además, en el entorno actual de la olivicultura, cabe plantearse si las plagas y enfermedades consideradas secundarias en las plantaciones convencionales no podrían convertirse en un problema en las nuevas plantaciones de alta densidad. En la mayoría de los casos, este tipo de plantación presenta una elevada humedad en el suelo, producida por el riego, que podría crear un entorno favorable para el desarrollo de plagas y patógenos. De igual manera, la susceptibilidad del olivo a la mosca del olivo *B. oleae* es mayor en régimen de regadío que en régimen de secano (Santiago-Al-

varez *et al.*, 2010). Además, existen varios informes sobre la necesidad de adoptar medidas de control de las nuevas plagas (p. ej., *Margaronia unionalis*) y enfermedades (p. ej., podredumbre del fruto por *Alternaria*) en las plantaciones de olivos de alta densidad (León *et al.*, 2007). En este sentido, la tuberculosis del olivo se está convirtiendo en una de las principales enfermedades de los sistemas de seto, en los que deben intensificarse las medidas de control debido al aumento de las lesiones provocadas por la recolección y la poda.

Las actuales **estrategias de manejo de las plagas y las enfermedades** del olivo se basan aún en el uso de plaguicidas químicos. Sin embargo, la mayor sensibilización del público frente a la contaminación ambiental y los problemas derivados de los efectos secundarios de estos productos ha servido de estímulo para el desarrollo de plaguicidas benignos alternativos y para la aparición del concepto de «manejo integrado de plagas y enfermedades» (MIP). La estrategia MIP se basa en principios ecológicos y promueve el control biológico por medio de enemigos naturales, como depredadores, parásitos, patógenos de los insectos y microorganismos no patógenos antagonistas o competidores. También conlleva estrategias de control del cultivo para

minimizar la entrada y la dispersión de plagas y enfermedades, el uso de especies de plantas tolerantes y el uso prudente de los plaguicidas químicos.

Los bioinsecticidas se consideran la alternativa más viable para el control de las plagas del olivo. Mientras que los virus, las bacterias y los protozoos deben ingerirse con alimento, los hongos entomopatógenos penetran a través del exoesqueleto, una acción por contacto que los convierte en una alternativa atractiva a los productos químicos. Los hongos entomopatógenos desempeñan una doble función como bioinsecticidas, ya que también pueden emplearse como fuente aún sin explorar de nuevas moléculas de origen natural para su uso como insecticida. Las investigaciones han revelado la elevada presencia de los ascomicetos mitospóricos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* no sólo en el suelo de los olivares sino también en las aceitunas y la superficie de las hojas de la vegetación adventicia de los olivos. Además, se ha descubierto que el hongo *B. bassiana* es un agente de control biológico natural de la polilla del olivo, *Prays oleae* y del agusanado del olivo, *Euzophera pinguis* (Quesada-Moraga y Santiago-Álvarez, 2008). Para el control de las enfermedades del olivo se están utilizando de forma generalizada

productos derivados del cobre, por lo que resulta necesario encontrar alternativas para reducir el uso del cobre en los olivares. En la actualidad, se está investigando con productos naturales, remedios orgánicos y microorganismos antagonistas para el control de diversas enfermedades, aunque, por el momento, estos productos carecen de numerosas aplicaciones. En consecuencia, el control biológico de las enfermedades del olivo sigue constituyendo un reto al que se enfrenta la olivicultura moderna.

## RECOLECCIÓN MECÁNICA EN LOS OLIVARES

La recolección puede suponer hasta un 40% del coste de cultivo. El tipo de sistema de recolección empleado está determinado por el tipo de olivar (cuadro 2).

Los actuales avances en los sistemas de recolección de aceitunas no se han centrado en los olivares tradicionales. Este tipo de olivar, diseñado para la recolección manual, plantea varios problemas debido a las fuertes inclinaciones, en las que no resulta posible la mecanización. Los sistemas de recolección empleados en este tipo de plantación incluyen elementos auxiliares manuales, como los sacudidores de ramas y los peines vareadores.

**CUADRO 2.**  
**Coste de los sistemas de recolección de aceitunas empleados en los distintos tipos de olivar**

Tipo de olivar	Producción (kg/ha)	Sistema de recolección	Coste de recolección (€/kg de fruto)
Olivares tradicionales que no pueden mecanizarse	1.500-3.000	Sacudidor de ramas y recolección manual con varas	0,15-0,25
Olivares tradicionales mecanizados	4.000-6.000	Vibrador de troncos montado en tractor	0,14-0,19
Olivares intensivos	5.000-10.000	Vibrador de troncos autopropulsado	0,09-0,12
Olivares de alta densidad	8.000-10.000	Cosechadora cabalgante	0,04-0,06

Los sistemas de vibración son los métodos de recolección más habituales en los olivares de aceituna de almazara (figura 1). La tendencia actual consiste en el uso de vibradores de troncos para hacer caer las aceitunas en lonas o redes colocadas bajo los árboles. Este es el sistema más versátil, ya que puede utilizarse tanto en olivares tradicionales como intensivos. Sin embargo, se trata de un sistema de recolección poco eficiente en los olivares tradicionales debido al amplio diámetro del tronco y al

número de pies, así como al hecho de que la estructura del árbol está adaptada a la recolección manual e influye en gran medida sobre la transmisión de la vibración.

Actualmente, se está desarrollando un sistema de recolección mecánica integral para los olivares tradicionales en el que se emplean sacudidores de copa (figura 2). Su eficiencia de derribo es superior al 80%.

Una de las líneas de investigación más importantes

en la recolección de aceitunas se centra en la maximización del porcentaje de fruto derribado. En muchos casos, la eficiencia de la recolección está condicionada por los parámetros operativos de las máquinas empleadas y la idoneidad del olivo para la recolección mecánica (Gil-Ribes *et al.*, 2010).

La recolección mecánica integral incluye tres métodos: vibradores de troncos con paraguas invertido (vibradores envolventes), vibradores de troncos de doble pendiente y sacudidores de copa. El vibrador de troncos con paraguas invertido es el más habitual. Los olivos deben estar adaptados a este tipo de recolección y presentar un tronco recto con una longitud superior a 1 m para facilitar el enganche y el uso del interceptador. Los vibradores de troncos de doble pendiente son otra alternativa basada en la vibración y la interceptación de frutos (figura 3). Esta máquina comprende dos rampas interceptadoras que se mueven en pa-

Fig. 1. Vibrador de troncos montado en tractor



ralelo a ambos lados de la fila de árboles y un vibrador de troncos montado en una de las rampas.

Las cosechadoras cabalgantes están autopropulsadas por una transmisión hidrostática y su estructura cubre la superficie exterior de los olivos (figura 4). El fruto se derriba por medio de varios cabezales de vareo formados por varas curvas dispuestas radialmente en uno o varios ejes, que sacuden la copa alternativamente con un movimiento de baja frecuencia y gran amplitud. Las aceitunas se interceptan en el fondo del túnel, en el que una cinta transportadora envía el fruto a contenedores o la descarga continuamente en camiones. Durante el movimiento de avance para la recolección, un mecanismo deformable se pliega y cubre completamente el tronco, evitando así la caída y la pérdida de frutos.

La principal ventaja de la cosechadora cabalgante es que puede funcionar de manera ininterrumpida a una velocidad de 0,4 a 3 km/h, por lo que consigue una eficiencia de recolección de entre el 90 y el 95% del fruto. Para que estas máquinas puedan mover las varas por las copas, la copa del olivo debe ser pequeña (con una altura máxima de entre 2 y 3,5 m, y una anchura máxima de entre 0,80 y 1,20 m). Éste es uno de sus principales proble-

Fig. 2. Sacudidor de copa e interceptador adaptados para los olivares tradicionales



Fig. 3. Vibrador de troncos con paraguas invertido (izquierda) y vibrador de troncos de doble pendiente (derecha) en un olivar intensivo



Fig. 4. Cosechadora cabalgante para olivares intensivos (izquierda) y de alta densidad en seto (derecha)



mas. Las cosechadoras gigantes, como las utilizadas en los olivares intensivos, no han tenido éxito en Europa. Sin embargo, se utilizan habitualmente y están muy ex-

tendidas en los nuevos y modernos olivares ubicados en Australia y Argentina. Sus resultados son prometedores, pero, debido a su tamaño y su coste, esta maquinaria

únicamente puede emplearse en olivares grandes y situados en un terreno plano en el que las precipitaciones sean escasas durante el periodo de recolección.

El cultivo de aceitunas de mesa presenta limitaciones para la recolección mecánica debido a los posibles daños en la corteza del olivo, al inicio temprano de la recolección y a los daños en el fruto (magulladuras). En el caso de las aceitunas de mesa, los mejores vibradores de troncos disponibles en el mercado consiguen un porcentaje de derribo de fruto de entre el 70 y el 75%. Si la máquina se adapta al árbol y viceversa, es posible conseguir una eficiencia en la recolección del 85%. ■

## REFERENCIAS

- De la Rosa R., León L., Guerrero N., Rallo L. and Barranco D., 2007. Preliminary results of an olive cultivar trial at high density. In: *Aust. J. Agr. Res.*, 58, p. 392-395.
- Fernández-Escobar R., 2007. Fertilization In: *Production techniques in olive growing*. Madrid, Spain: International Olive Council, p. 145-168.
- Fernández-Escobar R., 2008. Olive fertilization practices in the Mediterranean region. In: *Olivae*, 109, p. 13-22.
- Fernández-Escobar R., 2011. Use and abuse of nitrogen in olive fertilization. In: *Acta Horticulturae*, 888, p. 249-258.
- Fontanazza G., Bartolozzi F. and Vergari G., 1998. Fs-17. In: *Riv. Frutticoltura*, 5, p. 61.
- Gil Ribes J.A., López Giménez F.J., Blanco Roldán G.L. and Castro García S., 2010. Mecanización. In: *El Cultivo del Olivo*. Madrid, Spain: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía, p. 434-506.
- Gómez J.A., Giráldez J.V. and Vanwalleghe T., 2008. Comments on "Is soil erosion in olive groves as bad as often claimed?" by L. Fleskens and L. Stroosnijder. In: *Geoderma*, 147, p. 93 – 95.
- Gómez, J.A., Llewellyn, C., Basch, G, Sutton, P.B., Dyson, J.S., Jones, C.A. 2011. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management* 27: 502 - 514.
- Gucci R. and Caruso G., 2011. Environmental stresses and sustainable olive growing. In: *Acta Horticulturae*, 924, p. 19 – 30.
- Lavee S., Haskal A. and Wodner M., 1986. 'Barnea' a new olive cultivar from first breeding generation. In: *Olea*, 17, p. 95-99.
- León L., De la Rosa R., Rallo L., Guerrero N. and Barranco D., 2007. Influence of spacing on the initial productivity of hedgerow 'Arbequina' olive orchards. In: *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5, p. 554-558.
- Melgar J.C., Mohamed Y., Serrano N., García-Galavís P.A., Navarro C., Parra M.A., Benlloch M. and Fernández-Escobar R., 2009. Long term responses of olive trees to salinity. In: *Agricultural Water Management*, 96, p. 1105-1113.
- Moriana A., Orgaz F., Pastor M. and Fereres E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. In: *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, p. 425 – 431.
- Quesada-Moraga E. and Santiago-Álvarez C., 2008. Hongos Entomopatógenos. In: *Control biológico de plagas*. Navarra, Spain: Phyto-ma Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra, p. 98-120.
- Rallo L., Barranco D., De la Rosa R. and León L., 2008. 'Chiquitita' olive. In: *HortScience*, 43, p. 529-531.
- Ravetti L. and Robb S., 2010. Continuous mechanical olive harvesting in modern Australian growing

systems. In: *Adv. Hort. Sci.*, 24, p. 71-77.

Santiago-Álvarez C., Del Rio C., Casado G., Campos C. and Quesada-Moraga E., 2010. Variation of susceptibility to olive fly *Bactrocera oleae* (Gmelin) attack in ten

olive Spanish commercial oil cultivars under dry and irrigated conditions. In: *IOBC/wprs Bull* , 59, p. 104.

Trapero A. and Blanco-López M.A., 2010. Diseases. In: *Olive growing*. Junta de Andalucía / Mundi-

Prensa/RIRDC /AOA, Australia. p. 521-578.

Trapero A., 2007. Densidad de plantación y enfermedades del olivar. In: *Mercaeci*, 51, p. 210-213.



