



Capítulo 6

Aspectos tecnológicos de la producción del aceite de oliva

Lorenzo Cerretani, Ana María Gómez Caravaca y Alessandra Bendini

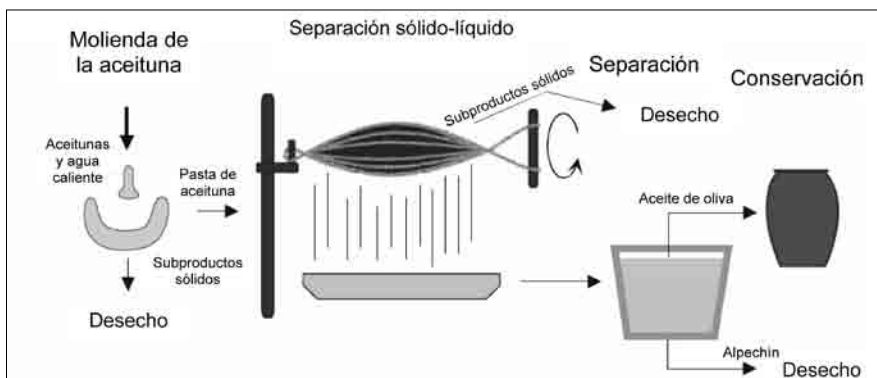
Aspectos tecnológicos de la producción del aceite de oliva

Lorenzo Cerretani, Ana Maria Gómez Caravaca y Alessandra Bendini

Historia de la tecnología del aceite de oliva

Al hablar de tecnología del aceite de oliva, hay que subrayar que el sector oleícola ha sido a lo largo de la historia uno de los más importantes dentro de la industria alimentaria debido a la importancia de este producto dentro de la población mediterránea. A través de los siglos este sector ha sufrido grandes cambios comunes a los que ha experimentado el sector de los cereales.

El histórico sistema de transformación de la aceituna en aceite de oliva (los primeros testimonios se encuentran en la Edad de Bronce pasando por métodos más complejos hasta llegar a los descritos en la Edad Micenea) que consistía en una fase de molienda y separación del aceite (primero una separación sólido-líquido por presión y a continuación una separación líquido-líquido mediante decantación) ha permanecido invariable durante siglos (Esquema 1) mientras que la mayoría de las innovaciones de este sector se han dado en el último siglo.



Esquema 1: Almazara de la Edad Micenea (no a escala). Kapellakis et al., 2007.

A principios de los años 30 se introdujo la centrífuga separadora líquidos (agua y aceite). Este sistema sufrió una innovación en los años 50 por medio de la introducción de un sistema automatizado de descarga de subproducto líquido. Pero sin duda la principal innovación ha sido el cambio en el concepto de instalación: de un sistema discontinuo (basado en el uso de prensas) a uno continuo, que inició a difundirse a principios de los años 70 gracias a la incorporación de nuevas maquinarias (molinos y decantadores). Hoy en día, estos sistemas han proporcionado de una mejora cualitativa, un aumento de la productividad y, como consecuencia, una concentración de la producción representando (en términos de cantidad de aceite producido) la totalidad de las almazaras de España y más del 80% de las italianas y las griegas. Sin embargo existen diferencias entre los sistemas de obtención de aceite de los diferentes países, debidas sobre todo al tipo de maquinaria utilizada en el proceso de separación. Mientras en Italia y Grecia los decantadores son principalmente de tres fases, es decir, separan aceite, alpechin y orujo (dos fases líquidas y una sólida), en España está muy difundido el sistema de dos fases, una evolución del anterior que permite reducir la cantidad de subproductos líquidos. Este sistema separa el aceite de otro subproducto constituido por la mezcla del orujo y del alpechín, obteniéndose el denominado alperujo.

En este capítulo analizaremos las diferentes tecnologías presentes en los sistemas de transformación de la aceituna empleados en los diferentes países productores de aceite e introduciremos algunas innovaciones propuestas durante los últimos años por investigadores dedicados a este sector. En algunos casos tales propuestas han sido ya aplicadas a nivel industrial, mientras que en otros casos pueden ser ideas útiles para los productores de maquinarias o para los dueños de las almazaras que a menudo son los primeros en desarrollar o experimentar nuevas tecnologías.



Figura 1: Reconstrucción de una almazara de 1800.

Sistemas de extracción del aceite a partir de la aceituna

Todo el mundo está de acuerdo en que la calidad de un aceite empieza en el campo, pero ésta se debe mantener dentro de la almazara. El proceso de extracción no va a aumentar la calidad del aceite, sino que normalmente va a provocar lo contrario. Durante este paso se va a perder gran parte de calidad del producto, sobre todo si la extracción no se realiza de la forma adecuada. Como veremos a continuación, todas las diferentes tecnologías utilizadas tienen sus límites y pueden causar daños de carácter relevante al producto.



Figura 2: Prensa con tres tornillos sin fin (fabricados en madera de olmo).

En el caso de otras industrias alimentarias, como por ejemplo la industria del vino que produce el alcohol etílico a partir del azúcar que contiene la uva, la ley permite añadir a la materia prima determinadas sustancias de las que ésta carece. Esto da lugar a que con el uso adecuado de las técnicas enológicas se pueda producir un buen vino a partir de una materia prima de calidad inferior. En el sector del aceite es imposible llevar a cabo una práctica como la del vino, ya que partiendo de una materia prima de baja calidad difícilmente se obtendrá un aceite que posea los requisitos para pertenecer a la categoría de “virgen extra”, y en el caso de que el aceite se clasifique como “virgen lampante”, su uso para el consumo en la alimentación sólo podría realizarse después de someterlo a un proceso de refinado.

Tabla 1: **Número de almazaras en uso en los países del Mediterráneo y los diferentes sistemas tecnológicos empleados**
(Mendoza, 1999).

País	Almazaras tradicionales	Sistemas a presión		Sistemas continuos		Total*
		<200 kg/cm ²	>200 kg/cm ²	3 fases	2 fases y 2 y 1/2 fases	
España	-	-	63	194	1.743	2.000
Italia	-	200	3.000	3.000	750	6.950
Grecia	-	-	450	2.000	200	2.650
Tunez	-	875	585	340	10	1.810
Siria	105	61	440	167	-	668
Portugal	-	200	820	85	25	1.130
Marruecos	10.000	8.000	1.500	15	-	9.515
Francia	14	32	102	42	8	184
Argelia	630	630	915	140	-	1.685
Chipre	-	-	-	20	2	22
Israel	2	4	27	34	-	65

*Las almazaras tradicionales a tracción animal no se han tenido en cuenta.

Operaciones preliminares

Las operaciones tecnológicas asociadas a la extracción del aceite llevan consigo la realización de algunas etapas preliminares, que aunque revisten cierta importancia en cuanto se refiere a la economía del proceso de extracción, pueden considerarse como opcionales (la elección depende de la calidad de la aceituna y del proceso de extracción utilizado).

Entre las operaciones que preceden al molido se encuentran la eliminación de las hojas y de los cuerpos extraños y el lavado de las aceitunas. Las etapas preliminares son comunes a todos los tipos de plantas de producción de aceite y debido a su sencillez y por la necesidad de estructurarlas en algún modo se han dividido en 3 categorías (Tabla 2).

Tabla 2: **Tipos de instalación para la extracción de aceite a partir de las aceitunas**

Sistema a presión (sistema tradicional)

Sistema continuo con decantador a 3 ó a 2 fases

Sistema continuo con separación por filtración

La separación de los cuerpos extraños menos pesados (como hojas, hierba y ramas) se lleva a cabo con un ventilador que introduce aire hacia la materia prima,

mientras que los cuerpos extraños más pesados se eliminan por precipitación cuando las aceitunas se sumergen dentro del baño de agua de lavado.

Los frutos, que tienen naturaleza más ligera, flotan y se separan del agua por medio de un tamiz (Figura 3).



Figura 3: Lavadora en funcionamiento durante la fase de lavado de las aceitunas.

Las fases de eliminación de hojas y de lavado tienen como objetivo eliminar aquellos cuerpos extraños (polvo, hojas, hierba, ramas, tierra, trozos de piedra, etc.) que normalmente se encuentran junto a los frutos después de la recogida, ya que los más duros como las ramas o las impurezas minerales, pueden dañar el interior del molino y el separador debido a su naturaleza mecánica y abrasiva.

La eliminación de las hojas se considera obligatoria en los sistemas de recogida mecánica ya que éstas afectan a las características químicas y organolépticas. Hay que tener en cuenta que el efecto en las características del aceite obtenido en presencia excesiva de hojas varía según el tipo de molido realizado. De hecho, el molino de piedra (Figura 4), que normalmente se usa en los sistemas tradicionales a presión, da lugar a un molido lento que no provoca la ruptura completa de las hojas, a diferencia de los molinos más modernos que producen una ruptura violenta y reducen las hojas a pequeños fragmentos aumentando de este modo la superficie de contacto con el aceite y extrayendo una mayor cantidad de compuestos capaces de modificar las características ligadas al color, aroma y sabor del aceite.

Los datos de la Tabla 3 muestran los resultados de un trabajo experimental realizado con el fin de clasificar la influencia de las hojas (molidas junto con las aceitunas y presen-

tes en diversas proporciones y expresadas en peso) sobre la calidad del aceite producido en un sistema continuo dotado de un molino con martillos fijos y un decantador de tres fases. En concreto, esta experiencia se realizó con dos tipos diferentes de materia prima, aceitunas de variedad Arbequina y Hojiblanca.

Tabla. 3: **Características de diversos aceites vírgenes obtenidos de aceitunas a partir de un sistema continuo dotado de un decantador a tres fases y a los que se les han añadido diversos porcentajes de hojas.**

Determinaciones	Arbequina			Hojiblanca		
	hojas (% en peso)			hojas (% en peso)		
	0	3	5	0	3	5
Acidez libre (%)	0,66	0,70	0,62	0,54	0,58	0,56
Número de peróxidos (meqO ₂ /kg)	8,1	8,8	8,4	4,2	4,9	5,2
K ₂₃₂	2,01	1,95	1,99	1,43	1,57	1,68
K ₂₇₀	0,12	0,13	0,12	0,07	0,10	0,12
Fenoles totales (mg/L ácido gálico)	84	91	103	103	102	106
Tiempo de inducción (en horas)	7,2	6,7	7,0	8,0	8,7	8,2
Pigmentos clorofílicos (mg/kg)	3,7	6,8	8,7	3,4	8,4	12,1
Valoración organoléptica (puntuación)	6,0	6,9	6,5	6,3	7,2	6,8
Frutado verde (puntuación)	–	1,2	1,2	–	1,6	1,6
Sabor amargo (puntuación)	–	0,5	0,5	–	0,8	0,8
trans-2-hexanal (mg/kg)	77,8	130,7	171,1	130,5	288,0	287,1
Hexanal (mg/kg)	16,7	14,9	26,9	23,2	26,9	34,4
cis-3-hexen-1-ol (mg/kg)	4,3	19,3	17,0	2,2	3,6	5,8
trans-2-hexen-1-ol (mg/kg)	17,4	41,0	49,9	9,5	14,1	18,9

Fuente: Di Giovacchino et al., 1996.

Los datos nos muestran como el contenido de pigmentos de clorofilas que determinan el color verde, y el contenido en aldehído trans-2-hexanal que determina el olor a hierba recién cortada, aumentan proporcionalmente dependiendo de la cantidad de hojas que se encuentren junto a las aceitunas. Esto repercute incluso a nivel organoléptico ya que los catadores van a percibir una serie de sensaciones olfativas y gustativas que estarán ligadas a la presencia de las sustancias indicadas en la parte superior.

Sin embargo hay que subrayar que la cantidad de hojas molidas no influye en el aumento de los compuestos antioxidantes (fenólicos) ni en el tiempo de inducción medido mediante Rancimat y que estima el tiempo durante el cual se conserva un aceite; por lo tanto no lleva a una mejora en la estabilidad oxidativa del producto. Además, si consideramos que los pigmentos de clorofilas representan un elemento pro-oxidante en presencia de luz, se puede decir que la conservación del aceite en recipientes inadecuados favorece el inicio de procesos de oxidación, y por lo tanto el envejecimiento precoz del producto.

La molienda

Todos los sistemas actuales empleados para la obtención de aceite a partir de las aceitunas prevén el molido del fruto, ya que gracias a la rotura de las paredes celulares se libera el aceite contenido en el interior de las células y que posteriormente se extraerá con los métodos que se exponen a continuación.



Figura 4. Molino de piedras. Detalle del interior.

La dimensión de los fragmentos de la pulpa conseguida a través de la molienda representa un elemento de gran importancia en el proceso extractivo, ya sea a nivel de rendimiento de la instalación que a nivel de características físico-químicas y organolépticas del aceite obtenido. Por ejemplo, una pasta constituida por partículas de grandes dimensiones da lugar a un menor rendimiento y a una peor extracción de los compuestos fenólicos y los pigmentos clorofílicos, pero también hay que tener en cuenta que una pasta formada

por partículas demasiado pequeñas interfiere de forma negativa en el rendimiento, ya que debido al fenómeno de formación de coloides se van a formar emulsiones agua/aceite que van a dificultar las sucesivas fases de extracción.

En líneas generales se puede decir que una molienda llevada a cabo de forma correcta debe dar lugar a fragmentos de la parte sólida (hueso) de tamaño entre 2 - 3 mm.

Los sistemas de molienda más comunes son los siguientes:

Molino de piedra o "empiedro": El sistema está constituido por un recipiente con bordes de acero laminado y base de granito. En su interior se encuentran unas ruedas de piedra cilíndricas (modalidad más difundida en Italia) o troncocónicas (más difundida en España) que van a variar tanto en número como en peso. El número de ruedas varía entre 2-4 y su peso está comprendido entre 2 y 4 toneladas. Las ruedas se encuentran dispuestas dentro de los recipientes de forma perpendicular a la base de estos.

Estas piedras se colocan de forma que puedan cubrir toda la superficie de la base del molino. Las piedras italianas se montan a una distancia variable del centro, mientras que las piedras cónicas difundidas en España tienen una superficie que de por sí cubre toda la base del molino.

Este tipo de molino encuentra su utilidad en los sistemas tradicionales a presión. Aunque en algunos casos se utilizan incluso en los procesos de extracción continuos con el fin de obtener aceites más equilibrados y con características organolépticas armónicas. El límite de estas ruedas de molino se encuentra en su elevado coste y el amplio espacio que ocupan más que en la discontinuidad que conlleva este proceso. Cuando el molino en piedra se usa en almazaras modernas es indispensable utilizarlo junto al molino a martillos o similar (molino moderno).

Molino continuo, con rodillo de piedra: Está constituido por dos rodillos en piedra, que rotan en sentido inverso, y puede estar seguido por otro molino de martillos o de discos metálicos. Produce aceites armoniosos debido a que se extrae una menor cantidad de sustancias amargas. Si se compara con el sistema anterior presenta una capacidad de trabajo en continuo que incluso limita las dañinas emulsiones provocadas por sistemas más rápidos. Además el espacio que ocupa es menor y el coste es más moderado. El límite se encuentra en el gran desgaste y las frecuentes roturas causadas por la presencia de cuerpos extraños.

Molino de martillos: Está formado por unos martillos que pueden ser fijos o móviles, y que se encuentran encima de un disco rotatorio. Las aceitunas se empujan o se aplastan contra una reja cuyos orificios de paso varían en función del tipo de pasta que se pretenda obtener (tamaño de la pasta). La reja puede ser fija, girar en el mismo sentido de los martillos o en dirección contraria a estos. Este instrumento tiene una elevada capacidad de trabajo, y a causa de la violenta ruptura de las aceitunas favorece la extracción de los pigmentos clorofílicos y de las sustancias fenólicas. Los aceites que se obtienen van a poseer características organolépticas muy marcadas con gran influencia de la sensación de amargo. Los modelos más antiguos, que giran a velocidades superiores a 2.500 rpm, tienen el inconveniente de que por un corto periodo de tiempo aumentan la temperatura

de la pasta de aceituna entre 12-15°C con respecto a la temperatura ambiente y crean emulsiones que requieren tiempos más largos de molido.

Molino de discos metálicos: Da lugar a un molido de muy buena calidad ya que no produce emulsiones (la velocidad de rotación se mantiene por debajo de las 1.400 rpm) y tienen la capacidad de extraer grandes cantidades de sustancias fenólicas y pigmentos clorofílicos. Su límite se encuentra en la fragilidad de los dientes, que se rompen con cierta facilidad en presencia de cuerpos extraños.

Normalmente, los diferentes sistemas de molido se diferencian en función de la velocidad de giro de sus componentes y de su relativo efecto emulsionante, dándose lugar a la siguiente escala según orden creciente de “violencia” de molido: molino de piedra < molino de discos metálicos < molino de martillos.

De hecho, como se puede observar en la Tabla 4, empleando el mismo sistema de molido (molino de martillos fijos), el aumento de la violencia ejercida debido a una mayor velocidad de rotación del molino provoca en el aceite un aumento de las sustancias con carácter amargo, es decir, de los compuestos fenólicos en su forma aglicona y de todos los compuestos polares minoritarios. Esto es así independientemente de la variedad de aceituna utilizada y de su estado de maduración.

Tabla. 4: **Influencia de la velocidad de rotación relativa de los martillos fijos de los molinos metálicos sobre el contenido de algunos compuestos fenólicos (mg/kg) del aceite**

Determinación	Variedad de aceituna y grado de maduración	Velocidad relativa de rotación de los martillos	
		2.200 rpm	2.900 rpm
Sustancias responsables del amargo	Mezcla de variedades	36,3	61,7
	cv. Coratina	217,7	337,3
Agliconas	No Maduras	546	612
	Maduras	316	421
Compuestos polares minoritarios	No Maduras	800	1.040
	Maduras	780	860

Fuente: Angerosa et al., 1990; Sacchi et al., 1996.

En otros trabajos se han comparado los diferentes sistemas de molido manteniendo siempre el mismo procedimiento de extracción. Como se puede observar en la Tabla 5, los molinos más modernos producen, con respecto al molino de piedra, aceites que poseen una mayor estabilidad oxidativa (en cuanto se refiere a los tiempos de inducción). Esto se debe principalmente a que tienen un mayor contenido en compuestos fenólicos. También podemos ver que entre el molino de martillos fijos y a discos, este último permite obtener un aumento mínimo (aunque significativo) de la estabilidad oxidativa, y esto es debido a que se induce una menor oxidación al aceite con el sistema menos violento.

Tabla 5: Características cualitativas de los aceites de oliva virgen extra producidos con las diferentes metodologías de molido

Variedad de aceituna	Metodología de molido	Acidez libre [%]	Número de peróxidos [meqO ₂ /kg]	K232	Valoración sensorial (puntuación)	Fenoles totales [mg/l]	Tiempo de inducción [h]	Intensidad de amargo (puntuación)
Coratina	Molino de piedras	0,40	6,5	1,18	–	228	9,2	–
	Molino de martillos fijos	0,37	5,4	1,20	–	411	11,9	–
Peranzana	Molino de piedras	0,23	11,5	1,87	7,4	133	7,8	1,8
	Molino de discos metálicos	0,23	11,7	1,90	7,2	247	10,6	2,4
Coratina	Molino de martillos fijos	0,29	10,5	1,38	–	323,1	19,7	–
	Molino de discos metálicos	0,24	6,9	1,32	–	326,9	20,1	–

Fuente: Angerosa et al., 1995; Alloggio et al., 1996; Caponio et al., 2003.

Siempre que se usa el molino de piedra es muy importante controlar el tiempo de desarrollo de la operación. Según los datos de la Tabla 6 se puede decir que el molido llevado a cabo durante un tiempo más prolongado (30 minutos en lugar de 15) da lugar a una disminución significativa de la estabilidad oxidativa.

Tabla. 6: Características de los aceites de oliva virgen obtenidos mediante un sistema tradicional a presión dotado de un molino de piedras que opera a diversos tiempos (15 min y 30 min)

Determinación	cv. Peranzana	
	Molido	
	15 min	30 min
Acidez libre (%)	0,54	0,55
Número de peróxidos (meqO ₂ /kg)	17,87	18,81
K232	1,764	1,682
K270	0,146	0,137
Fenoles totales (mg/kg)	623,68	520,66
Tiempo de inducción medido mediante OSI (h)	23,17	21,06

Fuente: Gallina Toschi et al., 2004

El batido

Esta operación tiene el objetivo de favorecer la extracción del aceite ya que posibilita la agregación de las gotas de aceite, y asume sobretodo un papel protagonista cuando el proceso de transformación de las aceitunas se realiza mediante los sistemas más modernos como los continuos. En esta fase se produce una mezcla continua de la pasta de aceituna que conlleva a la producción de los compuestos volátiles responsables de la riqueza aromática de los aceites de oliva. Al mismo tiempo se produce la transformación de los compuestos fenólicos desde la forma glicosilada (de gran polaridad y por ello con mayor afinidad por la fase acuosa), hacia compuestos menos polares que se van a repartir entre agua y aceite. Durante el batido es importante controlar el tiempo y la temperatura a la que ésta se desarrolla con el fin de optimizar la calidad del aceite. En esta dirección se han realizado multitud de experimentos, en la Tabla 7 se han recogido los resultados de un trabajo de valoración del efecto de diferentes tiempos de batido sobre la calidad del aceite producido.



De esta tabla se deduce que el rendimiento, valorado como porcentaje de aceite extraído sobre el total del aceite presente en el fruto, aumenta con el incremento del tiempo hasta alcanzarse un plateau, inferior a la totalidad del aceite presente, que está directamente relacionado con el límite físico que conlleva el sistema de extracción elegido. También se pone de manifiesto que al aumentar el tiempo de

batido disminuye la cantidad de aceite residual en los subproductos. Sin embargo, el aumento del tiempo de batido de 15 a 90 minutos no determina una gran variación en la calidad del aceite valorada mediante determinaciones analíticas como la acidez libre, el estado oxidativo (número de peróxidos, K_{232} e K_{270}) y la calidad sensorial; pero sí que influye en el contenido de compuestos antioxidantes presentes en el aceite, en particular esta disminución se ha registrado con el paso del tiempo. De forma paralela también se ha observado que la estabilidad oxidativa evaluada mediante oxidación forzada, tiene tendencia a disminuir con el tiempo.

Tabla 7: Resultados obtenidos para aceites producidos en el mismo tipo de sistema y en las mismas condiciones pero variando los tiempos de batido

Determinación	Tiempo de batido*		
	15 min	45 min	90 min
Rendimiento de la extracción de aceite (%)	78,5 ^a	82,8 ^b	85,7 ^b
Aceite en el orujo (kg/100 kg de aceituna)	3,1 ^a	2,6 ^a	2,2 ^a
Aceite en el alpechín (kg/100 kg de aceituna)	0,7 ^a	0,5 ^a	0,3 ^a
Aceite disperso en los subproductos -total (kg/100 kg de aceituna)	3,8 ^a	3,1 ^{ab}	2,5 ^b
Acidez libre (%)	0,37	0,36	0,38
Índice de peróxidos (meqO ₂ /kg)	4,5	4,8	4,5
K_{232}	1,49	1,49	1,49
K_{270}	0,10	0,10	0,11
Valoración organoléptica (puntuación)	6,9	7,0	7,0
Fenoles totales (mg/L expresados como ácido gálico)	293	275	253
Tiempo de inducción (en horas)	14,3	13,3	12,3

*diferentes superíndices indican que existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

Fuente: Giovacchino et al., 2002.

Para la evaluación del efecto de la temperatura de batido también se han efectuado muchos estudios y se ha llegado a la conclusión de que las bajas temperaturas (18-20° C como demostró Di Giovacchino, 1996) no permiten obtener rendimientos de extracción satisfactorios y al mismo tiempo no facilitan la extracción de los compuestos fenólicos. Además, el calor aumenta la velocidad de acción de los enzimas responsables de la formación de los compuestos aromáticos que hacen único al aceite de oliva. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una temperatura excesiva da lugar al desarrollo de procesos oxidativos con la consecuente formación de productos de oxidación y disminución del contenido en compuestos fenólicos (Tabla 8).

Tabla 8: **Características de aceites de oliva obtenidos mediante un sistema continuo en el que se ha llevado a cabo el batido a diferentes temperaturas (25° C y 35° C)**

Determinaciones (cv. Peranzana)	Batido	
	25° C	35° C
Acidez libre (%)	0,34	0,40
Número de peróxidos (meqO ₂ /kg)	15,06	16,80
K ₂₃₂	1,729	1,780
K ₂₇₀	0,116	0,133
Fenoles totales (mg/kg)	539,77	531,81
Tiempo de inducción medido mediante OSI (h)	22,94	22,89

Fuente: Gallina Toschi et al., 2004

La separación y la centrifugación

Esta operación tiene como objetivo separar el aceite del alpechín y del orujo. Esta fase difiere en gran medida, en cuanto a su funcionamiento, en los sistemas tradicionales con respecto a los sistemas continuos.

SISTEMAS TRADICIONALES

Por lo general en el sistema tradicional a presión, el molido se realiza con molinos de piedras. Esta operación tiene una duración de 15 a 30 minutos durante los cuales el movimiento de mezcla continuo favorece la unión de las gotas de aceite, facilitando así la separación en las siguientes etapas de la elaboración del aceite. Debido a esto, en este tipo de sistemas la etapa de batido no tiene una larga duración por lo que representa una operación secundaria.

La particularidad del sistema tradicional es la separación de las fases líquidas de la fase sólida debido al uso de la prensa hidráulica. En estos sistemas la etapa de separación se realiza en dos pasos, el primero consiste en alejar las fases líquidas de la sólida (orujo), y el segundo en separar el aceite del alpechín. La prensa actúa sobre la pasta de aceituna obtenida después de la etapa de molido; para ello esta pasta se dispone sobre unos discos que van a tener la función de retener la parte sólida (Figura 6), mientras que la separación de la fase líquida se lleva a cabo mediante una centrífuga. La pasta de aceituna se distribuye a lo largo de los diferentes discos filtrantes (o capachos) mediante una dosificadora más o menos automatizada. Estos discos se apilan en una bandeja metálica provista de un eje central con diversos orificios a través de los cuales drena la fracción líquida. La presión que se genera (de hasta 400 atmósferas) permite el drenaje de la fase líquida mientras que la fase sólida queda retenida. Durante esta operación la presión se va aumentando gradualmente hasta conseguir la presión máxima que se mantiene alrededor de una hora. La etapa inicial de aumento progresivo de la presión dura alrededor de 20 minutos y se define como fase inicial.

En esta fase se obtiene el líquido de la primera extracción, que representa más del 60% de la fracción líquida total. Esta fase líquida está constituida por dos componentes:

- Aceite de oliva,
- alpechín.

Para separar las dos fracciones y los posibles restos sólidos presentes se emplea una centrífuga vertical que aprovecha la fuerza centrífuga que actúa sobre el peso específico de las diferentes fracciones presentes.

De esta forma se obtiene el aceite de oliva que, en el caso de que cumpla con los parámetros químico-físicos y organolépticos que la ley prevé para las categorías “virgen” y “virgen extra”, podrá utilizarse directamente para el consumo humano.

La limitación del sistema de separación por presión se encuentra en la discontinuidad a la que está sujeta esta operación y a la imposibilidad de una limpieza completa de las superficies de drenaje. Esto puede repercutir en la calidad sensorial del producto final a causa de la fermentación que se puede dar lugar en los discos y llevando a la aparición de defectos debidos a la presencia de compuestos volátiles no agradables que pasarán al aceite.

SISTEMAS CONTINUOS

A diferencia del método tradicional en el que el desarrollo de las diferentes etapas se realiza de manera discontinua, en los sistemas modernos las operaciones de extracción del aceite se llevan a cabo de forma continua mediante la ayuda de separadores mecánicos que aprovechan la fuerza centrífuga. Estas máquinas pueden ser de dos tipos en función de la posición del eje central de rotación, se clasifican en centrífugas de eje horizontal (llamado también decantador) y centrífugas de eje vertical. Estas últimas también se utilizan en los sistemas a presión para la separación final de las dos fases líquidas. Además, en función del tipo de separación que realizan podemos encontrar diferentes tipos de decantadores.

El primer sistema que se introdujo en el mercado fue el llamado de “tres fases” (ver esquema), que permite la separación de la pasta de aceituna en sus tres fracciones: la fracción oleosa, la acuosa y la sólida (orujo). En estos sistemas es necesaria la adición de agua para facilitar la separación de las diferentes fracciones.

Como subproductos, además del alpechín (en cantidades variables dependiendo de la cantidad de agua extra que se haya adicionado al sistema), se obtiene el orujo con un porcentaje de humedad entorno al 50%.

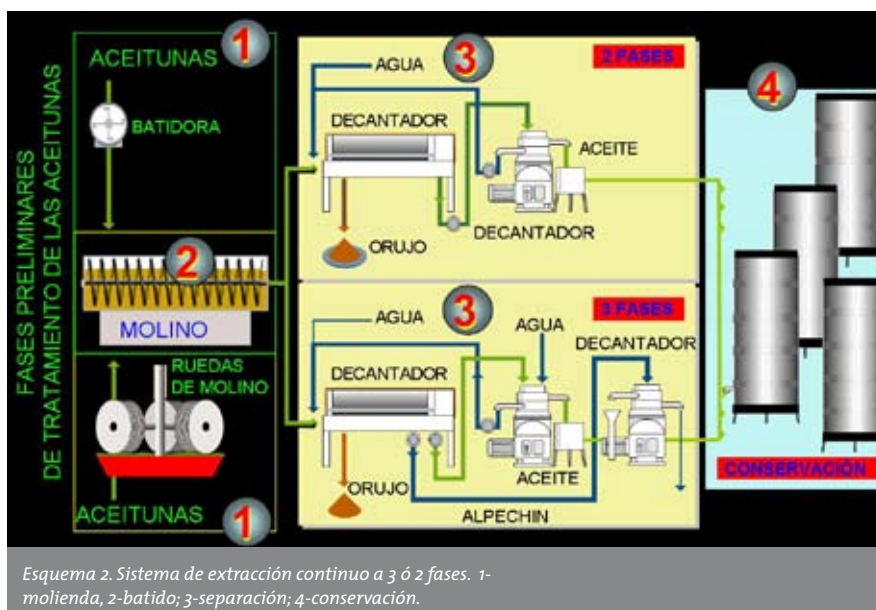
Más reciente es el sistema de “dos fases”, llamado de esta forma porque además de aceite genera un único subproducto denominado alperujo (constituido por la mezcla del orujo y alpechín) y que presenta una humedad próxima al 65%. Por lo tanto con este sistema se producen sólo dos fracciones:

- Aceite (con pequeñas impurezas debidas al alpechín y algunos residuos sólidos),
- el alperujo (por cada 100 kg de aceitunas se obtienen entorno a 75-80 kg de alperujo).

La dificultad a la hora de gestionar de manera lógica los residuos sólidos (con alta humedad, alperujo) generados por el sistema continuo de dos fases, ha estimulado la planificación de otro sistema denominado de dos fases y media, que está destinado sobre todo a países como Italia y Grecia donde es difícil la gestión de este alperujo (rico en agua).

Este último sistema funciona de la misma forma que el de tres fases en lo que se refiere a la producción de las tres fracciones e igual al de dos fases en cuanto al empleo de agua en pequeñas cantidades valoradas en función de las características reológicas de la pasta (en un intervalo comprendido entre 0 y 30 litros). Hay que tener en cuenta que cuando el fruto se encuentra en un estado más avanzado de maduración el contenido de agua en este disminuye, por lo que es necesario adicionar agua en mayores cantidades durante el proceso de elaboración.

La diferencia entre los diversos sistemas de separación que emplean decantador radica en las diferentes clases de subproductos obtenidos y en la cantidad de agua añadida. La adición de agua afecta a la calidad del aceite y especialmente a su contenido en compuestos fenólicos, que disminuye de manera proporcional a la cantidad de agua que se le añade al sistema.



De hecho, la dilución con agua de la pasta de aceituna modifica los equilibrios de repartición de estos compuestos entre el aceite y el agua, favoreciendo que estos pasen con mayor facilidad al alpechín.

Además se puede observar como las operaciones de molienda llevadas a cabo a elevadas velocidades de rotación, van a provocar la emulsión de las gotas de aceite que van a necesitar un mayor tiempo de batido para unirse formando gotas de mayor

tamaño y más fácilmente extraíbles. El molido se debe realizar durante más de 30 minutos y a una temperatura entorno a 25 °C; de esta forma se obtendrán rendimientos elevados, se permitirá la extracción de los compuestos fenólicos y la formación de los aromas típicos y únicos de los aceites de oliva vírgenes.

El aceite obtenido por la separación a través del decantador contiene pequeñas impurezas constituidas por residuos sólidos y agua de vegetación. Estas impurezas hay que eliminarlas y para ello se realiza un último paso a través de una centrifuga vertical que completa la limpieza de nuestro producto.

Las innovaciones en el sector de la tecnología del aceite de oliva

La adición de coadyuvantes

El Reg. CE 1513/01 introdujo una importante modificación en la definición del aceite de oliva virgen, excluyendo a los coadyuvantes químicos y bioquímicos, admitiendo solamente el empleo de coadyuvantes de acción física o mecánica. Entre ellos se encuentra el talco, ampliamente utilizado en las producciones españolas y donde se usa como medio para para aumentar el rendimiento y hacer más fácil el trabajo con las aceitunas de variedad “difícil” o con aquellas recogidas en un grado de maduración avanzado.

A continuación resumimos brevemente los resultados de una investigación llevada a cabo por científicos del Instituto de la Grasa de Sevilla, que han evaluado el empleo de sales de cloruro de sodio (sal común) como coadyuvante físico durante la extracción. En este estudio se comparaba aceite producido sin el uso de este coadyuvante y aceite al que se le añadía un 1,2% de talco y sal en dos concentraciones diferentes 0,6 y 1,2%. Los resultados de este estudio llevaron a la conclusión de que la sal puede tener (sobre todo a la concentración de 1,2%) una eficacia similar a la del talco en cuanto al rendimiento obtenido, y no produce efectos negativos sobre la calidad del aceite, si no que incluso resulta ser más estable frente a la oxidación, más amargo y más rico en pigmentos (responsables del color).

Otro trabajo experimental realizado en la misma línea ha sido un estudio llevado a cabo por un grupo de la Universidad de Bolonia, en el que se ha utilizado como coadyuvante ácido cítrico para alimentos. El producto obtenido no se puede considerar aceite de oliva virgen extra, ya que este coadyuvante tiene una acción química, pero a pesar de ello los efectos pueden resultar interesantes sobre todo en aquellos productos obtenidos por el molido, conjunto de cítricos (que naturalmente contienen ácido cítrico) y aceitunas. A partir de los datos recogidos en la Tabla 9 y de otras pruebas realizadas con posterioridad, se ha comprobado que el aceite obtenido adicionando ácido cítrico al molino (al inicio del proceso de molienda) es más estable a la oxidación porque es más rico en compuestos fenólicos.

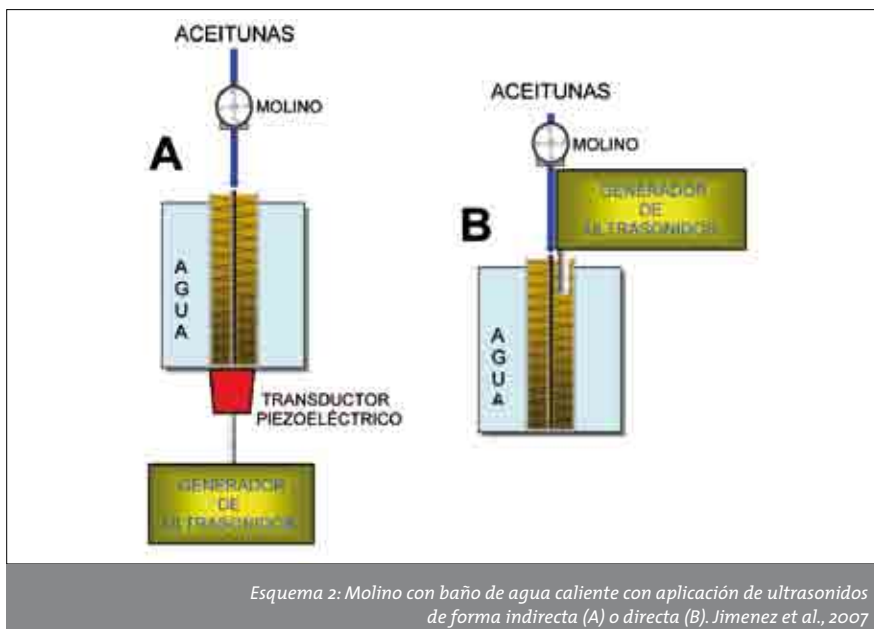
PARÁMETRO ANALÍTICO	MUESTRA CONTROL	MUESTRA TRATADA CON COADYUVANTE
Acidez (% ácido oleico)	0,50 ^a	0,60 ^b
Número de peróxidos (meq O ₂ /kg aceite)	8,80 ^a	6,58 ^b
Estabilidad oxidativa (OSI en h)	22,48 ^b	27,28 ^a
Fenoles totales mediante HPLC (mg S.I./kg de aceite)	267,53 ^b	641,29 ^a

a-b: diferentes superíndices indican que existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

Por último hay que citar las pruebas realizadas mediante el empleo de preparados enzimáticos con propiedades pectolíticas. Experimentos de este tipo se comenzaron en el año 1952 por científicos españoles y fueron retomados años más tarde, en el 1973, por científicos de la Universidad de Perugia (Italia). Más tarde se continuaron los estudios en esta línea confirmándose la eficacia en cuanto al aumento del rendimiento de extracción. Sin embargo hay que tener en cuenta que, según la normativa europea mencionada con anterioridad, este tipo de coadyuvantes que tienen una acción bioquímica quedan excluidos para la producción de aceites de oliva virgen extra.

Eliminación del oxígeno

Este aspecto de la etapa de molienda ha sido estudiado en profundidad desde hace varios años: el objetivo de la eliminación del oxígeno del molino se basa en la posibilidad de eliminar un factor pro-oxidante que tiene un papel importante en la reducción del contenido de compuestos fenólicos y sobre el inicio de procesos oxidativos debidos a la sustancia grasa. Sin embargo, los primeros resultados fueron contradictorios. De hecho, los primeros estudios utilizaron gases inertes (especialmente nitrógeno) para saturar el molino sustituyendo así al oxígeno. El desarrollo de este proceso en diferentes condiciones (molinos de laboratorio en lugar de molinos industriales) y el uso de variedades de aceituna diferente podrían ser una explicación a los resultados obtenidos. A modo de conclusión, podríamos decir que estos experimentos no han proporcionado un resultado inequívoco, pero sin embargo han abierto una nueva línea de investigación. Así el desarrollo de molinos herméticos ha llevado a considerar la posibilidad de trabajar en un ambiente controlado sin necesidad de eliminar el oxígeno disuelto, que permanece fundamentalmente al crearse reacciones bioquímicas útiles para la formación del aroma típico del aceite. Por ello, continuando en esta dirección, investigadores de la Universidad de Florencia han evaluado la cantidad de CO₂ generado durante el molido hermético llegando a la conclusión de que este gas, producido principalmente debido a la respiración celular y a procesos de fermentación, es capaz de oponerse al proceso de oxidación causado por el oxígeno durante el molido.



Esquema 2: Molino con baño de agua caliente con aplicación de ultrasonidos de forma indirecta (A) o directa (B). Jimenez et al., 2007

Otros tratamientos físicos

Un sistema innovativo para el molido lo encontramos en el estudio realizado durante los últimos años por investigadores españoles del Instituto de investigación de Olivicultura y Oleotecnía de Jaén que han evaluado la posibilidad de emplear ultrasonidos para hacer esta operación más eficaz. Los primeros trabajos experimentales se han hecho en plantas de laboratorio y se han comparado aceites producidos mediante molido normal y aquel obtenido en presencia de ultrasonidos suministrados sea por vía directa como indirecta (Esquema 3).

Las diferentes pruebas experimentales han demostrado que la utilización de ultrasonidos durante la molienda provoca tan solo un ligero calentamiento de la pasta de aceituna, pero sin embargo parece tener un efecto positivo sobre el rendimiento de extracción, en especial en lo que respecta a la modalidad indirecta de aplicación de ultrasonidos. También se ha observado una leve disminución en cuanto a la extracción de compuestos fenólicos y por ello la intensidad del sabor amargo es menor pero, por el contrario, la intensidad del frutado y de las componentes sensoriales del verde aumenta.

La separación

En relación a la etapa de separación hay que tener en cuenta, como ya se ha mencionado anteriormente, que los sistemas modernos que se ayudan de los decantadores han hecho que ya no se utilicen los sistemas tradicionales por presión. Podemos decir que esta etapa representa el principal punto débil de los sistemas

tradicionales, ya que la limpieza de los discos, incluso cuando estos son de nylon (material que se emplea normalmente en la industria alimentaria) resulta complicada. A pesar de todo, en los últimos años se han propuesto algunas innovaciones para estos sistemas basándose en la idea de sustituir los discos por otros discos drenantes hechos con redes metálicas de tamaño de poro pequeño.

En cuanto a los sistemas continuos existen diversos tipos de decantador, pero los numerosos experimentos científicos realizados para evaluar esta variable de proceso han demostrado que la reducción del agua que se añade para diluir la pasta de aceituna es muy importante. Hay que tener en cuenta que la afinidad del agua por los compuestos fenólicos (polares) puede producir una dilución si ésta se añade en cantidades excesivas. Por ello se prefieren los separadores de dos fases sobre todo si tenemos que trabajar con aceitunas que de por sí son pobres en compuestos fenólicos. Así la innovación en este campo ha estado ligada a la difusión en Italia y Grecia de decantadores que puedan trabajar tanto a dos como a tres fases en función de las necesidades de cada momento. Otra innovación ha sido la de llevar a cabo todo el proceso de separación en el decantador sin necesidad de utilizar por último la centrífuga vertical, para ello existen en el mercado algunos decantadores que tienen una doble cámara de separación interna que permite optimizar la “limpieza” del aceite.

La conservación y el envasado

Las últimas fases en orden de realización, aunque no de importancia, son las de conservación y envasado del aceite. En estas etapas se han realizado diversas mejoras, fruto de la aplicación de descubrimientos científicos, que permiten el mantenimiento de la calidad del aceite durante mayor tiempo. Aunque sabemos que no se puede parar el proceso de envejecimiento del aceite, es importante ralentizarlo el máximo posible. El aceite de oliva virgen extra se conserva mejor que otro tipo de aceites comestibles gracias a la presencia de compuestos fenólicos antioxidantes; pero además de este factor, es necesario combatir con otra serie de enemigos, entre los que se encuentran:

- el contacto con metales no inertes,
- la exposición a la luz,
- las altas temperaturas,
- las bajas temperaturas,
- la presencia de oxígeno.

LA CONSERVACIÓN

Para evitar el contacto con metales no inertes se aconseja utilizar contenedores de almacenamiento de alimentos (silos). Las altas temperaturas se evitan mediante el uso de locales climatizados, ya que la velocidad de la oxidación aumenta proporcionalmente con el aumento de la temperatura. Al mismo tiempo es importante controlar que la temperatura no sea excesivamente baja (inferiores a 9 °C, temperatura

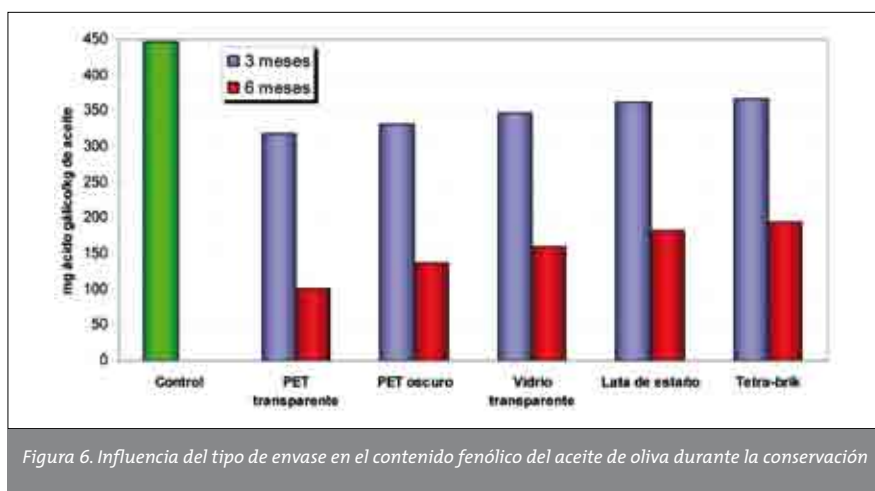
a la que dan comienzo los procesos de cristalización en el aceite) porque con estas condiciones se produce la agregación de las gotas de agua que si se encuentran dispersas en el aceite contribuyen a estabilizar eficazmente los compuestos antioxidantes polares (los valiosos compuestos fenólicos). A continuación de este fenómeno de agregación que tiene lugar durante la fase de cristalización-congelamiento del aceite, se observa que al volver a temperatura ambiente se produce una precipitación de los compuestos fenólicos y una reducción de su actividad. La temperatura aconsejada para la conservación del aceite depende de la composición en ácidos grasos del aceite, pero podemos decir que se encuentra entre 12-16 °C. Además, en la almazara el oxígeno debe reducirse con ayuda de algún sistema que lo elimine de los silos. Entre estos sistemas se ha extendido el uso del nitrógeno (que como dijimos anteriormente se utiliza también para fines análogos en la molienda) que va a sustituir al oxígeno en el espacio en cabeza de los silos. Este procedimiento representa un buen sistema para la eliminación del oxígeno, pero hay que tener en cuenta que además de en el espacio en cabeza, también hay una pequeña cantidad de oxígeno disperso en el aceite.

EL ENVASADO

Para el embotellamiento se han propuesto recientemente nuevas soluciones que a menudo provienen de otros sectores. De hecho, aunque en Italia reina la botella de cristal, en otros países no es de esta forma; entre los diversos recipientes utilizados en los diferentes lugares del mundo para envasar el aceite de oliva virgen extra se podrían enumerar el vidrio transparente, el vidrio opaco, el plástico (PET), el estaño, y más recientemente el Tetra-brik®. Este último envase no es muy frecuente en países como Italia pero es ya una realidad en países como España y Grecia, incluso para productos de alta gama como son las denominaciones de origen. En la Figura 6 se pueden ver los resultados obtenidos en un estudio realizado en la Universidad de Vigo en el que se comparan los distintos tipos de contenedores. En este estudio se evaluó la variación del contenido en antioxidantes fenólicos durante la conservación del aceite llevada a cabo en diferentes tipos de recipientes en periodos de 3 a 6 meses a temperatura ambiente y con una exposición a la luz similar a la de un supermercado. Se observa como ya después de tres meses se produce una pérdida de al menos el 20% de los antioxidantes; aunque se observa que esta disminución es inferior cuando se utilizan latas y Tetra-brick®. Los datos obtenidos a los 6 meses de conservación muestran que en todos los casos se produce una disminución en el contenido de antioxidantes de más del 50%, siendo el Tetra-brick® y la lata de estaño los mejores envases, seguidos del vidrio transparente, del PET revestido de aluminio y del PET transparente.

Los resultados se interpretan por el proceso de oxidación, que como se ha explicado anteriormente puede estar favorecido por la influencia de algunos factores y ralentizado por otros. Por ello, el comportamiento de los resultados se interpreta en función de la capacidad del recipiente de permitir el paso de oxígeno y luz. Los mejores recipientes son aquellos que impiden completamente el paso de luz (como el Tetra-brick® y la lata de estaño) y del oxígeno (Tetra-brick® y lata de estaño junto

con el vidrio), mientras que materiales como el PET resultan peores debido a su permeabilidad (aunque baja) al oxígeno y a la luz.



De todas formas hay que tener en cuenta que en los últimos años, se ha difundido el uso de la botella de vidrio oscuro en lugar de la botella transparente. Este recipiente no se ha considerado a la hora de realizar este estudio, pero hay que tener en cuenta que aunque este material no es capaz de reflejar completamente la radiación luminosa, como hacen el Tetra-brick® y la lata de estaño, es capaz de filtrar parte de ella.

En la fase de embotellamiento hay que cuidar mucho, además del tipo de recipiente utilizado, el modo en que se realiza esta operación. De hecho hoy en día existen diversas soluciones que permiten reducir la presencia de oxígeno dentro de la botella y la oxigenación que se puede originar en el proceso de embotellado. Entre otras soluciones puede resultar de gran utilidad el empleo de envasadoras a vacío que rellenan las botellas debido al vacío que crean en el interior de éstas, así como el uso de gases inertes (normalmente nitrógeno aunque también es común el uso de argón) en la fase final del embotellado. Este último sistema permite eliminar el oxígeno presente en el espacio en cabeza del recipiente sustituyéndolo por otros gases inertes. El hecho de evitar el contacto del aceite con el oxígeno resulta de gran importancia para no propiciar el inicio de los procesos de oxidación, aunque la utilización de gases inertes en el espacio en cabeza del recipiente no permite eliminar el oxígeno completamente por lo que también se sugiere tener en cuenta sistemas más completos para la eliminación del oxígeno.

Otro de los factores, al que a menudo no se le da la importancia adecuada en el envasado, es la elección del tapón. El mejor tapón es aquel que sea capaz de garantizar un cierre hermético ya que la impermeabilidad al oxígeno (que puede estar garantizada por el tipo de recipiente empleado) podría verse anulada debido a este factor. Por ello, este aspecto requiere una especial atención sobre todo si se ha re-

currido a un gas inerte para saturar el espacio en cabeza del recipiente de modo que esta operación no haya sido realizada en vano. De entre todos los tipos de tapones son desaconsejables los fabricados en corcho, ya que son altamente permeables al oxígeno y pueden provocar un envejecimiento precoz del aceite.

Bibliografia

1. Alloggio V., Caponio F., De Leonardis T., Influenza delle tecniche di preparazione della pasta di olive sulla qualità dell'olio. Nota I. Profilo quali-quantitativo delle sostanze fenoliche, mediante HPLC, in olio d'oliva vergine della cv Ogliarola Salentina. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, 73, 1996, 355-360.
2. Angerosa F., Solinas M., Influenza della frangitura sulle caratteristiche di qualità dell'olio d'oliva. Atti del Seminario Internazionale "Olio di oliva e olive da tavola: tecnologia e qualità". Ed. Ist. Sper. Elaiotecnica, Città S. Angelo (Italy) 1990, pp. 135-146.
3. Caponio F., Gomes T., Summo C., Pasqualone A., Influence of the type of olive-crusher used on the quality of extra virgin olive oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 105, **2003**, 201–206
4. Di Giovacchino L., Angerosa F., Di Giacinto L., Effect of mixing leaves with olives on organoleptic quality of oil obtained by centrifugation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73, **1996**, 371-374.
5. Di Giovacchino L., Costantini N., Ferrante M.L., Serraiocco A., Influence of malaxation time of olive paste on oil extraction yields and chemical and organoleptic characteristics of virgin olive oil obtained by a centrifugal decanter at water saving. *Grasas y Aceites*, 53, **2002**, 179-186.
6. Gallina Toschi T., Biguzzi B., Cerretani L., Bendini A., Rotondi A., Lercker G., Effect of crushing time and temperature of malaxation on the oxidative stability of a monovarietal extra-virgin olive oil, obtained by different industrial processing systems. *Progress in nutrition*, 6, 2004, 132-138.
7. Kapellakis I.E., Tsagarakis K.P., Crowther J.C. Olive oil history, production and by-product management. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 7, **2008** 1–26.
8. L. Cerretani, S. Cerni. - Tecniche estrattive ed influenza sulle caratteristiche chimico-fisiche ed organolettiche degli oli - In "Dalle olive all'olio: un viaggio alla scoperta del più nobile dei condimenti", Ed. Dipartimento di Scienze degli Alimenti – Università di Bologna, ISBN: 88-902152-0-8, Forlì, 2005, 33-47.
9. Mendoza J.A., Separacion de las fases solida y liquida. *Proceedings of: International Seminar on "Scientific Innovations and their Application in Olive Farming and Olive oil Technology"*. Firenze (Italy), 1999.
10. Sacchi R., Della Medaglia D., Spagna Musso S., Tecnologia di estrazione e componenti amari dell'olio extra-vergine di oliva. Programma DIT per la Diffusione dell'Innovazione Tecnologica. Portici (Italy) 1996.

