



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

**INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE
CRIBA Y LA VELOCIDAD DE GIRO
DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO
SOBRE EL RENDIMIENTO DEL
PROCESO Y LAS
CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE
DE OLIVA VIRGEN.**

Alumno: Romero Santiago.

Director/a: Dr. Gabriel Beltrán Maza

Dr. Abraham M. Gila Beltrán

Tutor/a: Adoración Mozas.

Fecha: 26/06/2022



Adoración Mozas Moral, Catedrática de Universidad del Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología de la Universidad de Jaén.

Como **Directora y/o Tutora** de Santiago Romero en el Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva, durante el curso 2022.

INFORMA: Que el presente trabajo fin de máster, *“INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE CRIBA Y LA VELOCIDAD DE GIRO DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL PROCESO Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN.”* ha sido realizado por Santiago Romero para la obtención del Título de Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva por la Universidad de Jaén, bajo la dirección de los Dres. Gabriel Beltrán Maza y Abraham M. Gila Beltrán.

Jaén, a 26 de junio de 2022.

Fdo. Adoración Mozas Moral

Fdo. Dr. Gabriel Beltrán Maza

Fdo. Dr. Abraham M Gila Beltrán

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a la Fundación Carolina, entidad que confió en mí y me brindó la posibilidad de realizar el Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva en la Universidad de Jaén.

También dar las gracias a todos los trabajadores del IFAPA, que hicieron posible mi incorporación en el instituto para realizar las prácticas externas e iniciar los análisis que se plasmarán en este trabajo. Especialmente quiero agradecer a mis directores Gabriel Beltrán y Abraham Gila por su amabilidad y apoyo, además de mis compañeras de laboratorio, Ana Sara y Lourdes, sin las cuales no hubiera sido posible realizar este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCION.....	9
1.1. MATERIA PRIMA Y PROCESO INDUSTRIAL.....	10
<u>1.1.1. El fruto del olivo</u>	10
<u>1.1.2. Proceso de elaboración de los aceites de oliva vírgenes</u>	14
1.1.2.1. Operaciones preliminares. Clasificación, limpieza y lavado.....	15
1.1.2.2. Molienda.....	16
1.1.2.3. Batido.....	17
1.1.2.4. Separación sólido-líquido.....	17
1.1.2.5. Separación líquido-líquido.....	19
1.1.2.6. Almacenamiento y filtración.....	19
1.2. COMPOSICIÓN Y CATEGORIAS DEL ACEITE DE OLIVA.....	20
<u>1.2.1. Composición del aceite de oliva</u>	20
1.2.1.1. Fracción saponificable.....	21
1.2.1.1.1. Triglicéridos.....	21
1.2.1.1.2. Ácidos grasos.....	22
1.2.1.1.3. Ceras.....	24
1.2.1.1.4. Eritrodiol y uvaol.....	25
1.2.1.2. Fracción insaponificable.....	25
1.2.1.2.1. Esteroles.....	25
1.2.1.2.2. Pigmentos.....	26
1.2.1.2.3. Compuestos fenólicos.....	26
1.2.1.2.4. Tocoferoles.....	27
1.2.1.2.5. Compuestos volátiles.....	28
<u>1.2.2. Categorías del aceite de oliva</u>	29
2. ANTECEDENTES.....	35
2.1. MOLIENDA.....	35

2.1.1. Tamaño de criba.....	41
2.1.2. Velocidad de giro.....	44
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	46
4. MATERIALES Y METODOS.....	46
4.1. MATERIAL VEGETAL.....	46
4.2. EXTRACCIÓN DEL ACEITE.....	46
4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49
4.4. TOMA DE MUESTRAS.....	50
4.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	50
4.5.1. Caracterización del fruto y análisis del orujo.....	50
4.5.1.1. <i>Peso medio</i>	50
4.5.1.2. <i>Índice de madurez</i>	50
4.5.1.3. <i>Humedad del fruto y orujo</i>	51
4.5.1.4. <i>Contenido graso del fruto y orujo</i>	52
4.5.2. Determinaciones analíticas en aceite.....	52
4.5.2.1. <i>Parámetros de calidad reglamentada</i>	52
4.5.2.1.1. <i>Acidez</i>	52
4.5.2.1.2. <i>Índice de peróxidos</i>	53
4.5.2.1.3. <i>Coeficiente de extinción K₂₃₂ y K₂₇₀</i>	54
4.5.2.2. <i>Componentes minoritarios</i>	55
4.5.2.2.1. <i>Pigmentos fotosintéticos</i>	55
4.5.2.2.2. <i>Tocoferoles</i>	56
4.5.2.2.3. <i>K₂₂₅</i>	57
4.5.2.2.4. <i>Compuestos fenólicos totales</i>	57
4.6. ANALISIS ESTADÍSTICO.....	58
5. RESULTADOS Y DISCUCIÓN.....	60
5.1. CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO	60
5.2. CARACTERIZACIÓN DEL ORUJO.....	60
5.2.1. <u>Rendimiento graso en húmedo</u>	60
5.2.2. <u>Rendimiento graso en seco</u>	62
5.3. ACEITE.....	63
5.3.1. <u>Acidez</u>	63
5.3.2. <u>Índice de peróxidos</u>	64
5.3.3. <u>K₂₃₂</u>	65

5.3.4. <u>K₂₇₀</u>	67
5.3.5. <u>Amargor K₂₂₅</u>	68
5.3.6. <u>Compuestos fenólicos</u>	69
5.3.7. <u>Tocoferoles</u>	71
5.3.8. <u>Pigmentos fotosintéticos</u>	74
6. CONCLUSIONES	78
7. BIBLIOGRAFÍA	79
8. ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES	97

RESUMEN

El trabajo presentado en esta Memoria de Tesis de Fin de Máster ha sido realizado en el Centro IFAPA Venta del Llano, empleando aceitunas de la variedad *Picual*, recolectadas en la finca Venta del Llano que posee dicho instituto en Mengíbar, Jaén.

La investigación analiza las variables *velocidad de giro* y *tamaño de criba* durante la operación tecnológica de molienda, para determinar su influencia en el rendimiento del proceso de extracción, así como en los parámetros de calidad reglamentada y compuestos minoritarios de interés nutricional y sensorial (compuestos fenólicos, amargor K₂₂₅, tocoferoles y pigmentos).

El empleo de cribas de menor tamaño y velocidades de giro más elevadas dan lugar a un menor contenido graso del orujo. De acuerdo a los parámetros de calidad reglamentada analizados, todos los aceites fueron clasificados dentro de la categoría virgen extra sin que se vean afectados por las condiciones de molienda estudiadas.

En cuanto a la fracción minoritaria, se ha observado que tanto los compuestos fenólicos, como el amargor y los pigmentos aumentan su contenido al emplear cribas de tamaño inferior, mientras que un aumento en la velocidad de giro da lugar a una reducción de los mismos. Los tocoferoles aumentan su concentración al aumentar tanto el diámetro criba como la velocidad de giro de los martillos.

En definitiva, la regulación de las variables en la etapa de molienda permite ajustar el rendimiento del proceso y modular las características saludables y sensoriales del aceite.

PALABRAS CLAVE: *Picual*, velocidad de giro, tamaño de criba, molienda, aceites de oliva virgen extra, componentes minoritarios, calidad.

ABSTRACT

The study presented in this memorial has been carried out in Centro IFAPA Venta del Llano, using olives of the Picual variety, harvested at the “Venta del Llano” lands in Mengíbar, Jaén.

The research analyzes the variables of rotational speed and screen size during the technological grinding operation, to determinate their influence on the performance of extraction process, as well as on the regulated quality parameters and minor compounds of nutritional and sensory interest (phenolic compounds, bitterness K_{225} , tocopherols and pigments)

The use of smaller screens and higher rotational speeds lead to a lower fat content of the pomace. Regarding the regulated quality parameters analyzed, all the oils were classified within the extra virgin category without being affected by the milling conditions studied.

Regarding the minority fraction, it has been observed that both the phenolic compounds, as well as the bitterness and the pigments increase their content when screens of smaller size were used, while a higher speed of rotation leads to a reduction of them. Tocopherols increase their concentration by increasing both the sieve diameter and the speed of rotation of the hammers.

Definitely, the regulation of the variables in the milling stage allows the performance of the process to be adjusted and the healthy and sensory characteristics of the oil to be modulated.

KEY WORDS: Picual, rotational speed, sieve size, grinding, extra virgin olive oil, minor components, quality.

1. INTRODUCCIÓN

El aceite de oliva es un zumo extraído del fruto que crece en los árboles de la especie *Olea europaea* L. La primera data del uso del aceite de oliva se remonta a Egipto en el 2300 a.C, aunque el cultivo de aceitunas data del 4.000 a.C. Es en 750 a.C cuando el olivo llega a Grecia para luego expandirse a toda la cuenca del mediterráneo.

Hoy en día, el olivar ocupa más de 10 millones de hectáreas con cerca de 850 millones de árboles cultivados. El país con más olivos es España, contando con 310 millones de árboles (37% del total) y 2.750.00 de hectáreas en explotación (25%).

Entre el 90% y 93% de la producción de aceitunas se destina a la fabricación de aceites de oliva, mientras que el porcentaje restante a aceitunas de mesa.

La producción de los aceites de oliva respecto al total de aceites y grasas producidas en el mundo representa apenas el 2% (Anania et al., 2008). Sin embargo, el consumo ha ido creciendo entre un 2% y un 3,9% anualmente, siendo una tendencia en aumento debido al cambio de hábitos alimentarios de las poblaciones más desarrolladas, que reconocen la aptitud de este alimento para contribuir a una mejora en la salud.

En la Tabla 1 se muestra como dos países, España e Italia, acumulan el 45% de la producción mundial y sólo 10 países, todos de la cuenca del Mediterráneo representan el 90,5%; aunque se pueden encontrar variaciones en función de la campaña (COI. 2021). Andalucía es la primera Comunidad productora de aceites de oliva con el 80,03% del total nacional. Destaca Jaén como principal provincia productora española con el 35,40% de la producción a nivel nacional y el 44% de la producción de Andalucía.

Tabla 1. Producción mundial de aceite de oliva

PAISES	PRODUCCION 20/21 (ton)	PORCENTAJE
España	1.300	36%
Italia	315	10,17%
Túnez	240	7,75%
Turquía	227	7,33%
Grecia	225	7,26%
Marruecos	200	6,46%
Portugal	120	3,87%
Siria	105	3,39%
Argelia	100	3,23%
Argentina	30	0,97%
Palestina	27	0,87%
Mundial	3.098	100%

Fuente: COI, 2021.

1.1. MATERIA PRIMA Y PROCESO INDUSTRIAL.

1.1.1. El fruto del olivo.

El fruto de la *Olea europaea L.* se denomina como una drupa (peso medio: 1,5 – 12g) y su morfología es tendiente a ser alargada (entre 2-3 de longitud), aunque existen variedades más esféricas.

En esta drupa se distinguen tres partes: la parte exterior, epicarpio o epidermis; la parte media, mesocarpio o pulpa; y la parte interna, endocarpio o hueso.

El epicarpio representa entre el 2-2,5% del peso del fruto. Es el tejido que sirve de envoltura al fruto. Su color evoluciona durante la maduración, desde una tonalidad verde intensa hasta un color negro, pasando por distintas tonalidades rojo-violáceas. El mesocarpio representa entre el 70-80% del peso del fruto. Es la parte carnosa y comestible de la aceituna, a la que corresponde la mayor parte del peso del fruto y en donde se concentran los azúcares y aceites. Y por último, el endocarpio representa entre el 17-23% del peso del fruto. Se trata de la estructura que envuelve la semilla con el embrión (2-5,5% del peso) (Rodríguez, 2015).

Se debe tener en cuenta que para la elaboración de aceites a partir del fruto de la *Olea europaea* L. se utiliza la drupa en su totalidad, y por ende todos los compuestos deben tenerse en cuenta por su posterior interacción con la matriz y el proceso.

Como se mencionó anteriormente, el fruto, desde la formación hasta su completa madurez, varía progresivamente de color, iniciando del verde para pasar al morado o negro cuando está maduro. La utilización del color sirve entonces, como un indicador de madurez. Este parámetro denominado índice de madurez (I.M) es uno de los más utilizados para determinar el momento óptimo de recolección según los objetivos del productor y se muestra en la Tabla 2. Una de las tendencias actuales que complementa a la utilización del I.M son los análisis de la lipogénesis en el fruto, técnica que permite saber si la producción de aceite en el mismo ha llegado a su máxima expresión.

Tabla 2. Índice de madurez

INDICE DE MADUREZ			
1	2	3	4
			
5	6	7	8
			

Fuente: Interempresas.net

Se han desarrollado índices de cosecha que relacionan el color de la aceituna, su contenido en clorofila y la biosíntesis de antocianinas (responsables de la coloración del fruto) con el contenido de aceite y azúcares con la intención de elegir el momento adecuado de recolección y obtener aceites con las mejores características cualitativas (mayor rendimiento) y organolépticas posibles (mayor calidad). (Inarejos-García et al., 2010).

La composición de la aceituna es muy variable y depende de la variedad considerada, de las condiciones ambientales y del manejo agronómico. (Rodríguez, 2015).

Sus componentes principales son el agua y los lípidos, siendo siempre mayor el primer valor, además de tener una relación inversa (inversamente proporcionales) entre sí. Por término medio, el fruto de la oliva tiene un contenido en aceite de 18-32%, 40-55% agua y 23-35% entre hueso y tejidos vegetales.

En la Tabla 3 se encuentran los componentes de la aceituna en base húmeda.

Tabla 3. Composición de la aceituna

Componentes	100 g de aceitunas
Energía (Kcal)	196,00
Proteínas (g)	0,8
Lípidos totales (g)	20
AG saturados (g)	2,81
AG monoinsaturados (g)	14
AG poliinsaturados (g)	2,23
Omega 3 (g)	0,134
Omega 6 (g)	2,1
Colesterol	0
Hidratos de carbono (g)	1
Fibra (g)	4,4
Agua (g)	74
Vitamina E (mg)	1,99

Fuente: Moreiras et al., 2013

Agua: posee alrededor de un 50% de humedad. Es un factor muy importante a tener en cuenta al momento de determinar la cantidad de agua exógena al fruto que se agrega durante la molienda o batido.

Materia grasa: Representa del 17 al 30% del peso del fruto, de los cuales el 96 a 98% se halla presente en la pulpa.

Azúcares reductores: contenido total entre 3 – 5%. Los azúcares mayoritarios son la glucosa, fructosa, manitol, sacarosa, mientras que los encontrados en menor proporción la xilosa y ramnosa. Estos azúcares pueden servir como nutrientes para microorganismos indeseables y dar lugar a características indeseables debido a procesos de fermentación.

Proteínas: las aceitunas verdes tienen ligeramente un poco más de proteínas (1,4%) que las negras (1,3%), siendo la Arginina el aminoácido más presente (25% del total).

Fibra bruta: entre 1 – 4% del peso total del fruto. Sus constituyentes son la hemicelulosa, celulosa y lignina. Se encuentran principalmente en el endocarpio y también puede aprovecharse como subproducto.

Compuestos fenólicos o fenoles: son un grupo de moléculas hidrosolubles que se encuentran principalmente en el mesocarpio. Los polifenoles son los componentes con mayor valor nutricional del aceite de oliva, ya que actúan en el organismo como antioxidantes, inhibiendo las reacciones radicalarias y disminuyendo las probabilidades de contraer cáncer o enfermedades cardiovasculares. A su vez, su poder antioxidante también es valorado desde el punto de vista de la calidad alimentaria, ya que otorga al producto una mayor vida útil. Su contenido en el fruto suele rondar entre los 50-1200 mg/kg. La *Oleuropeína* es el compuesto fenólico mayoritario, y junto con sus derivados, son los responsables del amargor en los aceites (Angerosa, et al., 2004). El *Oleocantal* por su parte, otorga picor al aceite (García-Rodríguez et al., 2011). Otro compuesto fenólico de gran importancia en el plano de la salud es el *Hidroxitiroso* (Sánchez-Rodríguez et al., 2018).

Vitaminas: el fruto posee altas cantidades de Vitamina E (alfa-tocoferoles) y en menor cantidad beta-caroteno (precursor de la vitamina A).

Sustancias pécticas o Pectinas: constituyen entre 0,3 – 0,6% del peso total del fruto. Las pectinas son un grupo heterogéneo de polisacáridos complejos de naturaleza ácida y se encuentran principalmente en el epicarpio. Muchas de estas pectinas tienen la capacidad de formar geles que podrían dificultar el manejo de la pasta de aceitunas

Enzimas: Las más representativas son la pectinestearasa y la poligalacturonasa, responsables de catalizar los principales procesos de maduración de la aceituna (Kashyap et al., 2001).

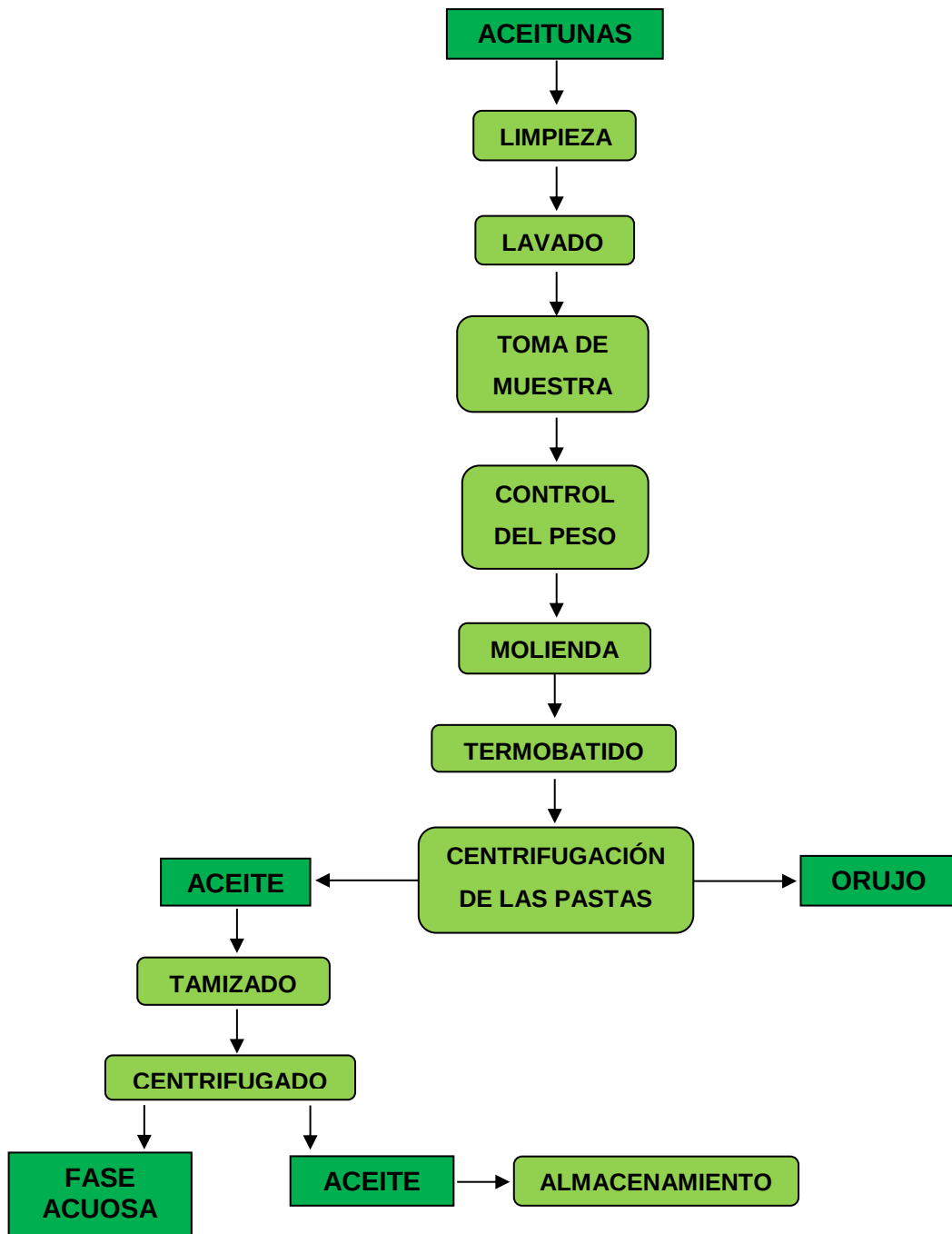
1.1.2. Proceso de elaboración de los aceites de oliva vírgenes.

De acuerdo al Consejo Oleícola Internacional (COI, 2019), los aceites de oliva vírgenes son los aceites obtenidos del fruto del olivo únicamente por procedimientos mecánicos o por otros medios físicos en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del aceite.

Para obtener un aceite de calidad superior, los frutos que llegan a la almazara deben de tener buen estado sanitario y proceder de recolección de vuelo (directamente del árbol), evitando el deterioro de estos tanto durante su recolección como el transporte, debiendo transcurrir el menor tiempo posible hasta su llegada a la almazara. Una vez llegadas aquí deben procesarse rápidamente y evitar almacenamientos para evitar procesos de atrojado (Uceda, 2004).

Una vez en la almazara, después de las operaciones preliminares llevadas a cabo en el patio (recepción, limpieza, lavado y almacenamiento del fruto), el proceso de extracción de los aceites de oliva vírgenes (Figura 1), se puede dividir en 4 etapas: preparación de las pastas (molienda y batido), separación sólido-líquido (centrifugación horizontal), clarificación del aceite (separación líquido-líquido) y almacenamiento (Alba, 2008).

Figura 1. Elaboración del aceite de oliva virgen con sistema de centrifugación en 2 fases.



Fuente: Elaboración propia.

1.1.2.1. Operaciones preliminares. Clasificación, limpieza y lavado.

El fruto debe de ser clasificado en diferentes calidades a su llegada a la almazara, al menos en función de su procedencia (suelo o árbol). Así, los frutos que potencialmente pueden dar aceites de calidad, son aquellas aceitunas sanas

procedentes del árbol, que deben ser diferenciadas de las de baja calidad (suelo) y seguir una línea diferenciada a lo largo del proceso de elaboración.

Tras la clasificación, en el mismo patio, el fruto es sometido a procesos de limpieza y lavado. Para ello, se aplican vibradores, flujos de aire y filtros que retienen hojas, ramas o piedras. Tras su limpieza, las aceitunas pasan por un proceso de *lavado*, sólo si es necesario. Para el caso de aceitunas de vuelo la operación de lavado se omite, mientras que para las aceitunas de suelo, además de la limpieza, deben someterse a un proceso lavado, donde se separan y eliminan las partículas más densas que el fruto, como tierra, piedras, etc.

1.1.2.2. Molienda

Una vez acondicionado en el patio, el fruto es almacenado en tolvas hasta el momento de la molienda. Esta primera etapa del proceso de elaboración, tiene como objetivo romper la estructura de los tejidos vegetales que lo forman para liberar el aceite alojado en su interior. El aceite presente en las aceitunas se ubica en las células del mesocarpio, principalmente encerrado en las vacuolas, y disperso, en menor medida, en el tejido coloidal del citoplasma, por lo que una condición indispensable para extraer el aceite es liberarlo de los tejidos mediante la molienda (Alba, 2008).

Estos molinos pueden ser de diferentes tipos y las variables de proceso como la velocidad de giro, tamaño de criba o temperatura generada son determinantes en la eficiencia y calidad final del producto.

Las condiciones de molienda deben evitar en la medida de lo posible la formación de pastas difíciles, emulsionadas o con gran pérdida de componentes minoritarios. Esto se logra mediante la utilización de velocidades moderadas de giro, reduciendo tiempos de permanencia y disminuyendo al máximo el contacto de la pasta con el aire.

La etapa de molienda al tratarse del tema central del Trabajo, va a ser tratada de manera independiente y detallada más adelante, en el apartado 2.1.

1.1.2.3. *Batido*

Una vez el fruto esta completamente triturado, la pasta generada se somete a la etapa de batido, donde se busca agrupar las pequeñas gotas de aceite que están dispersas en matriz procedente de la molienda, y formar una fase oleosa continua, que facilite la separación del aceite en la siguiente etapa del proceso (Hermoso et al., 1991; Alba et al., 2008).

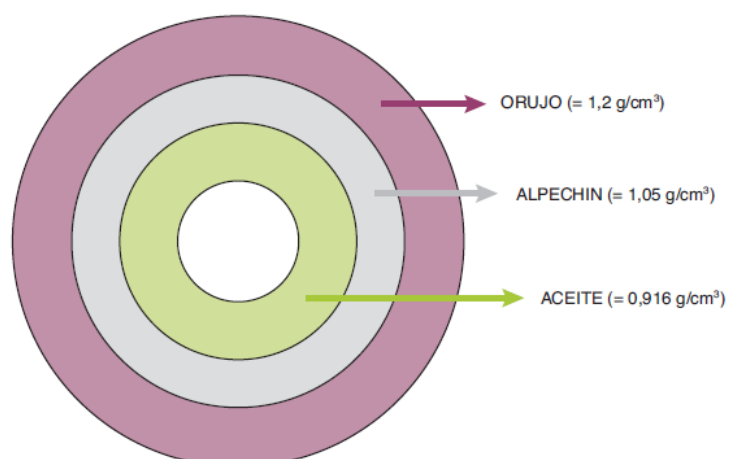
En la operación de batido, es necesario calentar la masa para disminuir la viscosidad del aceite y facilitar el fenómeno de coalescencia, reuniendo y aumentando el tamaño de las gotas de aceite liberado durante el tiempo de batido. Tanto la temperatura, como el tiempo de batido tienen influencia directa sobre el rendimiento del aceite extraído y sobre la calidad del mismo (Aguilera, 2006; Uceda et al., 2008), por lo que el control de las condiciones de batido es de vital importancia en el proceso. En el batido de las pastas, normalmente en las denominadas 'pastas difíciles' (pastas con baja extractabilidad), se pueden usar algunos coadyuvantes tecnológicos en proporciones muy pequeñas que ayudan en el proceso de separación de forma física y sin afectar en la calidad de los aceites obtenidos (Aguilera et al., 2010).

.

1.1.2.4. *Separación sólido-líquido*

Las pastas procedentes del batido estan compuestas por tres fases. Una fase sólida de mayor densidad, correspondiente a los restos de piel, pulpa y hueso de aceituna, y dos fase liquidas inmiscibles, una de ellas acuosa con densidad intermedia, y otra oleosa más ligera que corresponde mayormente al aceite (Figura 2).

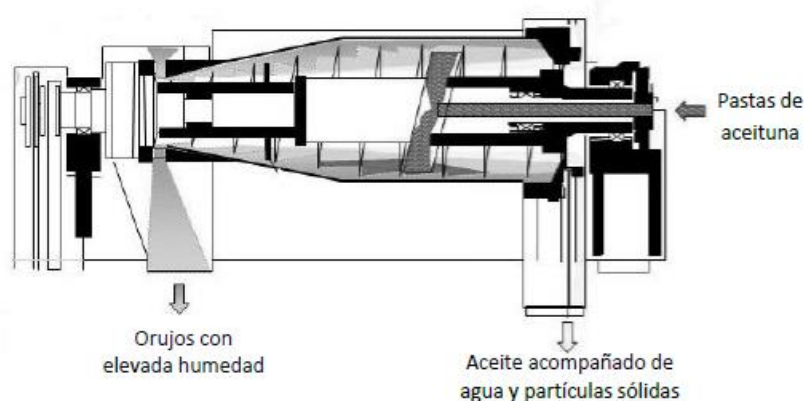
Figura 2. Anillos de separación de las fases en pastas de aceitunas.



Fuente: J. Alba. (2008). El Cultivo del Olivo, cap. 16.

Para llevar a cabo la separación del aceite del resto de fases, hoy en día prácticamente la mayoría de las almazaras, realiza una separación sólido-líquido en decanteres centrífugos horizontales de dos salidas (Figura 3). En estos sistemas de separación, por un lado se obtiene la fase oleosa, o sea el aceite con un elevado contenido en humedad e impurezas orgánicas sólidas, y por otro lado se obtiene un orujo con elevada humedad (Hermoso et al., 1998; Alba, 2008; Di Giovacchino, 2013).

Figura 3. Diagrama de funcionamiento del decánter de dos salidas.



Fuente: Abraham Gila, 2017. (Tesis doctoral).

1.1.2.5. Separación líquido-líquido

Tras la separación sólido-líquido, los aceites procedentes del decanter suelen estar acompañados en mayor o menor grado, por una cantidad de agua de vegetación e impurezas sólidas. Estos restos de agua y sólidos orgánicos deben ser eliminados del aceite antes de su envío a bodega mediante la etapa de clarificación (separación líquido-líquido), ya que por su composición pueden comprometer la calidad final del aceite tanto a nivel físico-químico como sensorial durante su almacenamiento, debido a la aparición de defectos organolépticos (Alba, 2008; Di Giovacchino, 2013).

A día de hoy, se pueden emplear dos sistemas de clarificación diferentes en las almazaras, decantación natural o por gravedad en depósitos clarificadores y por centrifugación en centrífugas verticales de discos, siendo estos últimos los más extendidos en la mayoría de las almazaras por su gran eficacia de separación (Gila et al., 2017).

1.1.2.6. Almacenamiento y filtración.

Tras su clarificación, los aceites se almacenan en depósitos de acero inoxidable de grandes dimensiones en la bodega, donde van a permanecer hasta su comercialización.

Durante el almacenamiento, la calidad de los aceites de oliva vírgenes se deteriora debido principalmente a reacciones de hidrólisis y oxidación, que además son la principal causa de la disminución de muchos componentes minoritarios que lo integran. Estas reacciones de degradación pueden acelerarse cuando las condiciones de conservación no son las adecuadas, alterando la composición de los aceites y reduciendo su vida útil. Sin embargo, por otro lado, la composición de los aceites también puede influir retrasando su degradación durante el almacenamiento. Por ejemplo, aceites de oliva con alto contenido en ácidos poliinsaturados se oxidan más rápidamente que aquellos con altos contenidos de monoinsaturados (Aparicio et al., 1999), o aceites de oliva con un alto contenido en antioxidantes (compuestos fenólicos o tocoferoles) resisten mejor la oxidación, ya que estos compuestos protegen a la matriz de procesos

degradativos y aportan una mayor estabilidad oxidativa durante el almacenamiento (Hrncirik y Fritsche, 2005).

Entre otros, los principales factores que influyen en la calidad de los aceites durante su almacenamiento son: exposición a la luz, la temperatura, presencia de oxígeno, la presencia de impurezas orgánicas y agua (Di Giovacchino, 2013).

Por último, antes del envasado, normalmente los aceites son filtrados, con el objetivo de eliminar la humedad e impurezas que están aún en suspensión en el aceite. El filtrado se realiza pasando el aceite a través de un soporte inerte, tales como filtros de celulosa o materiales porosos (tierras filtrantes o diatomeas) donde quedan retenidas las impurezas que se desean eliminar (Sawalha et al., 2009; Lozano-Sánchez et al., 2011; Masella et al., 2011). De esta forma, los aceites adquieren un aspecto limpio y brillante, aunque la filtración también puede provocar cambios en su composición, como en el contenido de compuestos volátiles, fenoles o pigmentos, influyendo en el color, aromas y sabores del aceite (Bubola et al., 2015; Vidal et al., 2019).

1.2. COMPOSICIÓN Y CATEGORIAS DEL ACEITE DE OLIVA.

1.2.1. Composición del aceite de oliva.

Los componentes del aceite de oliva se pueden clasificar en dos grandes fracciones, una fracción mayoritaria correspondiente a los compuestos saponificables y la fracción minoritaria de compuestos insaponificables. Los principales componentes se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Componentes del aceite de oliva

Componentes	Contenido
Fracción saponificable (98.5%)	g/kg
Ácido sgrasos monoinsaturados	775
Ácidos grasos poliinsaturados	63
Ácidos grasos saturados	163
Fracción insaponificable (1.5%)	mg/kg
Terpenos	3000-7000
Hidrocarburos	1500-7000
Esteroles	800-2500
Fenoles	50-500
Tocoferoles	30-150
Clorofilas	1,5-40
Carotenoides	2,5-40
Otros compuestos aromáticos (cetonas, ésteres, éteres)	250

Fuente: Roca et al., 2017.

1.2.1.1. Fracción saponificable.

Representa entre el 98% y el 99,5% del contenido total del aceite de oliva (Pérez-Camino et. al., 1996) y está formada principalmente por: Triglicéridos, diglicéridos, monogliceridos, ácidos grasos, fosofolípidos, ceras, eritrodiol y uvaol, entre otros.

1.2.1.1.1. Triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos.

Estas moléculas son ésteres de glicerina y ácidos grasos. Dependiendo del número de esterificaciones unidos a la glicerina tendremos: monoglicéridos (un ácido graso), diglicéridos (dos ácidos grasos) o triglicéridos (tres ácidos grasos).

Los triglicéridos constituyen el grupo mayoritario en el aceite de oliva, mientras que los mono y diglicéridos se encuentran en pequeñas cantidades y son el resultado de la hidrólisis de los triglicéridos, debido a procesos naturales o bien inducidos por malas prácticas en los eslabones de recolección/producción (Boskou et al., 2006).

En el aceite de oliva, según su composición, se podrían encontrar más de 70 triglicéridos. En la Tabla 5 se recogen los triglicéridos presentes en el aceite de oliva (Boskou et al., 2006). Entre los triglicéridos más importantes y abundante en los aceites de oliva vírgenes cabe destacar la trioleína (OOO), compuesto por una molécula de glicerina unida a tres cadenas de ácido oleico (Boskou et al., 2006).

Tabla 5. Composición de triglicéridos en el aceite de oliva. Boskou et al., (2016).

Triglicéridos	%
OOO	40,0 - 59,0
POO	12,0 - 20,0
OOL	12,5 - 20,0
POL	5,5 - 7,0
EOO	3,0 - 7,0

*P: ác. palmítico, O: ác. Oleico, E: ác. Esteárico, L: ác. Linoleico

Particularmente en el fruto de la *Olea europaea L.*, la biosíntesis de los triglicéridos tiende a la esterificación de los ácidos grasos insaturados en la posición 2 de la glicerina, presentando el 98-99% de los ácidos grasos oleico y linoleico unidos a la glicerina en la posición 2, mientras que el contenido en ácidos grasos saturados en dicha posición no supera el 2% (Vlahov y Angelo, 1996). La determinación del contenido en ácidos grasos esteárico y palmítico en la posición 2 de los triglicéridos constituye un método estandarizado para detectar adulteraciones del aceite de oliva virgen (Sacchi et al., 1992).

1.2.1.1.2. Ácidos grasos.

Los ácidos grasos son moléculas orgánicas de naturaleza lipídica formadas por una larga cadena hidrocarbonada lineal, de número par de átomos de carbono, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo (-COOH). La molécula puede estar completamente saturada si no existen dobles enlaces químicos (ácidos grasos

saturados), o bien puede estar insaturada si se presenta uno (ácidos grasos monoinsaturados), o más dobles enlaces (ácidos grasos poliinsaturados). Los ácidos grasos del aceite de oliva se diferencian de uno a otros, por el número de carbonos que suele oscilar entre 12 y 24, y la cantidad de doble enlaces presentes (entre 0 y 3). Aun así, la composición en ácidos grasos del aceite de oliva difiere dependiendo de la zona de producción la cual se ve fuertemente influenciada por la latitud, las condiciones climáticas, la variedad y el estado de madurez del fruto (Beltrán et al., 2004; Uceda et al., 2008).

Los ácidos grasos en estado libre se encuentran en muy bajas cantidades, ya que en su mayoría se encuentran formando parte de la estructura de otros lípidos. En la Tabla 6 se recogen los ácidos grasos presentes en el aceite de oliva.

Tabla 6. Composición en ácidos grasos del aceite de oliva.

Ácidos grasos	Nomenclatura	Límites Codex (%)
Ácido Mirístico	C 14:0	0,0 - 0,5
Ácido Palmítico	C 16:0	7,5 - 20,0
Ácido Palmitoleico	C 16:1	0,3 - 3,5
Ácido Margárico	C 17:0	0,0 - 0,3
Ácido Margaroleico	C 17:1	0,0 - 0,3
Ácido Esteárico	C 18:0	0,5 - 5,0
Ácido Oleico	C 18:1	55,0 - 83,0
Ácido Linoleico	C 18:2	3,5 - 21,0
Ácido Linolénico	C 18:3	0,0 - 1,5
Ácido Aráquico	C 20:0	0,0 - 0,6
Ácido Eicosanoico	C 20:1	0,0 - 0,4
Ácido Behénico	C 22:0	0,0 - 0,2
Ácido Lignocérico	C 24:0	0,0 - 0,2

Fuente: FAO Codex Alimentarius (2015)

Los ácidos grasos mayoritarios en el aceite de oliva son el ácido oleico, palmítico; linoleico y esteárico. Entre todos ellos, el ácido oleico (C18:1), ácido graso monoinsaturado, es el que se encuentra en mayor proporción, entre 55 al 83 %, que desde el punto de vista nutricional, confiere efectos beneficiosos sobre la salud, frente al consumo de otras grasas con elevado contenido en ácidos grasos poliinsaturados (Zampealas y Kafatos, 2004; Medeiros y Hampton, 2007; Yaqoob, 2008). Además, este ácido graso, proporciona una mayor estabilidad oxidativa a los aceites, debido a una mayor resistencia a la oxidación (Aparicio et al., 1999; Di Giovacchino, 2013).

El análisis de la composición en ácidos grasos es útil para detectar adulteraciones, debido a que los diferentes aceites presentan distintos perfiles (Sacchi et al., 1992), aunque por lo general se deben realizar análisis complementarios que determinen componentes más específicos como los estigmatadienos, derivados de esteroides producidos por la exposición al calor del aceite.

1.2.1.1.3. Ceras.

Las ceras son compuestos que proceden de la esterificación de alcoholes grasos con ácidos grasos libres, caracterizados por tener un elevado número de átomos de carbono. Las principales ceras que se encuentran en el aceite de oliva son los ésteres C36, C38, C40, C42, C44 y C46 (Boskou et al., 2006).

Estos compuestos se alojan principalmente en la piel del fruto y tienen la función de protegerlo de patógenos como hongos y levaduras. También proporciona una valiosa barrera contra la pérdida de humedad. Se ha demostrado que existe una relación entre la climatología del lugar y el contenido de ceras, existiendo mayor contenido en aquellos cultivares más cálidos y menores cantidades en lugares fríos (Mailer et al., 2010).

La presencia de ceras en cantidades superiores a las normales puede significar la adulteración con aceite de orujo (Arias, 2019). Si el contenido de ceras se encuentra entre 300 y 350 mg/kg se debe determinar el contenido de los alcoholes alifáticos, eritrodiol y uvaol (COI, 2012).

1.2.1.1.4. Eritrodiol y uvaol.

Estos componentes son alcoholes triterpénicos que se encuentran fundamentalmente en el hueso y la piel de la aceituna, por ende, aceites de orujo tienen mayores contenidos de eritrodiol y uvaol que aceites de oliva vírgenes o aceites de oliva (De la Osada, 2010).

La suma de los alcoholes triterpénicos eritrodiol y uvaol es de utilidad para detectar posibles adulteraciones de aceites de oliva virgen con aceites de orujo.

1.2.1.2. *Fracción insaponificable.*

Supone entre el 0,5%-2% del contenido total del aceite de oliva, principalmente está constituida por: esteroides, pigmentos, fenoles, tocoferoles, volátiles entre otros. Esta fracción minoritaria juega un importante papel en la estabilidad (compuestos antioxidantes) y en las características organolépticas de sabor (fenoles), aroma (volátiles) y color del aceite (pigmentos) (De Torres Sánchez, 2013).

1.2.1.2.1. Esteroides.

Los esteroides de origen vegetal se denominan fitosteroides y pertenecen al grupo de los desmetilesteroides, alcoholes esteroideos presentes en todos los organismos vivos, excepto en bacterias.

En el caso de aceites de oliva vírgenes, el contenido de β -sitosterol es el mayoritario (70-90%), seguido del delta-5-avenasterol (5-20%), campesterol (1-4%) y estigmasterol (0,5-2%). Existen otros esteroides dentro de la fracción pero en cantidades mucho menores, tales como el colesterol, campestanol, delta-7-campesterol o delta-7-avenasterol (Boskou, 1998).

Los esteroides totales y la composición de la fracción esterólica del aceite de oliva es un parámetro de gran utilidad para detectar adulteraciones (Vlahov et al., 2003, Galeano et al., 2005), principalmente con aceite de semillas (Moreda et al., 1995) ya que éstas a diferencia del aceite de oliva, poseen altas cantidades de delta-7-estigmastanol, campesterol y estigmaterol.

La presencia de algunos esteroides se utiliza también para detectar adulteraciones con aceites refinados, como es el caso de los estigmastadienos (Moreda et al., 1995). En la etapa de decoloración y desodorización en la refinación de aceites, se produce una deshidratación intramolecular en los esteroides, formándose un dieno (estereno). En el aceite de oliva, el estereno formado es el estigmatadieno, por ser el β -sitosterol el esteroide más abundante (Arias, 2019).

1.2.1.2.2. Pigmentos.

Los pigmentos presentes en el aceite de oliva son los responsables del color del aceite y se dividen en dos grupos: clorofílicos y carotenoides. Los primeros son los responsables del color verde del aceite, mientras que los segundos son los responsables de las tonalidades amarillas y anaranjadas (Gandul et al., 1991; Mínguez-Mosquera et al., 1991).

Además, los pigmentos poseen un rol activo en la conservación del aceite. Las clorofilas actúan como pro-oxidantes en presencia de luz (inducen a la foto-oxidación) y como antioxidantes moderados en la oscuridad (Vázquez-Roncero, 1980; Gutiérrez et al., 1992). Mientras que los carotenos, ejerce una protección importante contra la foto-oxidación y juega un papel fundamental en la desactivación del oxígeno singlete producido por la clorofila en presencia de luz (Bradley and Min, 1992).

1.2.1.2.3. Compuestos fenólicos:

Son moléculas orgánicas cuyas estructuras contienen al menos un grupo fenol. Dicho grupo fenol le otorga a la molécula capacidades antioxidantes, por su posibilidad de aceptar un electrón y formar un radical fenoxil relativamente estable, que altera la cadena de reacciones oxidativas. Este fenómeno de retraso en las reacciones radicalarias de oxidación se produce tanto en el aceite como en el cuerpo humano (Sánchez-Rodríguez, 2018).

Se ha evidenciado que diversos polifenoles tienen un efecto protector sobre la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Visioli et al., 1994; Fitó et al., 2000), tienen propiedades antitumorales (Fini et al., 2008), antivirales (Nikaido et al., 1981) y anti-inflamatorias (Beauchamp et al., 2005). El contenido de compuestos fenólicos es un criterio de calidad cada vez más valorado, ya que son éstos contribuyen a que el producto sea beneficioso para la salud.

Diversos autores han demostrado la correlación de los compuestos fenólicos con el amargor (parámetro sensorial) y con la estabilidad oxidativa del producto (Beltrán et al., 2000).

Los fenoles mayoritarios en el aceite de oliva son el tirosol, hidroxitorosol, oleuropeína y oleocantal (Sánchez-Rodríguez, 2018).

La concentración de fenoles totales varía significativamente entre las distintas variedades de aceituna, sin embargo factores como las condiciones climáticas, época de recolección, nivel de cosecha, las condiciones del cultivo y de industrialización son también determinantes (Tous et al., 1994). Además, cabe resaltar que los aceites refinados no podrán tener compuestos fenólicos debido a las condiciones físico-químicas de proceso a los que se someten.

El contenido total de polifenoles en el aceite de oliva virgen oscila entre 50 y 500 mg/kg de ácido cafeico (Gutiérrez et al., 1997), aunque se han descrito aceites con contenidos superiores a los 1000 mg/kg (Uceda et al., 2004).

Luego del proceso de molienda, la actividad enzimática y el carácter altamente hidrosoluble de los compuestos fenólicos conlleva a que menos del 5% del contenido inicial en el fruto se preserve en el aceite. (Klen et al., 2015).

1.2.1.2.4. Tocoferoles.

Los tocoferoles son derivados isoprenoides que difieren entre sí por el número y la posición de algunos grupos metilo. Estos compuestos son los responsables de la actividad de la vitamina E, un importante antioxidante (Gerald y Combs,

1992). Esta vitamina es esencial dado que el organismo no puede sintetizarla y debe obtenerse a través de la dieta (Sayago et al., 2007).

Por sus beneficios a la salud, los tocoferoles son muy valorados en la calidad de un aceite de oliva virgen (Millán Salas, 2001). Además, actúa como antioxidante dentro de la matriz alimentaria, otorgando estabilidad al producto ya que representa el 95% de los antioxidantes presentes en la oliva y en el aceite.

Los principales tocoferoles que se pueden encontrar en el aceite de oliva virgen son el α -tocoferol (95%), β -tocoferol y γ -tocoferol (5% entre los dos últimos) (Boskou, 1998; Cunha et al., 2006). Las cantidades pueden variar de 90 a 490 mg/kg para el α -tocoferol (Pardo et al., 2007) mientras que el β -tocoferol y γ -tocoferol se encuentran por debajo de 10 y 22 mg/kg respectivamente (Beltrán et al., 2005; Cunha et al., 2006).

El contenido de estos compuestos en los aceites de oliva depende principalmente de factores como la variedad (Perrin, 1992), condiciones agroclimáticas, estado de madurez, entre otros (Beltrán et al., 2015; Uceda et al., 2008).

1.2.1.2.5. Compuestos volátiles:

Los compuestos volátiles son los responsables de los aromas que caracterizan a los aceites de oliva vírgenes y su contenido en el mismo se ve afectado principalmente por factores como: la variedad, medio agrológico, condiciones de cultivo, maduración del fruto, método de elaboración del aceite y conservación del mismo (Di Giovacchino et al., 2001; Gómez-Rico et al., 2006; Kalua et al., 2006; Luna et al., 2006; Gómez-Rico et al., 2009; Sánchez-Ortiz et al., 2015).

Se han identificado más de 100 compuestos químicos diferentes (Cano, 2015), dentro de estos se incluyen:

Compuestos apolares: hidrocarburos saturados (n-hexano, n-octano, nonano y tetradecano), hidrocarburos insaturados (octeno, trideceno, entre otros) e hidrocarburos aromáticos (xileno, propilbenceno, entre otros).

Compuestos polares: aldehídos (2-hexenal, nonanal y hexenal), cetonas (2-octanona, 2-heptanona, 3-pentanona y 2-nonanona), ésteres (acetato de 3-hexenilo, acetato de hexilio y decanoato de etilo).

También existen otros compuestos volátiles que otorgan aromas indeseables al aceite como los derivados del furano y del tiofeno, además de ciertos tioles (Angerosa et al., 2004; Zafra et al., 2006).

1.2.2. Categorías del aceite de oliva

Para poder ser comercializados dentro de una categoría determinada, las características del aceite de oliva deben respetar los límites establecidos para dicha categoría en la normativa correspondiente. Para este estudio se utilizarán los parámetros establecidos en el reglamento de la Reglamento (UE) CEE n.º 2568/91.

Los parámetros de calidad y pureza recogidos en las Tablas 7.1, 7.2 y 7.3, son aquellos que deben cumplirse para que un aceite sea considerado dentro de alguna categoría.

Además, para comprobar la conformidad de una muestra con la categoría declarada debe seguirse el esquema de decisión recogido de la Reglamentación (Figura 4).

Aceite de Oliva Virgen Extra

Aceite de calidad superior obtenido exclusivamente por procedimientos mecánicos o por otros medios físicos en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del aceite, que no haya tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado. Debe ser frutado y no puede tener defectos.

Aceite de Oliva Virgen

Aceite obtenido exclusivamente por procedimientos mecánicos o por otros medios físicos en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del aceite, que no haya tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado. Debe ser frutado y puede tener defectos mínimos.

Aceites lampantes

Es la categoría más baja dentro de los aceites de oliva vírgenes, teniendo grandes defectos sensoriales. No es apto para el consumo directo y debe refinarse para convertirse en aceite de oliva refinado.

Aceite de oliva refinado

Es aquel que se somete a un proceso químico de refinación para eliminar todo defecto. No es apto para el consumo directo y debe mezclarse con aceite de oliva virgen o virgen extra para ser vendido al público.

Aceite de Oliva

Producto apto para el consumo humano que resulta de la mezcla entre aceites de oliva vírgenes distintos al lampante y aceite de oliva refinado.

Aceite de Orujo Crudo

Aceite obtenido por tratamiento con disolventes u otros procedimientos físicos de los orujos de oliva. No es apto para el consumo directo y debe refinarse.

Aceite de Orujo

Producto apto para el consumo humano obtenido por la mezcla entre aceite de orujo refinado y aceite de oliva virgen o virgen extra.

Tabla 7.1. Parámetros de calidad y pureza establecidos para las distintas categorías de aceite de oliva.

Categoría	Errores estilicos de los ácidos grasos (FAEs) mg/kg (*)	Acidez (%) (*)	Índice de peróxido milEq O ₂ /kg (*)	Cera mg/kg (**)	Monopalmitato de 2-glicerilo (%)	Estigmasterol mg/kg (†)	Diferencia: ECN 42 (HPLC) y ECN 42 (cálculo teórico)	K ₂₃₂ (*)	K ₂₆₈ o K ₂₇₀ (*)	Delta-K (*)	Evaluación organoléptica Mediana del defecto (Md) (†)	Evaluación organoléptica Mediana del frutado (Mf) (†)
1. Aceite de oliva virgen extra	FAEs ≤ 40 (campana 2013-2014) (†) FAEs ≤ 35 (campana 2014-2015) FAEs ≤ 30 (campanas posteriores a 2015)	≤ 0,8	≤ 20	C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 150	≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,0 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 2,50	≤ 0,22	≤ 0,01	Md = 0	Mf > 0
2. Aceite de oliva virgen	—	≤ 2,0	≤ 20	C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 150	≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,0 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 2,60	≤ 0,25	≤ 0,01	Md ≤ 3,5	Mf > 0
3. Aceite de oliva lampante	—	> 2,0	—	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 300 (†)	≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,1 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	≤ 0,50	≤ 0,3	—	—	—	Md > 3,5 (†)	—
4. Aceite de oliva refinado	—	≤ 0,3	≤ 5	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 350	≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,1 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	—	≤ 0,3	—	≤ 1,10	≤ 0,16	—	—

Fuente: Reglamento (UE) n° 1348/2013.

Tabla 7.2. Parámetros de calidad y pureza establecidos para las distintas categorías de aceite de oliva.

Categoría	Ésteres etílicos de los ácidos grasos (FAEs) mg/kg (*)	Acidez (%) (*)	Índice de peróxido mEq O ₂ /kg (*)	Ceras mg/kg (**) C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 350	Monopalmitato de 2-glicerilo (%) ≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,0 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	Estigmatadienos mg/kg (†)	Diferencia: ECN 42 (HPLC) y ECN 42 (†) (cálculo teórico)	K ₂₃₂ (*)	K ₂₃₈ o K ₂₇₀ (*)	Delta-K (*)	Evaluación organoléptica Mediana del defecto (Md) (*)	Evaluación organoléptica Mediana del frutado (Mf) (*)
5. Aceite de oliva (compuesto de aceites de oliva refinados y de aceites de oliva vírgenes)	—	≤ 1,0	≤ 15	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ ≤ 350	≤ 0,9 si el % total de ácido palmítico es ≤ 14 % ≤ 1,0 si el % total de ácido palmítico es > 14 %	—	≤ 0,3	—	≤ 0,90	≤ 0,15	—	—
6. Aceite de orujo de oliva crudo	—	—	—	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ > 350 (†)	≤ 1,4	—	≤ 0,6	—	—	—	—	—
7. Aceite de orujo de oliva refinado	—	≤ 0,3	≤ 5	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ > 350	≤ 1,4	—	≤ 0,5	—	≤ 2,00	≤ 0,20	—	—
8. Aceite de orujo de oliva	—	≤ 1,0	≤ 15	C ₄₀ + C ₄₂ + C ₄₄ + C ₄₆ > 350	≤ 1,2	—	≤ 0,5	—	≤ 1,70	≤ 0,18	—	—

(†) Total de isómeros que han podido (o no han podido) separarse con columna capilar.

(‡) El aceite de oliva debe estar en conformidad con el método establecido en el anexo XX bis.

(§) Este límite se aplica a los aceites de oliva producidos a partir del 1 de marzo de 2014.

(¶) Se considera que los aceites con un contenido de ceras entre 300 mg/kg y 350 mg/kg son aceites de oliva lampantes si el contenido total de alcoholes alifáticos es inferior o igual a 350 mg/kg o si el contenido de eritrodio y uvaol es inferior o igual al 3,5 %.

(*) O cuando la mediana de los defectos es superior a 3,5 o la mediana de los atributos frutado es inferior o igual a 3,5 y la mediana del atributo frutado es igual a 0.

(†) Se considera que los aceites con un contenido de ceras entre 300 mg/kg y 350 mg/kg son aceites de orujo de oliva crudos si el contenido total de alcoholes alifáticos es superior a 350 mg/kg y si el contenido de eritrodio y uvaol es superior al 3,5 %.

Fuente: Reglamento (UE) n° 1348/2013.

Tabla 7.3. Parámetros de calidad y pureza establecidos para las distintas categorías de aceite de oliva.

Categoría	Composición de ácidos grasos (%)					Sumas de los isómeros transoleicos (%)	Sumas de los isómeros translinoleicos + translinoléicos (%)	Composición de los esteroides						Esteroides totales (mg/kg)	Eritriol y uvaol (%) (**)	
	Mirístico (%)	Linoléico (%)	Araquídico (%)	Eicosenoico (%)	Behénico (%)			Lignocérico (%)	Coolesterol (%)	Brassicasterol (%)	Campsterol (%)	Estigmasterol (%)	β -sitosterol aparente (%) ⁽¹⁾			Delta-7-estigmastenol (%)
1. Aceite de oliva virgen extra	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 000	≤ 4,5
2. Aceite de oliva virgen	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 000	≤ 4,5
3. Aceite de oliva lampante	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0	—	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 000	≤ 4,5 ⁽⁴⁾
4. Aceite de oliva refinado	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 000	≤ 4,5
5. Aceite de oliva (compuesto de aceites de oliva refinados y de aceites de oliva vírgenes)	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 000	≤ 4,5
6. Aceite de orujo de oliva crudo	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,10	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 4,0	—	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 2 500	> 4,5 ⁽³⁾
7. Aceite de orujo de oliva refinado	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,40	≤ 0,35	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 800	> 4,5
8. Aceite de orujo de oliva	≤ 0,03	≤ 1,00	≤ 0,60	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,40	≤ 0,35	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 4,0	< Camp.	≥ 93,0	≤ 0,5	≥ 1 600	> 4,5

⁽¹⁾ Contenido de otros ácidos grasos (%): palmítico: 7,50-20,00; palmitoleico: 0,30-3,50; heptadecanoico: ≤ 0,30; estearico: 0,50-5,00; oleico: 55,00-83,00; linoleico: 3,50-21,00.

⁽²⁾ Véase el apéndice del presente anexo.

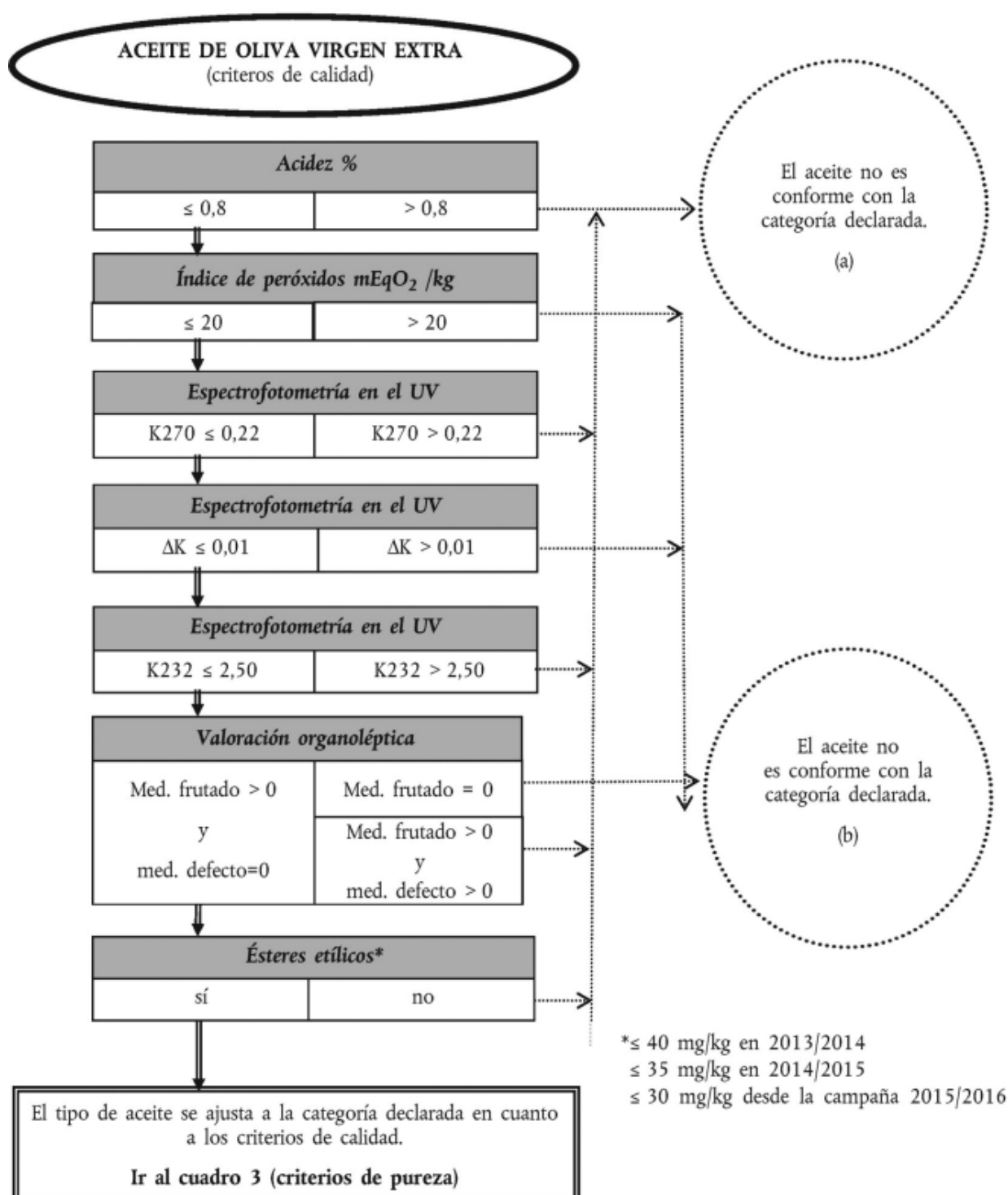
⁽³⁾ β -sitosterol aparente: delta-5,23-estigmastadienol + beta-sitosterol + sitostanol + delta-5-avenasterol + delta-5,24-estigmastadienol.

⁽⁴⁾ Se considera que los aceites con un contenido de ceras entre 300 mg/kg y 350 mg/kg son aceites de oliva lampantes si el contenido total de alcoholes alifáticos es inferior o igual a 350 mg/kg o si el contenido de eritriol y uvaol es inferior o igual al 3,5 %.

⁽⁵⁾ Los aceites con un contenido de ceras comprendido entre 300 mg/kg y 350 mg/kg se consideran aceite de orujo de oliva crudo si el contenido de alcoholes alifáticos totales es superior a 350 mg/kg y si el porcentaje de eritriol y uvaol es superior al 3,5 %.

Fuente: Reglamento (UE) n° 1348/2013.

Figura 4. Esquema de decisiones para la comprobación de la conformidad de una muestra de aceite de oliva con la categoría declarada.



Fuente: Reglamento (UE) n° 1348/2013.

2. ANTECEDENTES.

2.1. MOLIENDA.

La molienda, es la operación unitaria desarrollada para dar inicio a la formación de la pasta de aceitunas. Su principal objetivo es romper de forma íntegra las estructuras vegetales del fruto para liberar las gotas de aceite situadas principalmente en el mesocarpio carnoso del mismo, facilitando que las restantes operaciones de elaboración (batido, extracción, centrifugación) se lleven a cabo eficazmente.

Es un punto de control crítico ya que la calidad final del aceite, depende en parte, de las condiciones aquí creadas, teniendo en cuenta que al romper los tejidos se ponen en marcha los sistemas enzimáticos del fruto y que muchos de los componentes deseados, como los fenoles, pasaran a solubilizarse en la fase oleosa. Además, las condiciones del proceso de molienda son un factor fundamental en el rendimiento industrial.

La pasta generada en el molino estará formada por dos partes solidas (pulpa y hueso) y dos partes líquidas (aceite y aguas vegetales).

El aceite dentro de la pasta se puede encontrar en tres formas diferentes. Como aceite *suelto*, o “mosto suelto”, aquel que se separa de la pasta durante el proceso de molienda. En estado normal, “mosto normal”, aquel que se separa de la pasta cuando esta se somete a un proceso de centrifugación o similar. Este aceite no está totalmente separado de la masa y es el que presenta mayor cantidad. Por último, podemos encontrar el aceite *ocluido*, aquel que no se separa de la pasta una vez sometida al proceso de presión o centrifugación, y que pasa a formar parte del orujo (Caravaca et al., 2013).

Para realizar la operación de molienda se pueden utilizar molinos metálicos o de empiedro, siendo estos últimos los menos utilizados, o prácticamente en desuso por la industria al tener un sistema de trabajo discontinuo y ocupar gran cantidad de espacio; sin embargo tienen la ventaja de trabajar sin excesiva fuerza mecánica, favoreciendo a un menor aumento de la temperatura, preservando

mayor cantidad de compuestos volátiles que proporcionan aroma (Angerosa y Di Giacinto, 1995). En estos molinos no existe transferencia de trazas metálicas al fluido.

Los molinos más antiguos son los empiedros de rulo (Figura 5), los cuales están constituidos por una zona circular de piedra silíceo o granítica denominada “solera”, sobre la que giran las “muelas” de forma troncocónica del mismo material. Las aceitunas caen en el centro de la solera y al ser molidas por las muelas en su giro provocan el desplazamiento de la masa hacia el exterior, donde se acumula en la zona llamada “alfarje”. Las muelas son movidas por un eje central produciendo el “dilacerado de la aceituna” (Plaza et al., 2013).

Figura 5. Molino de empiedro de rulos.



Fuente: GEA Westfalia (El Manual del Maestro de Almazaras).

Si las muelas del empiedro son de tipo cilíndrico, el molino será de tipo italiano (Figura 6). Este tipo de molinos dan una pasta muy apreciada por la facilidad en la separación del aceite y por la no formación de emulsiones, ya que la velocidad de giro es de 12-14 r.p.m. Los inconvenientes se han nombrado previamente e incluyen un bajo volumen de producción, altos niveles de aireación, grandes dimensiones, etc. (Plaza et al., 2013).

Figura 6. Molino de empiedro modelo italiano.



Fuente: GEA Westfalia (El Manual del Maestro de Almazaras).

En contraposición, los molinos metálicos, tienen la capacidad de molturar grandes volúmenes mediante sistemas continuos y definir con mayor precisión el grado de molienda. Sus menores costes y su fácil mantenimiento son también características que posicionan a estos molinos como los más utilizados en la industria. Entre los molinos metálicos se pueden encontrar molinos de rodillos (Figura 7), molinos de martillos con criba perforada fija (Figura 8), de criba rotante, de doble criba, molinos de Listelo (Figura 9) y molinos de discos (Figura 10), donde todos comparten algunas características como estar formados por una cámara de molturación (donde se localizan las partes activas que realizan la molienda), una zona de alimentación de aceitunas, un motor eléctrico y una tolva de salida de masa (Caravaca et al, 2013).

La naturaleza del material metálico debe ser de calidad alimentaria, por ende el acero inoxidable es el siempre el elegido para la confección de estos equipos.

Figura 7. Molino de rodillos.
fija.

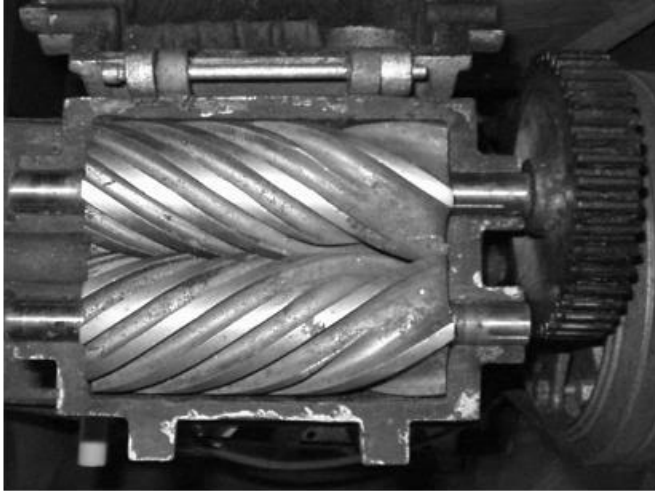
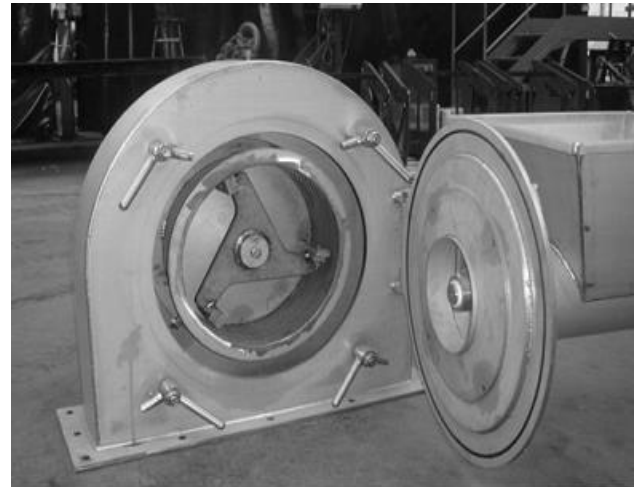


Figura 8. Molino de martillos de criba



Fuente: GEA Westfalia (El Manual del Maestro de Almazaras).

Figura 9. Molino de martillos con criba de listelos.
discos

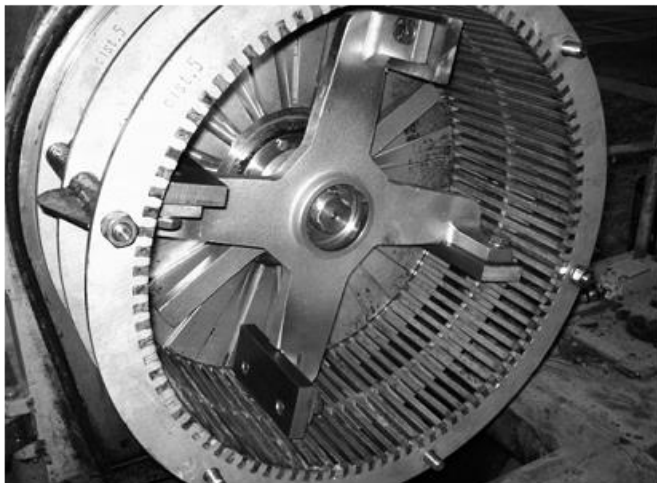


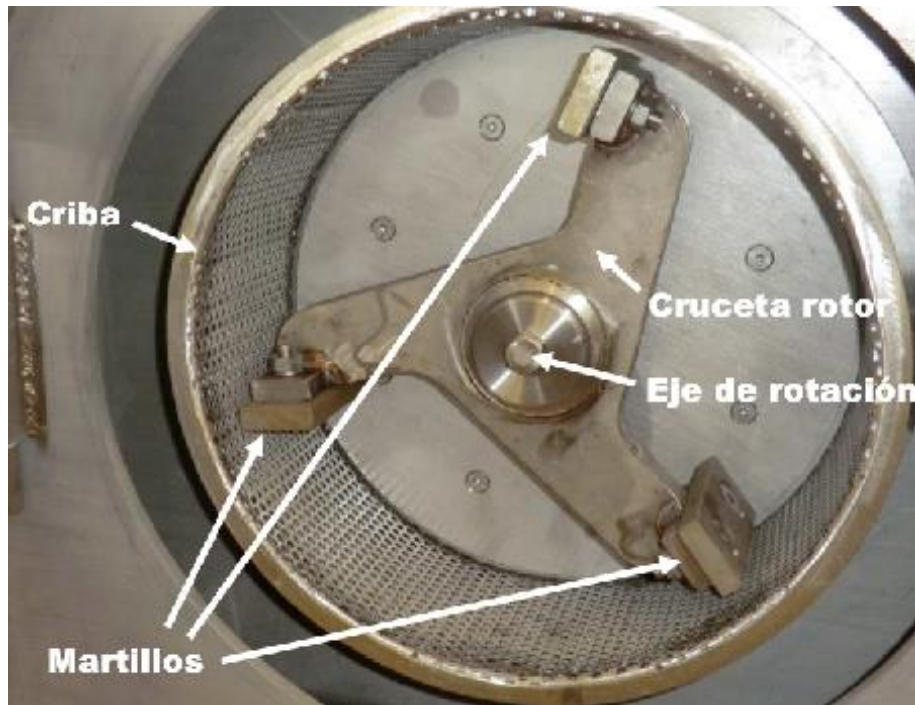
Figura 10. Molino de



Fuente: GEA Westfalia (El
Manual del Maestro de Almazaras).

Los equipos más extendidos son molinos metálicos de martillos, que se constituyen de un eje con martillos giratorios acoplados y una criba regulable (Figura 11). La molturación es llevada a cabo por la acción de los martillos, que giran a una velocidad determinada e impulsan la pasta hacia la criba a través de cual sale, definiendo el tamaño de partícula de esta según el diámetro de las perforaciones, que normalmente varían entre 4 y 7 mm.

Figura 11. Partes interiores de un molino de martillos con criba fija.



Fuente: Elaboración propia.

Generalmente, las velocidades de giro del rotor de los molinos que hay en el mercado son fijas y rondan las 3000 r.p.m, aunque cada vez más se están instalando molinos con variadores de velocidad para poder adecuarla a las características del fruto a procesar, según su estado general, variedad, maduración, etc. En la mayoría de estos equipos, la criba suele girar en dirección contraria a los martillos, para lograr un efecto de cizalla que aumente la eficacia de trituración. Hay que tener en cuenta, que se corre riesgo alto de atranques de masa y obstrucción del mismo cuando se trabaja a bajas velocidades de giro en la molienda, por lo que en ese caso debe ajustarse el caudal de alimentación de entrada de fruto al molino.

La operación de molienda aumenta la temperatura de la pasta debido a que la fuerza cinética de los martillos al girar se transforma en energía térmica cuando se produce la fricción. Diversos resultados (García-Rodríguez et al., 2011; Uceda 2004; García et al., 1996) han demostrado que la pasta de aceitunas procesada en molino de martillos aumenta su temperatura entre 4-10°C respecto a la temperatura ambiente, mientras que sólo aumenta 4-5 °C cuando se trata con

molino de discos. Esto coincide con los estudios de Caponio y Catalano (2001), donde se observó que los molinos de martillo producen una fragmentación más intensa del fruto que los molinos de discos, resultando en un aumento sustancial de la temperatura.

Mayores temperaturas durante el proceso de molienda conllevan a menor vida útil de los aceites. Los análisis de Caponio y Catalano (2001) demostraron que los aceites obtenidos mediante molino de martillos poseen mayor degradación oxidativa que los obtenidos con molino de discos. A su vez, se ha observado que el aumento de temperatura incrementa los valores de parámetros de oxidación (K_{232} , K_{270} e índice de peróxidos) del aceite independientemente del tipo de molino utilizado.

Kula et al. (2017) demostraron que las diferentes temperaturas de trituración (13 °C, 18 °C, 24 °C, 30 °C), en general, no tienen efecto sobre la cantidad de ácidos grasos libres.

La mayor agresividad de los molinos de martillo, justifica el mayor contenido de compuestos fenólicos respecto a los aceites molturados con molinos de empiedro (Angerosa et al., 1995; Allogio et al., 1996; Caponio et al., 1999). Este fenómeno se basa en una mayor ruptura de los tejidos vegetales de la aceituna, aumento de la temperatura y de la actividad enzimática involucrada en la biogeneración y transformación de compuestos fenólicos apolares y compuestos volátiles como la glucosidasa (Di Giovachino, et al., 2002; Romero-Segura et al., 2019). En el caso de los molinos de discos, Caponio y Catalano (2001) y Caponio et al., (2003) no observaron diferencias significativas respecto al contenido de fenoles.

Otros trabajos (Sacchi et al., 2019; Di Giovachino et al., 2002; Solinas et al., 1975) confirman que el uso de molineras más violentas (menor tamaño de criba y mayor velocidad de giro) ayuda a obtener mayor cantidad de compuestos fenólicos y aumentar el amargor.

Por otro lado, se ha encontrado que el contenido de polifenoles disminuye con el aumento de la temperatura, a excepción del *oleocantal* y la *oleaceína*. En el estudio de López-Yerena et al. (2021) se realizó la operación de molienda a temperaturas controladas y los contenidos en fenoles totales (mg/kg) fueron los siguientes: 360,7 mg/kg a 10°C; 337,5 mg/kg a 18 °C y 331,2 mg/kg a 25°C. Estos resultados reflejan que a bajas temperaturas los compuestos fenólicos son más estables.

La fracción volátil del aceite también se ve influenciada por las condiciones de molienda, existiendo más notas florales y mayor frutado, pero menores notas de “hierba recién cortada” cuando la operación es menos agresiva. Además el amargor y picante es menos intenso en este caso (Angerosa y Di Giacinto, 1995).

Uno de los fenómenos más importantes a controlar durante la etapa de molienda, es la formación de emulsiones o sistemas coloidales, que dan lugar a las denominadas “pastas difíciles”. Estas pastas emulsionadas presentan dificultades en las distintas fases del proceso de extracción del aceite, e inciden negativamente en el rendimiento final (Alba et al., 1990). La formación de estas pastas difíciles se observan principalmente en ciertas variedades de olivo, como Hojiblanca y Picual con índices de madurez bajos, que son molturadas inmediatamente después de su recolección o que han podido ocurrir algunas de las siguientes circunstancias: excesiva temperatura, excesivo tiempo de molido, excesiva velocidad de rotación, excesiva adición de agua, molienda muy fina, frutos atacados por plagas, etc. (Gabriel et al., 2017).

2.1.1. Tamaño de criba.

La elección del tamaño de criba en la molienda del fruto, en ocasiones única variable a regular en esta etapa, está relacionada directamente con rendimiento de extracción del proceso y las características finales de los aceites obtenidos (Beltrán et al., 2010).

El diámetro de las perforaciones de las cribas va desde 4 hasta 7 mm. La elección del tamaño de criba dependerá principalmente de las condiciones del fruto, como el estado de madurez, contenido en humedad, tamaño del fruto,

variedad, entre otros condicionantes. Por ejemplo para aceitunas recolectadas al inicio de la campaña el tamaño de criba debe ser más fino (4-5 mm) para que la rotura de las estructuras vegetales sea correcta, mientras que con aceitunas más maduras o con altos porcentajes de humedad, el grado de molienda puede ser mayor (6-7 mm) (Beltrán et al., 2010).

Durante la molienda, parte de la energía cinética de los molinos que giran es transformada en energía térmica por fricción, por lo que genera un incremento de la temperatura (Amirante et al., 1993). En este sentido, cribas de tamaño pequeño, con bajo poder de evacuación de la pasta y que no sean adecuadas a las características del fruto, pueden crear sobre calentamiento de la pasta durante la molienda influyendo en las características del finales de los aceites.

Como norma general, a menor grado de molienda, mayor rendimiento industrial, sin embargo, grados de molienda excesivamente finos, harán que la pasta tienda a formar sistemas coloidales y emulsiones, disminuyendo la extracción y por ende el rendimiento. Por el contrario, grados de molienda excesivamente gruesos conllevarán a que las gotas de aceite no se liberen completamente y se obtengan orujos de alto contenido graso (Caravaca et. al., 2013).

De Torres-Sánchez (2013) determinó respecto a los rendimientos de extracción, que la utilización de una criba de 4,5 mm frente a una de 5,5 mm sólo se justifica si la aceituna es de recolección muy temprana. Cuando la aceituna tiene índices mayores de madurez, no existen diferencias significativas en el rendimiento cuando se utilizan dichos tamaños de criba.

En general, el tamaño de criba en la molienda no tiene influencia en los parámetros de calidad reglamentada, aunque sí se aprecia un ligero aumento de éstos en aceites extraídos con tamaño de criba más grueso (Cert et al., 1999). De Torres-Sánchez (2013), tampoco observó efecto del tamaño de criba sobre los parámetros de calidad, excepto para el caso del parámetro de oxidación K_{270} , en el cual se observó ligero aumento de este parámetro con cribas de menor tamaño.

Con respecto a los compuestos minoritarios, el tamaño de criba no muestra diferencias significativas sobre el contenido en tocoferoles de los aceites (De Torres-Sánchez, 2013), sin embargo Inarejos-García et al. (2019) determinaron una relación directa entre la disminución del tamaño de criba y el aumento de los tocoferoles.

La disminución en el tamaño de criba permitiría obtener aceites con mayor contenido de clorofilas y carotenoides, siendo más coloreados (Inarejos-García et al., 2019), aunque las condiciones medioambientales serían el factor determinante para esta variable (De Torres-Sánchez et al., 2003).

Componentes como el ácido maslínico, ácido oleanólico y alcoholes triterpénicos, un grado de molienda más fino da lugar a un incremento de los mismos, aunque la variedad del fruto es una variable relevante (Allouche et al., 2010).

El grado de molienda en los molinos de martillos tiene influencia en el contenido en compuestos fenólicos (Cert et al., 1999;). Un tamaño de criba menor proporciona aceites con un contenido en fenoles más elevado (Solinas et al., 1975; De Torres-Sánchez, 2013), aunque otros algunos autores no han encontrado diferencias significativas en el contenido de fenoles en aceites obtenidos con diferentes tamaños de criba (Cert et al., 1999; Fregapane y Salvador, 2013).

Este aumento en la cantidad de polifenoles no sólo es debida a la mayor ruptura de las estructuras vegetales, sino también a un aumento de la actividad enzimática relacionada con la bio-generación de compuestos fenólicos, principalmente por la actividad de la β -glucosidasa y esterasa (Marsilio y Lanza, 1998; Romero-Segura et al., 2009), polifenol-oxidasa, peroxidasas and lipooxigenasas (Servili et al., 2003a, Servili et al., 2003b, Servili et al., 2008).

Fregapane et al. (2010) observaron un mayor contenido en hidroxitirosol en aceites obtenidos con cribas de menor tamaño, que también coincide con los

resultados descritos por De Torres-Sánchez (2013) para este mismo compuesto, junto también a un ligero incremento del tirosol.

Respecto a compuestos volátiles, Inarejos-García et al. 2010 observaron un aumento de los mismos con la utilización de cribas de mayor diámetro.

2.1.2. Velocidad de giro.

La velocidad de giro es otra variable de la molienda que puede regularse. En la mayoría de los molinos, la velocidad de giro es fija y ronda las 3000 r.p.m. Sin embargo, estos equipos de molienda pueden trabajar a diferentes velocidades de giro gracias a la implantación de variadores de velocidad, siempre y cuando se tenga en cuenta, que trabajar a menor velocidad de giro existe la posibilidad de atranques de la masa por una disminución en la capacidad de evacuación de la pasta generada en el interior del molino, debido a la pérdida de velocidad (Caravaca, et al., 2013).

Mayor velocidad de giro en los martillos, produce una molienda más agresiva con posibilidad de generar un exceso de finos, incluso en frutos más maduros, y por tanto peores agotamientos de los subproductos. Además, un aumento de la velocidad de giro se traduce en un incremento de la temperatura de la pasta, debido a que se aplica una mayor energía cinética, que finalmente se transforma en energía térmica debido a la fricción generada en el interior del molino (Amirante et al., 1993; Bianchi y Catalano, 1992). Aunque algunos autores (Guerrini et al., 2017), no encontraron diferencias significativas en la temperatura cuando se utilizaron las velocidades comprendidas entre 2200 y 3200 r.p.m.

Al igual que el grado de molienda, la velocidad de giro de los martillos tiene influencia tanto en el rendimiento de extractabilidad del proceso como en la características de los aceites obtenidos (Beltrán et al., 2010).

Polari et al. (2017) observó una mejora del rendimiento de extracción del 1,2%, incrementando la velocidad de giro de los martillos de 2400 a 3600 r.p.m (utilizando criba con diámetro de 6 mm), sin observar diferencias en los parámetros de calidad. Por otro lado, no encontró diferencias significativas de

estas velocidades con respecto a una velocidad intermedia de 3000 r.p.m y el mismo tamaño de criba.

Guerrini et al. (2017) no encontraron diferencias significativas en los parámetros de calidad (acidez libre, índice de peróxidos y coeficientes de absorbancia UV) en aceites obtenidos empleando diferentes velocidades de giro en el molino, 2200 r.p.m, 2700 r.p.m y 3200 r.p.m.

Aumentando la velocidad relativa de giro de los martillos de un molino metálico se produce un incremento de compuestos fenólicos (Angerosa et al., 1990; Guerrini et al., 2017; Sacchi et al., 1996; Inarejos-García et al., 2010), independientemente del estado de madurez del fruto utilizado (Di Giovacchino et al., 2002). Guerrini et al (2017) encontraron diferencias en la cantidad de compuestos fenólicos, donde aceites obtenidos a velocidades de giro de 3200 r.p.m presentaron mayores contenidos de fenoles (428 mg/kg) con respecto a velocidades inferiores de 2700 y 2200 r.p.m, con contenidos de 385 y 374 mg/kg, respectivamente.

Este aumento en el contenido fenólico se ve reflejado sensorialmente en los aceites obtenidos, por lo que un aumento de velocidad de rotación en los molinos metálicos aumentan las características de amargor, picante y astringencia en estos. (Angerosa y Solinas, 1990; Guerrini et al., 2017).

Respecto al contenido de pigmentos en el aceite, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de clorofilas entre velocidades de giro de 2200 a 2700 r.p.m, aunque sí hubo un aumento de las mismas a velocidades de 3200 r.p.m (Guerrini et al., 2017). Esta afirmación coincide con trabajos previos donde se encontró una relación proporcional entre el aumento velocidad y las clorofilas extraídas (Inarejos-García et al., 2010).

El contenido de compuestos volátiles no parece modificarse significativamente cuando se varía la velocidad de giro del molino. (Guerrini et al., 2017; Inarejos-García et al., 2010).

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

- ✓ Evaluar la influencia del tamaño de criba y velocidad de giro del molino sobre el rendimiento del proceso de extracción del aceite de oliva virgen.
- ✓ Establecer el efecto de las variables en la etapa de molienda, tamaño de criba y velocidad de giro de los martillos, sobre la calidad y los compuestos de interés nutricional y sensorial del aceite de oliva virgen.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIAL VEGETAL.

Para realizar el estudio se utilizaron en torno a 5000 kg de aceituna de la variedad '*Picual*' procedentes de la finca experimental del Centro IFAPA 'Venta del Llano' de Mengíbar (Jaén).

Los frutos fueron recolectados, el 2 de diciembre de 2021, mediante vibrador autopropulsado directamente del árbol, transportándose de forma inmediata a la almazara del IFAPA.

Tras su recepción se procedió a su limpieza para la eliminación de hojas, pequeñas y otras impurezas presentes en el fruto para su posterior almacenamiento sin que se llevara a cabo su lavado. El fruto fue procesado en un tiempo inferior a las 24 horas.

4.2. EXTRACCIÓN DEL ACEITE.

La extracción del aceite se realizó a escala industrial en la almazara experimental del Centro IFAPA 'Venta del Llano' de Mengíbar (Jaén). En las Figuras 12 y 13 se muestra el patio de la almazara y las tolvas de recepción del fruto respectivamente.



Figura 12. Patio de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano



Figura 13. Tolvas de recepción de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.

Se empleó una línea continua de 2 fases Pieralisi (Pieralisi, España) con una capacidad teórica de 60000 kg/día equipada con:

Molino de martillos metálicos (Figura 14): equipado con sistema de criba rotante.



Figura 14. Molino de martillos Pieralisi de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.

Termobatidora con 3 cuerpos en línea MOLINOVA (Figura 15) de una capacidad de 600 kg cada uno.



Figura 15. Batidora de la almazara experimental del IFAPA Centro Venta del Llano

Centrífuga horizontal de 2 salidas *PIERALISI SPI111* (Figura 16). Régimen de giro: 3500 r.p.m.



Figura 16. Centrífuga Pieralisi de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.

Se fijaron las siguientes condiciones de elaboración: Tiempo de batido de 45 min a una temperatura de 20°C. La separación de fases se llevó a cabo a un ritmo de inyección de la masa molida de 1100 kg/h sin adición de agua.

4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se ensayaron dos variables de la etapa de molienda, detalladas en la Tabla 8: el grado de molienda y la velocidad de giro de los martillos, siguiendo un diseño factorial con dos niveles para cada variable.

Tabla 8. Diseño experimental del ensayo de molienda.

TAMAÑO DE CRIBA	VELOCIDAD DE GIRO MARTILLOS
5 mm	2200 r.p.m
5 mm	2900 r.p.m
6 mm	2200 r.p.m
6 mm	2900 r.p.m

Fuente: Elaboración propia.

4.4. TOMA DE MUESTRAS.

Las muestras de aceite y orujo fueron tomadas por triplicado en los últimos 15 min de cada tratamiento directamente a la salida de la centrífuga horizontal o decanter. Los aceites fueron filtrados de forma inmediata y conservados a -18°C hasta el momento de su análisis.

4.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.

4.5.1. Caracterización del fruto y análisis del orujo.

4.5.1.1. *Peso medio.*

El peso medio del fruto se llevó a cabo pesando una muestra 100 de frutos en una balanza de precisión ($\pm 0,01$ g).

4.5.1.2. *Índice de madurez (I.M).*

El índice de madurez de los frutos, se determinó utilizando el método desarrollado por Uceda y Frías (1985), el cual se basa en el cambio de color por pigmentación de la piel (epicarpio) y de la pulpa (mesocarpio) conforme avanza el proceso de maduración.

Para ello, de una muestra de fruto (aproximadamente 2 kg) se cogieron 100 frutos al azar y se clasificaron en cada una de las categorías o clases mostradas en la Tabla 9 en función del color la piel y la pulpa. Para establecer el color de la pulpa, se llevó a cabo un corte limpio y tangente al hueso, para extraer la pulpa y observar la profundidad de la pigmentación.

Tabla 9. Categorías de frutos según su pigmentación.

CATEGORIA/CLASE – COLOR DE LA PIEL/PULPA
0: Piel verde intenso.
1: Piel verde amarillento.
2: Piel verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto
3: Piel rojiza o morada en más de la mitad del fruto. Final del envero.
4: Piel negra y pulpa blanca.
5: Piel negra y pulpa morada sin llegar a la mitad de la pulpa.
6: Piel negra y pulpa morada sin llegar al hueso.
7: Piel negra y pulpa morada totalmente hasta el hueso.

Fuente: Uceda y Frías, 1985.

Una vez clasificados los frutos en cada una de sus categorías, se puede definir el índice de madurez (I.M) como sumatorio del número de frutos de cada categoría por el valor numérico de su categoría dividido por 100, es decir, siendo A,B,C,D,E,F,G,H el número de frutos de cada catearía 0,1,2,3,4,5,6,7 respectivamente, el índice de madurez es:

$$IM = (Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7) / 100$$

De acuerdo a esta ecuación, el valor del IM puede ir desde un mínimo de 0 a un máximo de 7.

4.5.1.3. Humedad del fruto y orujo.

Se pesan 30 g de muestra, tanto como para el caso de pasta de aceituna molida como para el orujo, que se lleva a desecación mediante estufa de aire forzado a 105°C hasta peso constante. La humedad se calcula mediante la diferencia de peso con la Ecuación 1.1.

$$H = \frac{m_h - m_s}{m_h} 100 \quad (\text{E.1.1})$$

Donde H es la humedad (%), m_h la masa húmeda (g) y m_s la masa seca (g).

4.5.1.4. *Contenido graso del fruto y orujo.*

El contenido graso del fruto y del orujo en base húmeda, una vez desecado para la medida de la humedad, se midió mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN) mediante un equipo Minispec mq10 NMR Analyser (Bruker, España).

Para determinar el contenido graso sobre materia seca se empleó la Ecuación 1.2.

$$MGS (\%) = (\%MGH / 100 - \%H) \times 100 \quad (\text{E.1.2})$$

Donde MGS es la materia grasa o rendimiento seco sobre materia seca, MGH la materia grasa o rendimiento graso sobre materia húmeda y H la humedad. Los resultados se expresaron como porcentajes.

4.5.2. Determinaciones analíticas en aceite.

4.5.2.1. *Parámetros de calidad reglamentada.*

Se han analizado los parámetros de calidad de acuerdo al Reglamento (UE) CEE n.º 2568/91 establecidos para la clasificación dentro de las categorías de los aceites de oliva vírgenes según la normativa vigente.

4.5.2.1.1. Acidez.

El análisis de la acidez se llevó a cabo mediante una estimación ácido-base de una muestra de aceite disuelta en una mezcla de disolventes no acuosos, mediante una disolución etanólica de hidróxido potásico y empleando fenolftaleína como indicador.

Para ello, se pesaron $5 \pm 0,01$ g de aceite en un matraz Erlenmeyer de 250 mL que se disolvieron con 50 mL de una mezcla de alcohol etílico-éter etílico. Luego se hace valoración con KOH alcohólica 0,1 N hasta que la disolución vire a una tonalidad rosa.

La ecuación 1.3 sirve para obtener el valor de la acidez.

$$A = \frac{V \cdot c \cdot M}{10 \cdot m_a} \quad (\text{E.1.3})$$

Donde A la acidez (%), c la concentración de la disolución KOH (mol/L), M el peso molecular del ácido oleico (282 g/mol) y m_a la masa del aceite (g).

4.5.2.1.2. Índice de peróxidos

Este criterio permite calificar un aceite según su estado de rancidez oxidativa antes de que pueda notarse como un olor o sabor rancio, a partir de la cantidad de productos primarios de oxidación encontrados, denominados hidroperóxidos. Estas moléculas provienen de la oxidación de los ácidos grasos insaturados. (Burón y García, 1979).

En el aceite, los hidroperóxidos evolucionan más o menos rápidamente a compuestos carboxilados volátiles indeseados (aldehídos, cetonas, etc.), según las distintas condiciones de conservación de los aceites, referentes a la luz, calor, relación superficie/volumen de los recipientes, etc. (Gutiérrez González-Quijano, 1983).

Brevemente, en un matraz de balón de 250 mL se pesan $1,5 \pm 0,01$ g de aceite y se disuelven en 25 mL de ácido acético-cloroformo (15:10 v/v), posteriormente se añade 1 mL de disolución saturada de ioduro potásico, se agita durante 1 minuto y se deja reposar en la oscuridad durante 5 minutos. Pasado este tiempo, se añaden 75 mL de agua destilada, se agita vigorosamente y se valora con disolución de tiosulfato sódico 0,1N con almidón hasta que se realice el viraje de

color. También se hace un blanco siguiendo el procedimiento anterior. El índice de peróxidos se obtiene a través de la ecuación 1.4.

$$IP = \frac{(V - V_0) * N * 1000}{m_a} \quad (E.1.4)$$

Donde IP es el índice de peróxidos (mEq/ de oxígeno activo/kg de aceite), V el volumen de la disolución de Na₂S₂O₃ empleado en el análisis (mL), V₀ es el volumen de la disolución Na₂S₂O₃ empleado en el blanco (mL), N es la normalidad de la disolución Na₂S₂O₃ y m_a es la masa del aceite (g).

4.5.2.1.3. Coeficiente de extinción: K₂₇₀ y K₂₃₂

Este método se realiza para detectar componentes que absorben a 270 y 232 nm (dienos conjugados, trienos conjugados y compuestos de tipo carbonilo como aldehídos y cetonas) en el espectro ultravioleta y que son producto de oxidaciones no deseables, completando la información obtenida en el índice de peróxidos

Debido a que el proceso de oxidación tiene varias etapas, es necesario medirlo a lo largo del tiempo. Luego de producirse la oxidación primaria (generación de hidroperóxidos) se da lugar a la oxidación secundaria, donde se pueden encontrar cetonas, aldehídos, ésteres, etc. Algunos de estos productos secundarios de oxidación son volátiles y contribuyen a la presencia notable de un aroma rancio.

Los compuestos con absorción UV 232 y 270 nm se originan por una mala conservación del aceite o por modificaciones inducidas por los procesos tecnológicos, como la refinación. El K₂₃₂ indica la presencia de ácidos grasos poliinsaturados conjugados (linoleico y linolénico). Estos isómeros reaccionan rápidamente con el oxígeno atmosférico, dando hidroperóxidos, por lo que evalúan un paso previo a la oxidación respecto al índice de peróxidos. El K₂₇₀, en cambio, corresponde a la absorbancia que presentan los compuestos con radicales carboxilo (aldehídos y cetonas), que se forman como consecuencia de

la rotura de los hidroperóxidos, por lo que evalúa un proceso de oxidación más avanzado que el índice de peróxidos y el K_{232} . Un elevado valor de estos coeficientes debe coincidir con una menor resistencia a la oxidación del aceite y con un mayor grado de oxidación (Pastrana-Moscayo, 2016.)

En un matraz de 10 mL se pesan $0,1 \pm 0,01$ g de aceite, se enrasa con ciclohexano y se agita hasta la dilución total. El contenido de las muestras se coloca en cubetas de 1 cm de paso y se introducen en el espectrofotómetro para leerse a las correspondientes longitudes de onda. Una de las cubetas debe contener ciclohexano exclusivamente y actuará como blanco.

Los valores obtenidos se expresan como extinción específica según la ecuación 1.5.

$$K_{\lambda} = \frac{A_{\lambda}}{e * c_a} \quad (E.1.5)$$

Donde K_{λ} es la extinción específica y $\lambda = 270$ nm, y 232 nm; A_{λ} es la absorbancia a las longitudes de onda indicadas, e es el paso de la luz de la cubeta (cm) y c_a es la concentración de la disolución de aceite (g/100 mL).

4.5.2.2. *Compuestos minoritarios*

4.5.2.2.1. Tocoferoles.

La cantidad de tocoferoles totales entre las diversas categorías comerciales del aceite de oliva puede variar considerablemente, teniendo en cuenta que los aceites sometidos a procesos de refinación son tratados con altas temperaturas, factor fundamental en la degradación de componentes termo-sensibles como los tocoferoles (Nores y Pomar, 2017).

Los tocoferoles α , β y γ se determinan por cromatografía de líquidos HPLC según el método de la IUPAC (1992) n.º 2432. Para ello, se pesan $1,50 \pm 0,01$ g de aceite que se lleva a un volumen final de 10 mL con la misma fase móvil utilizada

en el análisis cromatográfico (2-Propanol al 0,5% en hexano), se agita para disolver completamente el aceite y se vierte en viales para su análisis en HPLC.

El análisis cromatográfico se llevó a cabo con un HPLC (Agilent technologies 1200 series), compuesto de una bomba isocrática, un detector UV de longitud de onda programable. La columna utilizada es tipo Lichrosphere Si60 (Merck) de 250 mm de longitud, 4,6 mm de diámetro interno y un tamaño de partícula de 5 µm. La detección se lleva a cabo a una longitud de onda de 296 nm. y a una temperatura de 25 °C. El volumen de muestra inyectado es de 20 µL y la duración del análisis ha sido 20 minutos.

La identificación de los tocoferoles se realiza comparando los tiempos de retención con los patrones puros (Sigma) y cuya cuantificación de las áreas de cada pico se realiza con ayuda del software Agilent ChemStation. Los resultados se expresan en mg/kg empleando una recta de calibrado para cada uno de los tocoferoles.

4.5.2.2.3. Pigmentos fotosintéticos.

La determinación de estos compuestos se realizó siguiendo el método descrito por Minguez-Mosquera et al (1991). En un matraz aforado de 10 mL se pesan $1,5 \pm 0,01$ g de muestra y se enrasa con ciclohexano.

Se lleva a cabo la medida de la absorbancia a 670 nm para los pigmentos clorofílicos y 472nm para los carotenoides. La medida espectrofotométrica se llevó a cabo mediante un espectrofotómetro Varian Cary 50 BIO (Varian, España). Los pigmentos totales se calculan mediante la ecuación 1.6.

$$C_p = \frac{A_\lambda * V_f}{\varepsilon_{1\%} * m_a} 10000 \quad (E.1.6)$$

Donde C_p la concentración del pigmento (mg de pigmento/ kg de aceite), A_λ la absorbancia a diferente longitud de onda, $\varepsilon_{1\%}$ la absorbancia específica de una disolución al 1% (p/v): para feofitina es 613 (clorofilas) y para luteína es 2000 (carotenos), m_a masa de la muestra (g) y V_f es el volumen final de la disolución, 10 mL. Los resultados se expresaron en mg/kg.

4.5.2.2.4. K₂₂₅.

La determinación del índice de amargor (K₂₂₅) se realizó según el método desarrollado por Gutiérrez y Perdiguero (1992). Para ello, se aíslan los compuestos fenólicos del aceite mediante una extracción sólido-líquido, eliminando la matriz lipídica con hexano y eluyendo los polifenoles con una mezcla hidroalcohólica. Finalmente se realiza la medida espectrofotométrica de este extracto a 225 nm.

Brevemente, se utiliza una columna de extracción en fase sólida SPE C18 (Baker, J.T) con un volumen de 6 mL y un peso de fase estacionaria de 500 mg, que se activa con 5 mL metanol, posteriormente se acondiciona con 5 mL de hexano. A continuación, se pesa $1 \pm 0,01$ g de aceite en un vial, se disuelve en 5 mL de hexano y se vierte en la columna SPE, por la que se hace pasar la muestra con ayuda de un equipo de vacío. Para asegurar que se vierte toda la muestra de aceite en la columna se realizan dos enjuagues del vial con 5 mL de hexano cada uno y, para eliminar cualquier resto de grasa que pueda quedar en la columna se hacen pasar a través de la misma otros 5 mL de hexano, esta vez sin enjuagar el vial.

Finalmente, los compuestos retenidos en la columna se eluyen haciendo pasar en cuatro ocasiones, volúmenes de 5 mL de metanol:agua (50:50). El eluato se recoge en matraz aforado y se lleva a un volumen final de 25 mL con metanol:agua (50:50), y se procede a la lectura del mismo en un espectrofotómetro tipo Varian 50 Bio UV-visible, a la longitud de onda de 225 nm, empleando la mezcla metanol:agua como referencia.

4.5.2.2.5. Compuestos fenólicos.

La determinación del contenido en fenoles totales se ha llevado a cabo de acuerdo al método propuesto por Vázquez-Roncero et al. (1973), modificado.

A partir de $1 \pm 0,01$ g de aceite disuelto en 5 mL de hexano en tubo falcón de 15 mL con ayuda de agitación (15 segundos), se lleva a cabo una extracción líquido-líquido por contacto añadiendo un volumen de 2 mL de metanol:agua (60:40) y agitando durante 90 segundos. Posteriormente, para separar las fases líquidas, el tubo es centrifugado a 4000 r.p.m durante 6 minutos de las cuales se

recupera el extracto de mayor densidad (fase inferior) con ayuda de una pipeta Pasteur. La extracción metanol:agua se lleva a cabo tres veces y el extracto recuperado en un matraz aforado de 10 mL es enrasado hasta su volumen total con agua destilada.

Después de la extracción de los polifenoles del aceite se realiza la dilución de lectura en un aforado de 50 mL al que se agregan una cantidad de extracto determinada por valor obtenido en el análisis de k_{225} (amargor), 35 mL de agua bidestilada y 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, los cuales se agitan y se dejan pasar tres minutos para que se desarrolle la reacción. Tras ese tiempo, se adiciona 5 mL de disolución NaOH al 5% (p/v) para crear el medio básico y se lleva a un volumen final de 50 mL con agua bidestilada y se agita para homogenizar la mezcla.

$k_{225} > 0,53 \rightarrow 1$ mL. de extracto

$0,43 < k_{225} \leq 0,53 \rightarrow 2$ mL. de extracto

$0,33 < k_{225} \leq 0,43 \rightarrow 3$ mL. de extracto

$0,23 < k_{225} \leq 0,33 \rightarrow 4$ mL. de extracto

$0,00 < k_{225} \leq 0,23 \rightarrow 5$ mL. de extracto

Después de 10 minutos de tiempo de reacción, se mide la absorción a una longitud

de onda de 725 nm en un espectrofotómetro Varian 50 Bio UV-visible teniendo como referencia se emplea una disolución preparada de igual forma a la que no se le añade el extracto de polifenoles. Los resultados se expresan en mg/kg de ácido cafeico. Esta cuantificación se lleva a cabo mediante la correspondiente recta de calibrado.

4.6. ANALISIS ESTADÍSTICO.

Para el diseño de este trabajo se ha seleccionado al tamaño de criba del molino y la velocidad de giro del mismo como las variables independientes, mientras que las respuestas a medir (resultados analíticos) serán las variables dependientes.

Los resultados experimentales se trataron estadísticamente mediante el programa informático Statistix v. 10, realizando un análisis de la varianza. Para establecer diferencias entre tratamientos se aplicó el Test de Tukey para un nivel de significación $P=0,05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO.

En la Tabla 10, se muestran los valores medios de humedad, rendimiento graso sobre materia húmeda, rendimiento graso sobre materia seca, índice de madurez y peso medio de los frutos empleados en los ensayos. El contenido graso del fruto ($21,8 \pm 0,5$ g) es acorde a los valores descritos por otros autores para el estado de madurez del fruto (I,M= 3,1) en la variedad '*Picual*' (Gallardo, 2016), aunque el peso del fruto se encuentre por debajo a la media descrita para esta variedad (Beltrán et al., 2008).

Tabla 10. Características del fruto empleado en los ensayos.

Humedad (%)	Rendimiento graso en húmedo (%)	Rendimiento graso en seco (%)	Índice de Madurez	Peso medio (g)
$47,9 \pm 0,7$	$21,8 \pm 0,5$	$41,9 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,0$	$2,4 \pm 0,2$

Fuente: elaboración propia.

5.2. CARACTERIZACIÓN DEL ORUJO.

5.2.1. Rendimiento graso en húmedo.

Los valores medios de contenido graso sobre materia húmeda de los orujos obtenidos en los ensayos de molienda llevados a cabo se muestran en la Figura 17.

En el análisis de la varianza de los resultados se pudo apreciar como el tamaño de criba, la velocidad de giro de los martillos y su interacción afectan de forma significativa a los diferentes tratamientos.

Considerando el conjunto de orujos se aprecia como, en general, el empleo de cribas de menor tamaño produce orujos con menor contenido graso en base húmeda. Este efecto es debido a una molienda más fina que facilita la rotura de las estructuras celulares y por tanto, la liberación de aceite del interior celular.

Resultados similares han sido descritos por diferentes autores (Beltrán et al., 2010; Caravaca, 2013; De Torres Sanchez, 2003).

En cuanto a la velocidad de giro de los martillos, aunque en general se obtienen unos orujos con menor contenido graso empleando velocidades de giro más bajas, se observa un comportamiento diferente en función de la criba empleada. Así, mientras que para la criba de tamaño 5 mm no existen diferencias significativas entre los orujos procedentes de velocidades de giro diferentes, para la criba de 6 mm molturar con velocidades de giro más bajas (2200 r.p.m) permiten obtener orujos con menor contenido graso.

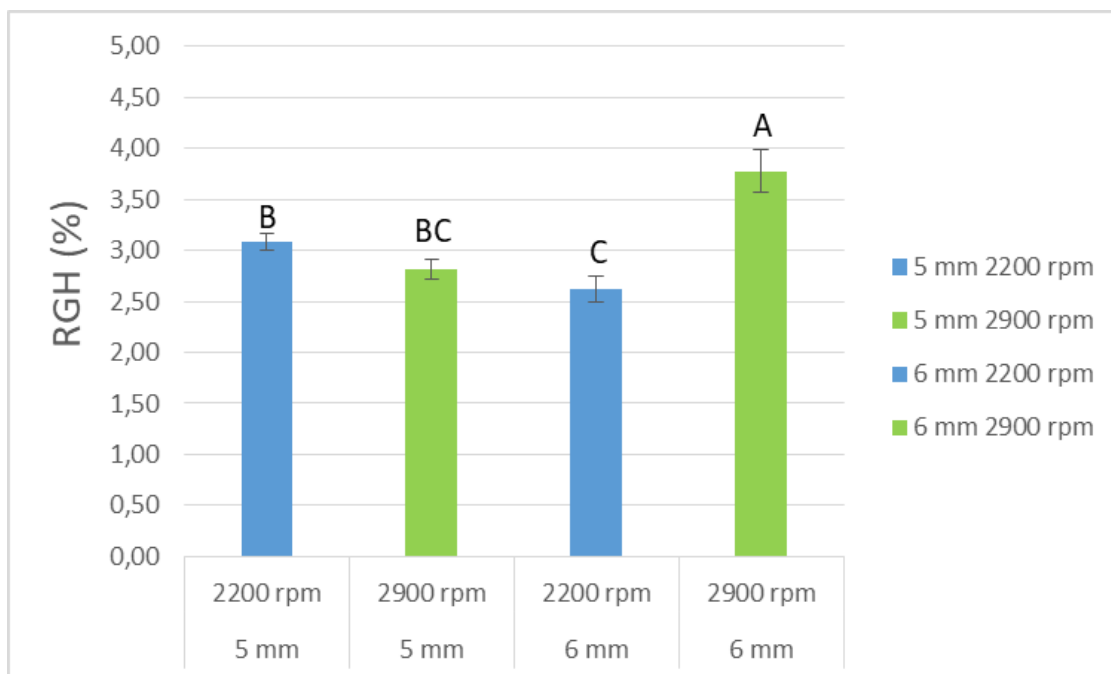


Figura 17. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en contenido graso sobre materia húmeda (%) del orujo. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

En trabajos previos (Inarejos-García y Fregapane, 2010) se ha descrito como utilizando frutos de variedad 'Cornicabra' y 'Arbequina', se encontró un aumento en el rendimiento cuando se pasó de 1500 a 3000 r.p.m sólo cuando se utilizaron cribas de 5 mm, mientras que para tamaños de criba superiores no obtuvieron diferencias significativas. En este trabajo se observa una leve disminución en el contenido graso de los orujos empleando la criba de menor tamaño, mientras

que se presenta un comportamiento opuesto con la criba de 6 mm, que podría ser explicado por las características del fruto y al efecto negativo de una velocidad excesiva que podría generar emulsiones y/o aparición de finos que dificultan la extracción del aceite.

Rendimiento graso en seco.

En concordancia con el análisis anterior, el análisis de la varianza de los resultados arrojó que tanto el tamaño de la criba como la velocidad de giro de los martillos tienen un efecto significativo en el contenido graso sobre materia seca del orujo. En la Figura 18 se muestran los valores medios de contenido graso de los tratamientos ensayados.

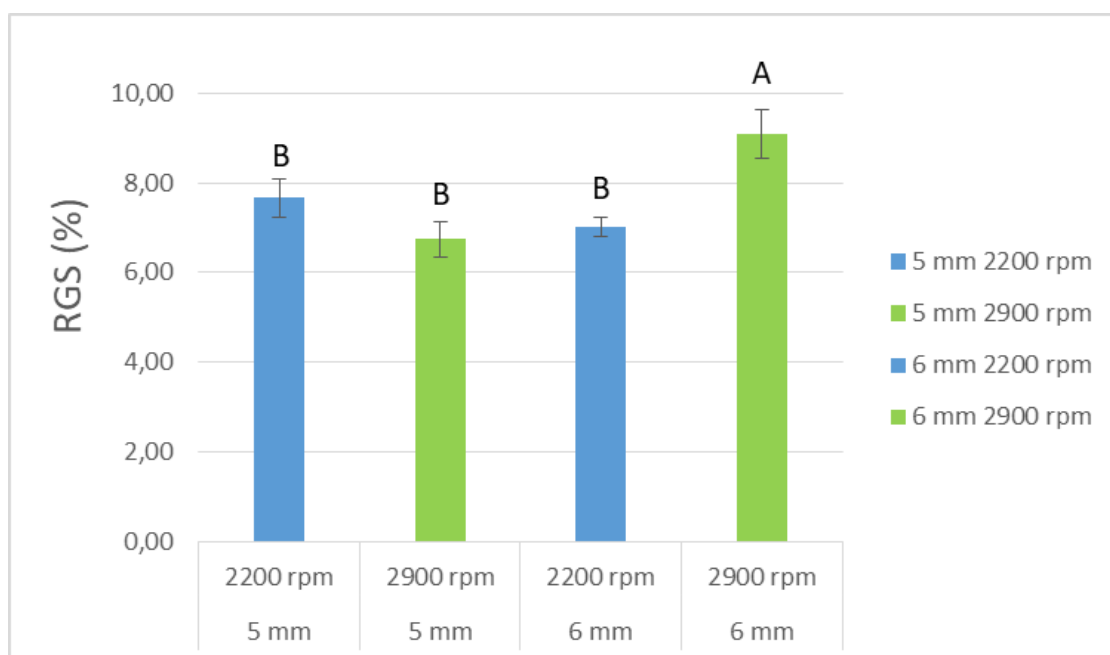


Figura 18. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en contenido graso sobre materia seca (%) del orujo. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05

En general, y considerando el conjunto de tratamientos, se observó un contenido graso sobre materia seca menor para la criba de 5 mm, lo que coincide con el efecto de un menor tamaño de criba descrito previamente (Inarejos-García et al., 2009; Beltrán et al., 2010).

El efecto de la velocidad de giro, considerando el conjunto de tratamientos, daría como resultado una reducción del contenido graso del orujo a mayores velocidades, lo que estaría de acuerdo con trabajos previos (Inarejos-García y Fregapane, 2010), sin embargo, al considerar cada una de las cribas por separado el efecto de la velocidad de giro es diferente. Así, para la criba de 5 mm el incremento de la velocidad dio lugar a un ligero descenso del contenido graso mientras que al aumentar el tamaño de criba se observó un aumento, lo que estaría de acuerdo con las observaciones de dichos autores (Inarejos-García y Fregapane, 2010) que describen un efecto positivo de la velocidad de giro sólo con cribas de pequeño tamaño.

5.2. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE.

5.3.1. Acidez.

En la Figura 19 se recogen los resultados obtenidos para los valores de acidez en los aceites analizados. La acidez de los aceites procedentes de las distintas condiciones de molienda ensayadas mostró valores inferiores a 0,2 %, muy por debajo del límite establecido por la Unión Europea para la categoría de aceite de oliva virgen extra (0,8 %).

El análisis de la varianza determinó que las condiciones de molienda ensayadas, tamaño de criba y velocidad de giro de los martillos, no tuvieron efecto significativo en este parámetro de calidad y por tanto, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Esta información coincide con resultados de trabajos previos (De Torres-Sánchez et al., 2003; Guerrini et al., 2017).

La no influencia de estos parámetros, podría deberse al escaso tiempo que permanece el fruto en el molino de martillos, ya que aquí se eleva la actividad de enzimas hidrolíticas y mientras mayor tiempo el aceite se encuentre en contacto con el resto de la pasta, mayores tasas de hidrólisis existirán.

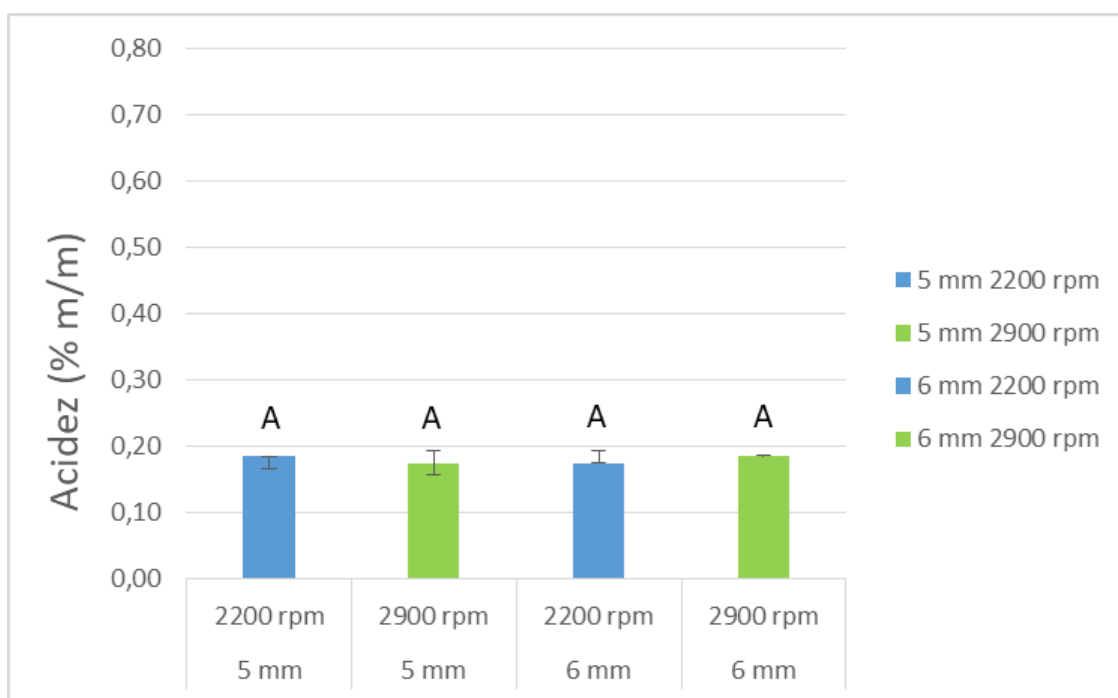


Figura 19. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en la acidez (%) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05

5.2.2. Índice de peróxidos.

El índice de peróxidos es uno de los parámetros analíticos que permite determinar el estado oxidativo del aceite.

En la Figura 20 se presentan los valores medios de índice de peróxidos de los aceites procedentes de los ensayos de molienda llevados a cabo en este trabajo. En general, todos los aceites analizados mostraron unos valores de índice de peróxidos por debajo de 2,0 meqO₂/kg por lo que fueron clasificados para este parámetro como vírgenes extra (UE, 2016).

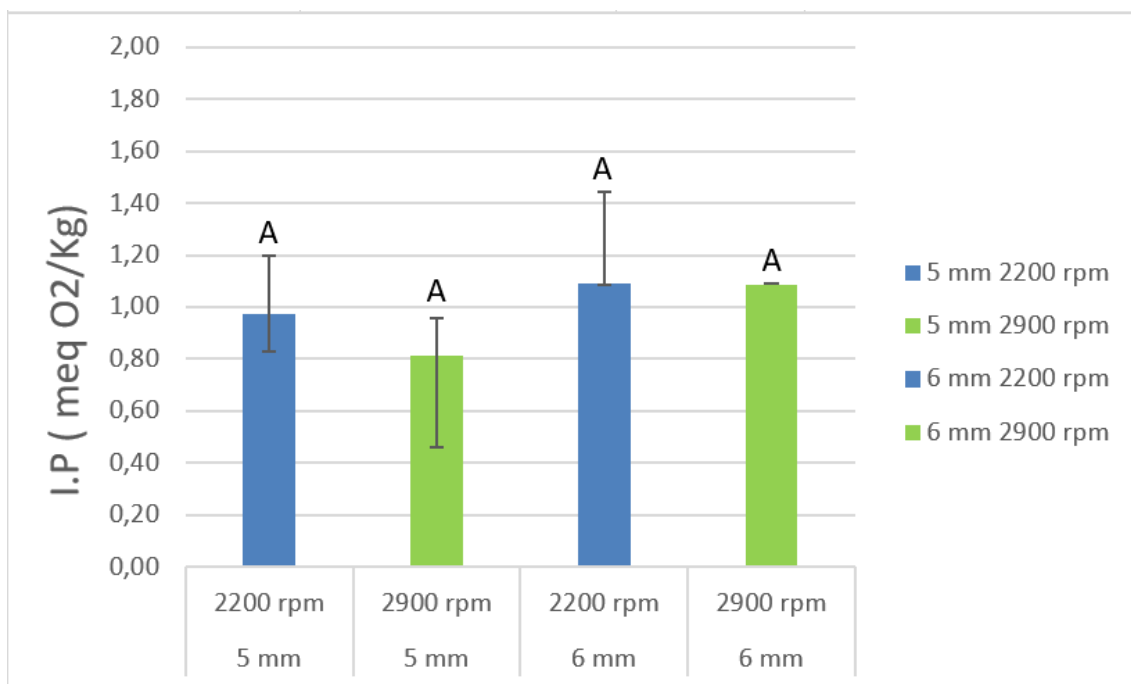


Figura 20. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el índice de peróxidos (meq O₂/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05

El análisis de la varianza de los resultados arroja que los aceites obtenidos con un tamaño de criba inferior presentan valores más bajos en el parámetro índice de peróxidos, con una media de 1,09 meq O₂/kg en cribas de 6 mm y 0,89 meq O₂/kg en cribas de 5 mm. Incluso teniendo en cuenta la variación entre los datos, los aceites son considerados en cualquier caso como vírgenes extra.

Al comparar los aceites procedentes de los cuatro tratamientos se observa que no existen diferencias significativas entre ellos. Por tanto, se puede considerar que las condiciones de molienda ensayadas no tienen efecto sobre el índice de peróxidos del aceite lo que está de acuerdo con otros trabajos previos (De Torres-Sánchez et al., 2003; Guerrini et al., 2017).

5.2.3. K₂₃₂.

El conjunto de los aceites ensayados fueron clasificados dentro de la categoría virgen extra para este parámetro de calidad reglamentada (UE, 2016), ya que no superan en ningún caso, el valor de 2,5. Los valores medios para el K₂₃₂ de los aceites obtenidos en los ensayos de molienda se muestran en la Figura 21.

Aunque el análisis de la varianza de los resultados arrojó que el diametro de la criba tuvo un efecto significativo, las diferencias entre tratamientos no deben tenerse en cuenta y por tanto, se puede establecer que las condiciones de molienda no afectan al estado oxidativo del aceite medido como K_{232} , coincidiendo nuevamente con trabajos previos, en los que compuestos primarios de oxidación no se vieron afectados por la regulación de las variables del molino. (De Torres-Sánchez et al., 2003; Guerrini et al., 2017).

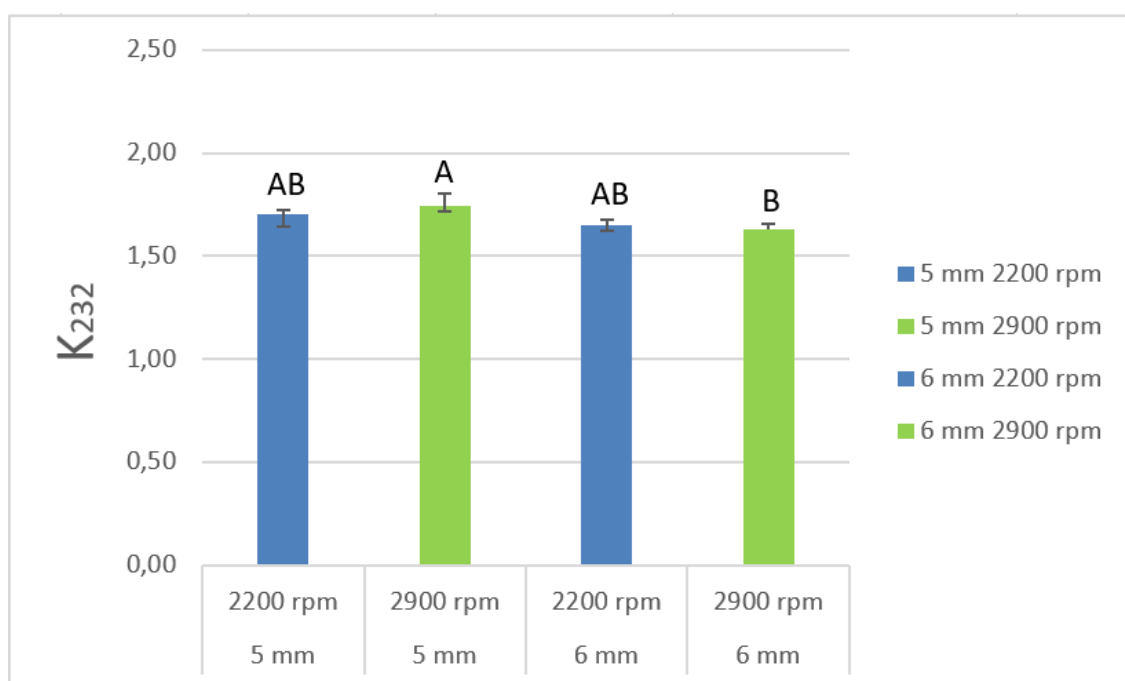


Figura 21. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K_{232} del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

Aparentemente, una disminución en el tamaño de criba no provoca aumentos significativos en la temperatura que puedan influir en el parámetro de K_{232} . Un aumento en la velocidad de giro de los martillos tampoco parece provocar una mayor degradación oxidativa.

5.2.4. K_{270} .

Los valores de K_{270} obtenidos en los aceites extraídos se muestran en el Figura 22. El límite establecido para la categoría virgen extra para este parámetro es de 0.22, por lo que todos los aceites fueron clasificados dentro de esta categoría para dicho parámetro.

Del análisis estadístico de los resultados se desprende que sólo el tamaño de la criba tendría en general, un efecto significativo en el valor de K_{270} observándose un valor mas elevado para cribas de diámetro inferior. Este fenómeno no se adjudicaría a un aumento de la temperatura, ya que el molino empleado está equipado de una criba rotante que evita dicho aumento. Además, trabajos previos (Kula et al., 2017) indican que no se producen cambios significativos en el parámetro K_{270} cuando la temperatura de molienda asciende de 13°C a 30°C.

La velocidad de giro de los martillos no influye significativamente sobre este parámetro, entendiendo que no se produce una oxidación excesiva en presencia de mayores velocidades. En cualquier caso, las variables de la etapa de molienda estudiadas no afectarían a la categorización del aceite, coincidiendo con los trabajos de Guerrini et al. (2017), Polari et al. (2017) y Di Giovacchino et al. (1994).

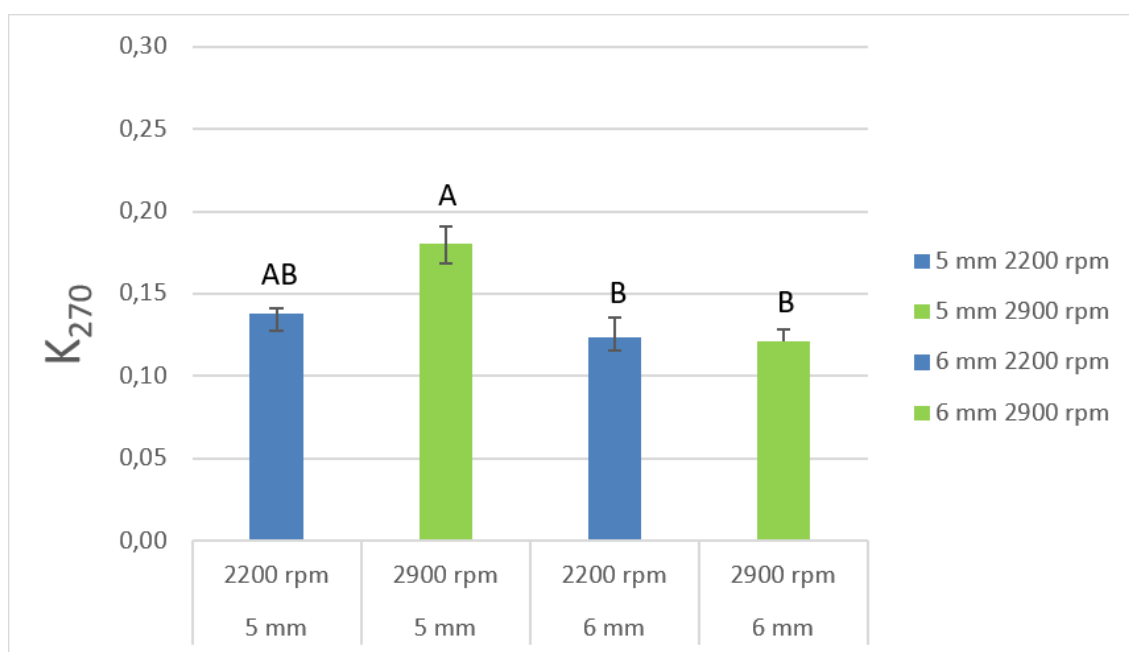


Figura 22. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K_{270} del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

5.2.5. Amargor K_{225} .

En general, todos los aceites obtenidos en los ensayos muestran un amargor por encima de 0.35, lo que se corresponde con aceites de amargor medio alto

(Jiménez y Uceda, 1995). Los resultados obtenidos para los aceites analizados son mostrados en la Figura 23.

Los aceites con un mayor amargor se obtuvieron con una criba de 5 mm y una velocidad de giro de los martillos de 2900 r.p.m, mientras que los valores más bajos fueron observados en los aceites elaborados con mayores tamaño de criba y velocidad de giro de los martillos.

En general, los aceites extraídos con un grado de molienda más fino mostraron un amargor más alto, tal y como se desprende del ANOVA de los resultados. En cuanto a la velocidad de giro de los martillos, no mostró un efecto significativo sobre el amargor de los aceites, si bien se aprecia un efecto variable en función del tamaño de la criba. Así, mientras que para la criba de menor tamaño no se observan diferencias entre velocidades de giro, para un tamaño de criba superior el amargor se redujo de forma significativa al incrementar la velocidad de giro de los martillos.

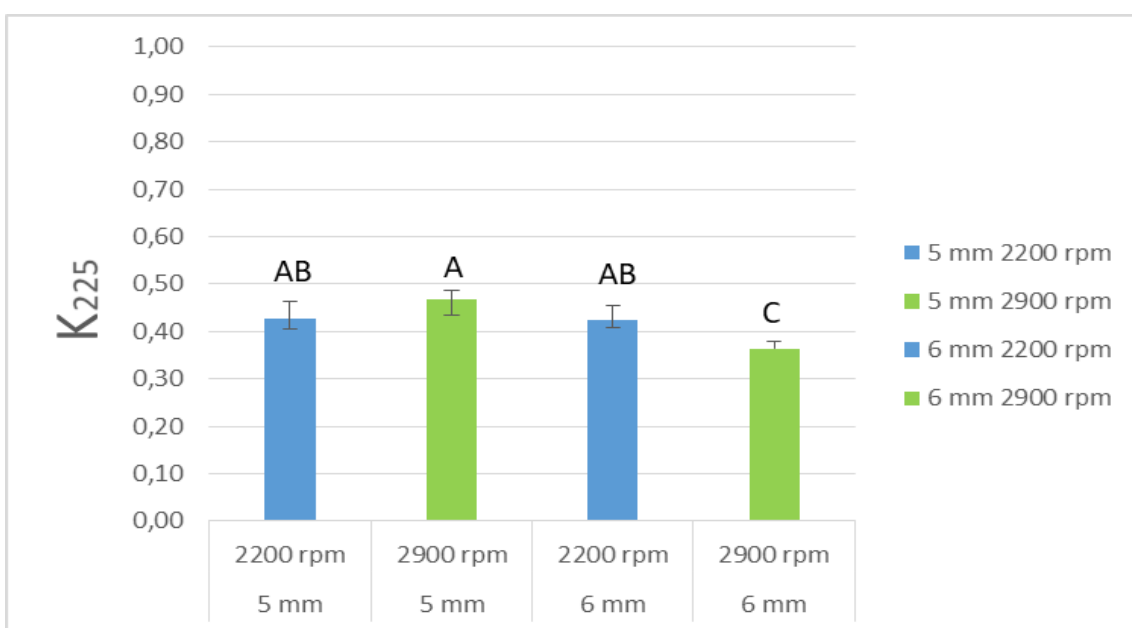


Figura 23. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K₂₂₅ del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p: 0,05.

El amargor del aceite de oliva virgen es un parámetro relevante en la caracterización del mismo por su influencia en su valorización sensorial y su relación directa con la presencia de polifenoles (Gutiérrez et al., 1977; Beltrán et al., 1995). Por ende existe una relación entre los valores de K_{225} , el contenido en polifenoles y el grado de amargor (Salas et al., 1997). Así, en este trabajo se observa que existe un comportamiento similar entre el amargor y los polifenoles del aceite (Figura 24).

En definitiva, el empleo de tamaños de criba más pequeños produce un incremento en el amargor del aceite y por ende, en la concentración de compuestos fenólicos, lo que es similar a lo descrito por diferentes autores (Angerosa et al., 1995; Allogio et al., 1996; Caponio et al., 1999). Este fenómeno podría explicarse por un incremento de la temperatura de la pasta y la mayor liberación de compuestos fenólicos por una destrucción más efectiva de las estructuras celulares generados al emplear un diámetro de criba inferior.

En cuanto al efecto de la velocidad de giro de los martillos, sólo se ha observado un efecto significativo para un tamaño de criba superior, para el que se aprecia un descenso del amargor al aumentar la velocidad de giro, lo que difiere de los resultados descritos por Guerrini et al. (2017) que muestran un aumento de fenoles al aumentar la velocidad de giro de los martillos. Este efecto diferente podría ser explicado por las características del molino empleado, que está equipado con una criba tipo rotante mientras que en los trabajos del equipo italiano se emplea un molino de criba fija.

5.2.6. Compuestos fenólicos.

En la Figura 24 se muestran los valores medios del contenido de polifenoles totales de los aceites obtenidos en los diferentes tratamientos. Su contenido medio ha oscilado entre 524 y 729 mg/kg.

Del análisis de la varianza (ANOVA) se observó como el tamaño de criba tiene un efecto altamente significativo en el contenido de polifenoles del aceite, apreciándose como el diámetro de la criba de menor tamaño dio lugar a aceites con un mayor contenido de fenoles (770 mg/kg) mientras que el aumento del

diámetro de la criba generó un descenso en la concentración de estos antioxidantes hasta 620 mg/kg. Dicha influencia del tamaño de criba, parece no depender de la velocidad de giro utilizada.

La molienda más fina permitiría una mayor liberación de los compuestos fenólicos intracelulares a la vez que da lugar a un mayor calentamiento de la pasta, favoreciendo a la solubilidad de estos compuestos en el aceite (Aguilera et al, 2016).

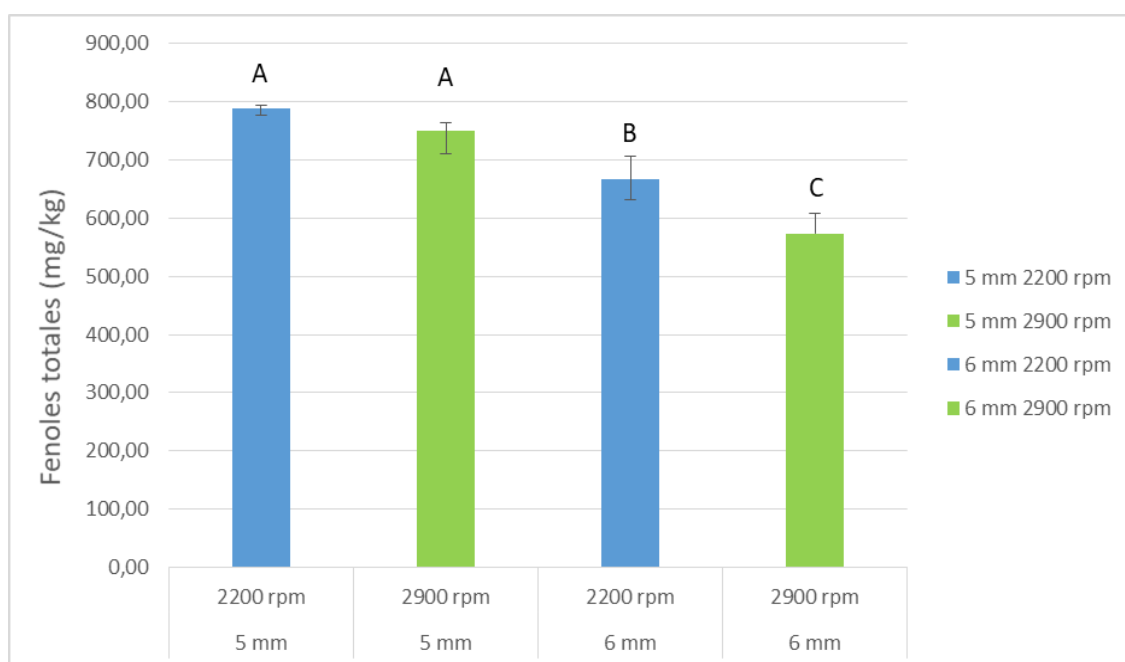


Figura 24. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los compuestos fenólicos (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

La velocidad de giro de los martillos mostró también un efecto significativo en el ANOVA. En general, el contenido de compuestos fenólicos del aceite se redujo de forma significativa al aumentar la velocidad de giro de los martillos. Este descenso sólo fue significativo para la criba de mayor tamaño (6 mm). Los resultados concuerdan con el trabajo de Houssem (2011) e Inarejos-García y Fregapane (2010) donde se presentan disminuciones significativas, especialmente con cribas de 5mm Sin embargo, difiere de lo descrito en otros trabajos donde se aprecia una relación directamente proporcional entre el incremento la velocidad y el de los compuestos fenólicos (Guerrini et al., 2017;

Inarejos-García et al., Polari, et al., 2017; 2011; Sacchi et al., 2019; Di Giovachino et al., 2002). Este comportamiento diferente podría ser explicado por la criba rotante con la que está equipado el molino empleado y que evita el incremento de temperatura de la pasta.

2.5.7. Tocoferoles.

El contenido de tocoferoles totales para los aceites procedentes de los ensayos de regulación de las variables de la etapa de molienda se muestran en la Figura 25.

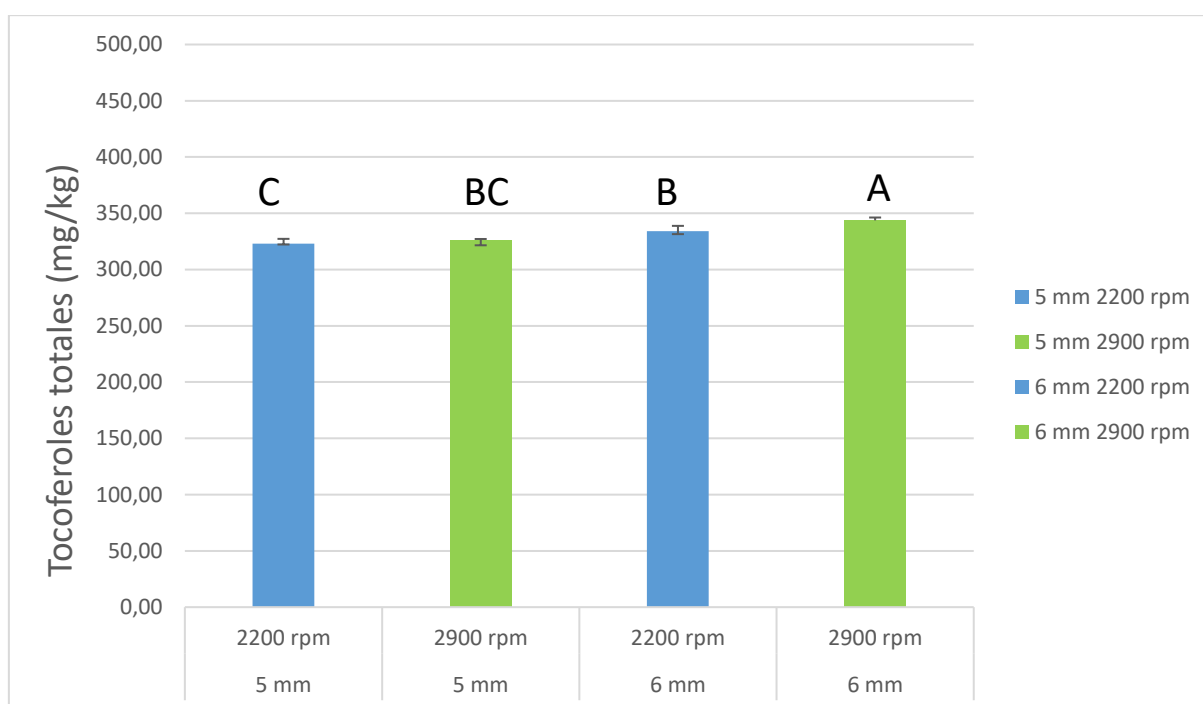


Figura 25. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los tocoferoles totales (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

Del ANOVA se obtiene que tanto el tamaño de la criba como la velocidad de giro de los martillos tienen un efecto significativo en el contenido de tocoferoles.

En general, un tamaño de criba mayor dio lugar a aceites con una concentración de tocoferoles más elevada. Sin embargo en otros trabajos, no se ha observado efecto alguno sobre estos compuestos (De Torres-Sanchez et al., 2003) al variar el tamaño de criba. En principio, una molienda más agresiva favorecería a un

aumento de la temperatura de la pasta y por ende a una mayor liberación y solubilización de tocoferoles en el aceite, sin embargo las características del molino podrían haber limitado este calentamiento de la pasta y por tanto, el incremento de estos compuestos en el aceite.

El incremento de la velocidad de giro de los martillos dio lugar a un aumento del contenido de tocoferoles con diferencias significativas tan sólo para el tamaño de criba de 6 mm. Esta respuesta difiere de los resultados obtenidos en el estudio de Inarejos-García y Fregapane (2010), donde no se encuentran diferencias significativas en la cantidad α -tocóferoles cuando se utilizan velocidades de 1500 y 3000 r.p.m.

En general, se aprecia una tendencia similar para los tres tipos de tocoferoles y el contenido total, donde a mayores velocidades y diámetros de criba se obtiene más tocoferoles.

El contenido de α -tocóferol (Figura 26) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, asumiendo que las condiciones de molienda ensayadas no afectan a la cantidad de dicha fracción.

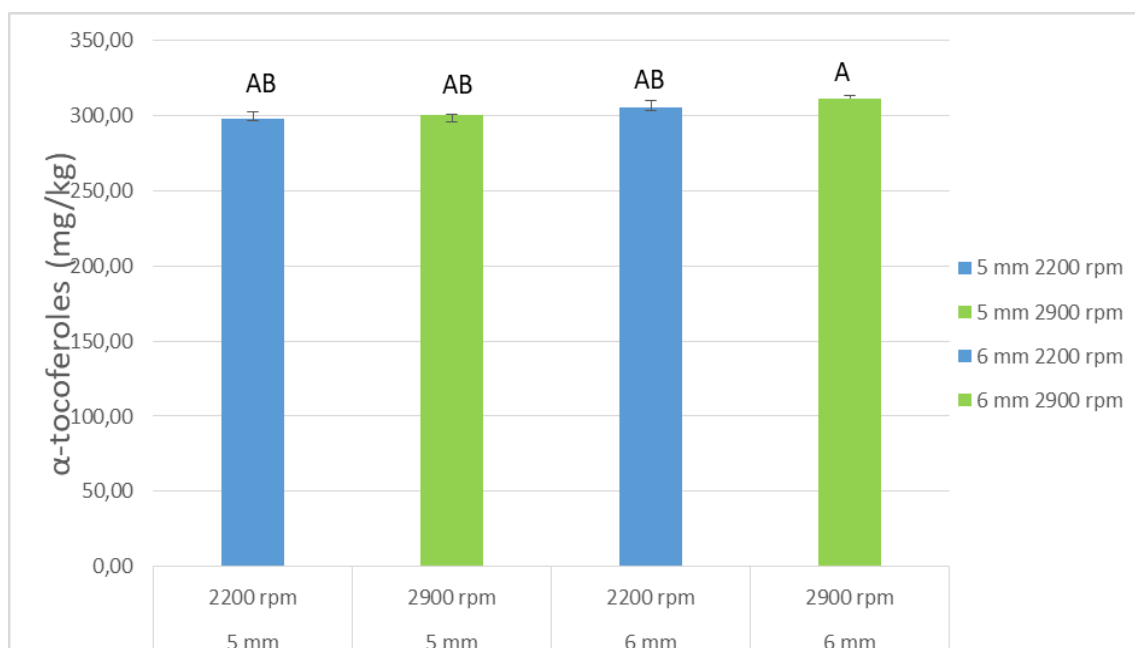


Figura 26. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los α -tocóferoles totales (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

El β -tocoferol muestra una clara tendencia hacia el aumento cuando se aplican cribas de mayor tamaño, mientras que la velocidad parecería no influir de forma significativa, a excepción de los tratamientos con criba de 6 mm donde existe un aumento de la fracción al aumentar la velocidad. Las concentraciones medias de β -tocoferoles se muestran en la Figura 27.

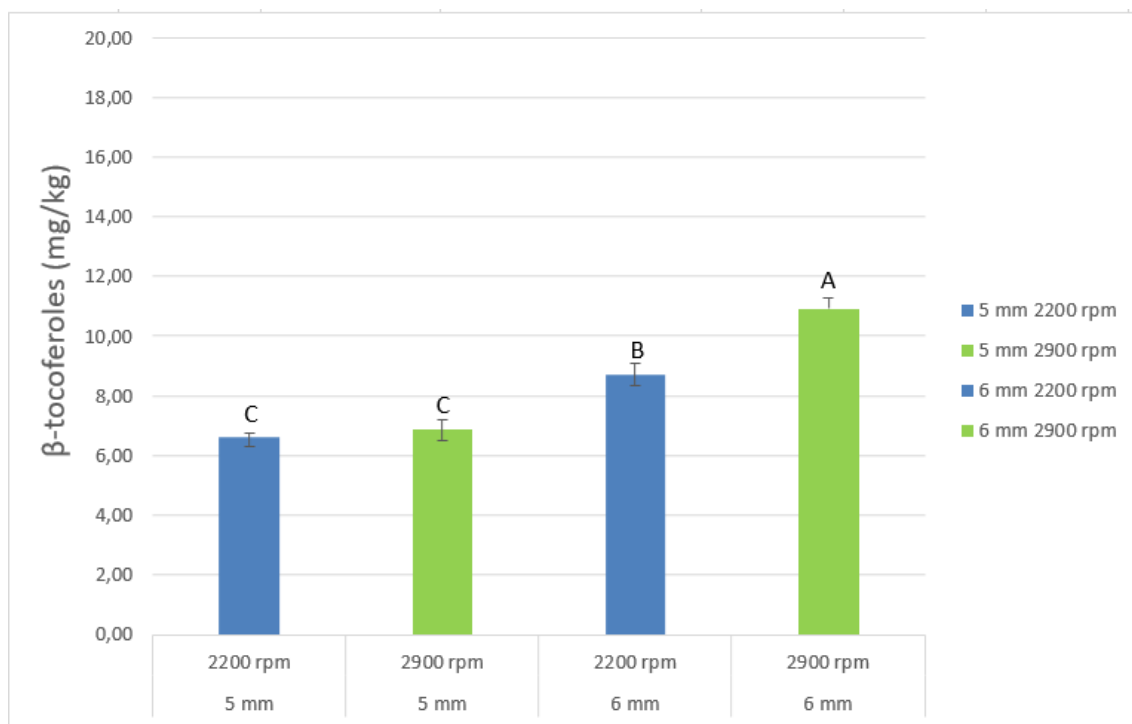


Figura 27. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los β -tocoferoles totales (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

Por último, la concentración de γ -tocoferol (Figura 28) sólo presenta aumentos significativos con cribas de 6 mm frente a cribas de 5 mm cuando se utilizan velocidades de giro de 2200 r.p.m, mientras que la velocidad sólo parece influir cuando la criba es de 5 mm, produciendo un aumento de la fracción a mayores velocidades. Estos resultados no coinciden con trabajos previos donde se ha observado una disminución del γ -tocoferoles cuando se aplican mayores velocidades en la molienda (Houssem, 2011) y podría explicarse por el molino empleado, que por sus características evita el incremento de la temperatura.

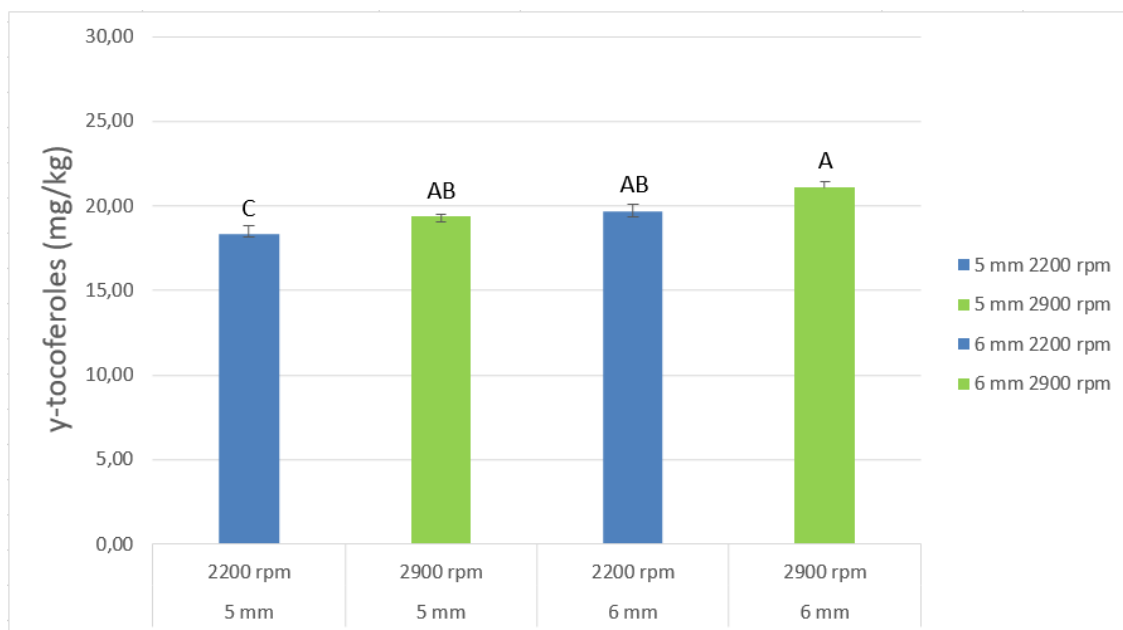


Figura 28. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los γ -tocoferoles totales (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

2.5.8. Pigmentos fotosintéticos.

La concentración de pigmentos clorofílicos de los aceites analizados se muestra en la Figura 29. Del análisis de la varianza se obtiene que el tamaño de criba no tiene efecto significativo sobre el contenido de estos pigmentos, aunque se registró un ligero incremento para los aceites elaborados con el tamaño de criba más pequeño, que es significativo empleando la velocidad de giro de 2200 r.p.m. En trabajos a nivel de laboratorio (De Torres Sanchez, 2003) se ha descrito un incremento significativo del contenido de clorofilas del aceite con el empleo de cribas de menor tamaño. El menor incremento registrado en este trabajo podría ser explicado por el efecto de la criba rotante acoplada al equipo, que limita el calentamiento de la pasta y por tanto, provoca una menor solubilización de estos compuestos en el aceite.

En cuanto a la velocidad de giro de los martillos, esta variable tiene un efecto significativo en la concentración de clorofilas, apreciándose en general unas concentraciones mas elevadas en los aceites procedentes de molturación con velocidades de giro inferiores, aunque la diferencia es significativa sólo para tamaños de criba de 5 mm. Guerrini et al (2017) no observaron diferencias

significativas para las clorofilas del aceite cuando se incrementa la velocidad de 2200 a 2700 r.p.m, pero sí con una velocidad de 3200 r.p.m, por tanto, en consonancia con los resultados de este trabajo.

Estos resultados no coinciden con los trabajos de Polari et al. (2017), donde un aumento de la velocidad provocó aumentos significativos en el contenido de pigmentos, sin embargo es acorde a la investigación de Houssem (2011) donde se observó un descenso de los pigmentos al aumentar la velocidad de giro de los martillos de 2500 a 3000 r.p.m.

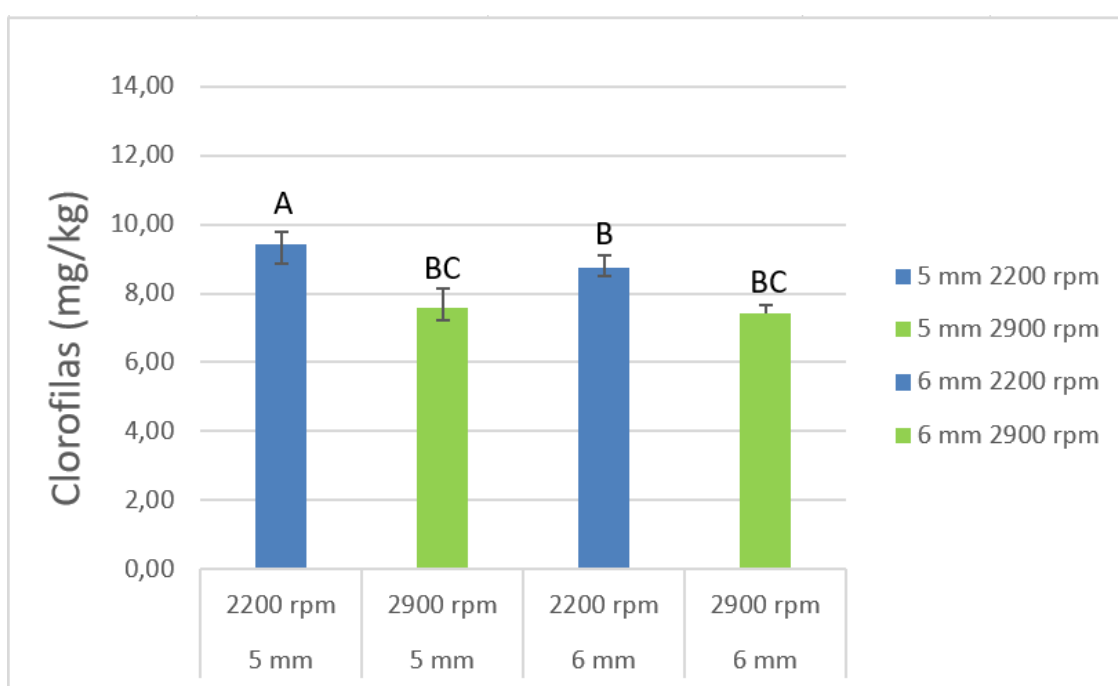


Figura 29. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en las clorofilas (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

La concentración de pigmentos carotenoides en los aceites obtenidos mediante las diferentes condiciones de molienda se muestran en la Figura 30.

En general, del analisis de la varianza se obtuvo que el tamaño de la criba y la velocidad de giro tuvieron un efecto altamente significativo en la concentración de pigmentos carotenoides del aceite.

Así, considerando el conjunto de tratamientos, el empleo de una criba de tamaño inferior dio lugar a un incremento significativo de la concentración de estos pigmentos, en consonancia con el trabajo de De Torres Sánchez (2003), lo que puede explicarse por una mayor fragmentación del fruto que favorecería la liberación de pigmentos y a una mayor solubilización de los mismos en el aceite debido al empleo de cribas más pequeñas que producen un aumento en la temperatura de la pasta.

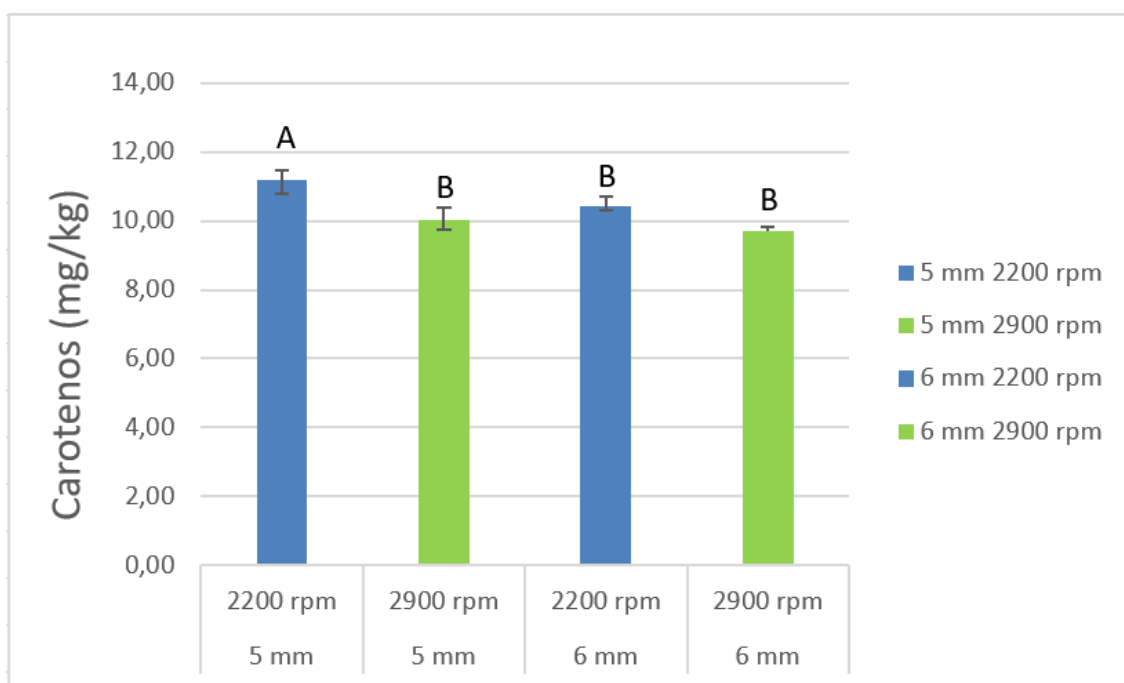


Figura 30. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los carotenos (mg/kg) del aceite. Valores medios $\pm$ SD. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de p : 0,05.

El incremento de la velocidad de giro de los martillos dio lugar, en general, un descenso significativo de la concentración de pigmentos carotenoides en el aceite. Al considerar las cribas empleadas por separado, se apreció como este descenso solo es significativo para la criba de menor tamaño. Estos resultados no coinciden con los obtenidos en el trabajo de Inarejos-García y Fregapane (2010) respecto al parametro de la velocidad, donde los pigmentos resultaban en una mayor concentración con el aumento de las velocidades, desde 1500 a 3000 r.p.m. Las mismas conclusiones fueron observadas por Polari et al. (2017). Sin embargo, Guerrini et al (2017) no observaron diferencias significativas para

los pigmentos carotenoides cuando se incrementaba la velocidad de 2200 a 2700 r.p.m, y sí a velocidades superiores por tanto, en consonancia con los resultados de este trabajo.

La diferencias observadas entre los resultados de este trabajo y los descritos previamente podria atribuirse a las características del molino ensayado y el estado de madurez del fruto que en nuestro caso fue de un estado de madurez mas avanzado.

6. CONCLUSIONES:

1. Para las características del fruto empleado se obtienen mejores agotamientos (menor contenido graso de los orujos) con una criba de menor diámetro y mayor velocidad de giro de los martillos.
2. Los parametros de calidad reglamentada analizados en el aceite no se vieron afectados por las condiciones de molienda. Todos los aceites fueron clasificados dentro de la categoría virgen extra.
3. Los compuestos fenólicos responden de forma significativa a las variables tamaño de criba y velocidad de giro de los martillos. Menores tamaños de criba dan lugar a una mayor concentración de de compuestos fenólicos en el aceite. Mayores velocidades de giro de los martillos dan lugar a aceites con un menor contenido de compuestos fenólicos.
4. Los pigmentos clorofilicos y carotenoides del aceite aumentan su concentración con un menor tamaño de criba y disminuyen con el aumento de la velocidad de giro de los martillos.
5. Los tocoferoles totales incrementan su concentración en los aceites extraídos con una velocidad de giro de los martillos más elevada, mientras que el aumento del tamaño de la criba da lugar a un incremento de su concentración en el aceite de oliva virgen.
6. En definitiva, la regulación de las variables en la etapa de molienda tales como el tamaño de criba y velocidad de giro de los martillos, permite mejorar el rendimiento industrial del proceso de extracción y modular las características bioactivas y sensoriales del aceite de oliva virgen.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera, M.P. (2006). Influencia de las condiciones de batido de la pasta en los compuestos volátiles de oxidación del aceite de oliva virgen. *Tesis Doctoral*. Universidad de Jaén, Jaén.
- Aguilera M.P., Beltrán G., Sánchez-Villasclaras S., Uceda M., Jiménez A. (2010). Kneading olive paste from unripe 'Picual' fruits: I. Effect on oil process yield. *Journal of Food Engineering*. 533-538.
- Aguilera, M.P., Bejaoui, MA, Jiménez Márquez, Sánchez-Ortiz, A., A. and Beltrán Maza, G. (2016). La aplicación de oxígeno durante el triturado de la aceituna afecta las características y el perfil sensorial del aceite de oliva virgen. *Journal of Lipid Science*. 118: 1018-1029.
- Alba, J. (2008). Elaboración del aceite de oliva virgen. *El Cultivo del Olivo* (6a Ed.), Barranco D., Fernández-Escobar R., Rallo L. (Eds.), Mundi-Prensa, Madrid, pp. 657-698.
- Alba, J.; Gómez, A.; Casado, F. (1990). "Utilización de enzimas en la extracción de aceite de oliva". *Alimentación, Equipos y Tecnología*. 3, 63-71.
- Allogio, V.; Caponio, F.; De Leonadis, T. (1996). Influenza delle tecniche di preparazione della pasta de olive sulla qualità dell olio. Profilo qualitativo delle sostanze fenoliche, mediante HPLC in olio d'oliva vergine dell cv Ogliarola salentina. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. 355-360.
- Allouche, Y.; Jiménez, A.; Uceda, M.; Aguilera, M.P.; Gaforio, J.J.; Beltrán, G. (2010). Influence of olive paste preparation conditions on virgin olive oil triterpenic compounds at laboratory-scale. *Food Chemistry*. 119, 765-769.

- Amirante, P.; Di Renzo, C.; Di Giovacchino, L.; Bianchi, B.; Catalano, P. (1993) Technological developments in olive oil extraction plants. *Olivae*. 43-53.

- Anania, G., & D'Andrea, M. R. P. (2008). The Global Market for Olive Oil: Actors, Trends, Prospects and Research Needs. European Association of Agricultural Economists, No. 9446.

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

- Angerosa, F.; Di Giacinto, L. (1995). Caratteristiche di qualità dell'olio di oliva vergine in relazione ai metodi di frangitura. *La rivista Italiana delle Sostanze Grasse*.

- Angerosa, E.; Solinas, M. (1990). Crushing influence on the quality characteristics of virgin olive oil. Proceedings of International Seminar "Olive Oil and Table Olives: Technological Aspects and Quality," pp. 135–145.

- Aparicio R., Roda L., Albi M.A., Gutierrez F. (1999). Effect of various compounds on virgin olive oil oxidative stability measured by Rancimat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47, 4150-4155

- Arias, T. (2019). Determinación de compuestos del aceite de oliva virgen relacionados con enfermedades cancerígenas y neurodegenerativas.

- Beauchamp, G.K.; Keast, J.; Morel D.; Lin, J.; Pika, J.; Han. Q.; Lee, C.; Smith, B.; Breslin, S. (2005). Ibuprofen-like activity in extra-virgin olive oil. *Nature*. 45-46.

- Beltrán, G.; Aguilera, M.P.; Allouche, Y.; Jiménez, A. (2010). Efectos de la molienda del fruto sobre el rendimiento industrial del proceso y la calidad del aceite. *Dossier Almazaras. Vida Rural*. 28-31.
- Beltrán, G.; Aguilera, M.P.; Del Rio, C.; Sanchez, S.; Martinez, L. (2005). Influence of fruit ripenin process on the natural antioxidant content of Hijiblanca virgin olive oils. *Food Chemistry*. 89, 207-215.
- Beltrán, G.; Jiménez, A.; Aguilera, M.P.; Uceda, M. (2000). Análisis mediante HPLC de la fracción fenólica del aceite de oliva virgen de la variedad "Arbequina". Relación con la medida del amargor K₂₂₅ y la estabilidad. *Grasas y aceites*. 51, 320.
- Beltrán, G.; Jiménez, A.; Uceda, M. (1998). Efecto del régimen hídrico sobre la fracción fenólica del aceite de oliva variedad "Arbequina". 1er Simpiso de L'Olivera Arbequina a Catalunya. *Les Borges Blanques*, Lleida.
- Beltrán, G.; Uceda, M.; Hermoso, M; Fría, L. (2008) Maduración. *Cultivo del Olivo*. 163-188.
- Bianchi B, Catalano P (1995) Riv Ital Ing Agraria Quaderno 17:327–334.
- Bianchi, B.; Catalano, P. (1992). Sistemi di frantumazione delle olive e qualità degli oli. Risultati di ricerche triennali. Atti del Convegno Nazionale dell'A.I.A. "Il vino e l'olio". Trapani (Italy). 327-334.
- Biriz, C.; Garcia-Ortiz, J.; Castro, J., Mesa. Método rápido de determinación del amargor en aceite de oliva virgen sin previa separación. *Foro de la Tecnología Oleícola y la Calidad*. TEC-41
- Boskou, D. (1998). Química y Tecnología del aceite de oliva. *Mundi Prensa*. AMV Ediciones. Madrid.

- Boskou D., Blekas G., Tsimidou M. (2006). Olive oil composition. *Olive Oil: Chemistry and Technology* (2ª Ed.). Champaign, Illinois. 41-72.

- Bubola, K.B., Koprivnjak, O. (2015): «Influence of filtration on composition of olive oils», en V. Preedy, (ed.) *Processing and Impact on Active Components in Food*. San Diego, Academic Press. 259-265.

- Burón, I.; García, R. (1979). La calidad del aceite de oliva. Comunidades INIA. Ser. Tecnología Agraria, 4, 30.

- Bradley, D.G., Min, D.B. (1992). Singlet oxygen oxidation of foods. *Critical reviews in food science and nutrition*. 31, 211-36.

- Cano, M.M. (2015). Caracterización de aceites de oliva virgen elaborados en zonas oleícolas de extremadura.

- Caravaca, J.; Carazo. A.; Cárdenas, R.; Cejudo, L.; Chamorro, S.; Manzano, F.; Marcos, J.; Plaza, F.; Poveda, M.; Solis, J.; Talavera, J.; Vilar, J. (2013). El manual del maestro de almazara.

- Carretto, M.V.; Cuervo, M.P.; Dirienzo, M.G.; Di Vito, M.V. (2002). Aceite de oliva: beneficios en la salud. *Invenio*.

- Codex Alimentarius. 2015. CODEX STAN 33-1981. Norma para los aceites de oliva y aceites de orujo de oliva.

- Caponio, F.; Alloggio, V.; Gomes, T. (1999). Phenolic compounds of virgin olive oil: influence of pasta preparation techniques. *Food Chemistry*. 203-209.

- Caponio, F.; Catalano, P. (2001). Hammer crushers vs disk crushers: the influence of working temperatura on the quality and preservation or virgin olive oil. *European Food Research and Technology*. 219-224.

- Caponio, F.; Gomes, T.; Summo, C.; Pasqualone, A. (2003). Influence of the type of olive-crusheer use on the quality of virgin oils. *Europe Journal Lipid Science Technology*. 201-206.
- Cert, A.; Alba, J.; Pérez-Camino, M.C.; Ruiz-Gómez, A.; Hidalgo, F.; Moreda, W.; Moyano, M.J.; Martinez, R.; Olías, J.M. (1999). Influence of extraction methods on the characteristics and minor components of extra virgin olive oil. *Olivae*. 41-50.
- COI. 2021. Estadísticas mundiales sobre aceite de oliva y aceitunas de mesa. Enlace web: <https://www.internationaloliveoil.org/que-hacemos/unidad-de-asuntos-economicos-y-promocion/?lang=es#figures>
- Cunha, S.; Fernandes, J.; Beatriz, M.; Oliveira, P. (2006). Quantification of free and esterified sterols in Portuguese olive oils by solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. 220-227.
- Deina, M.; Rosa, A.; Cao, C.; Pirisi, F.; Bandino, G.; Dessi, M. (2002). Novel approach to study oxidative stability of extra virgin olive oils: importance of a-tocopherol concentration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- De la Osada García J. (2010). Aceite de Oliva virgen extra y prevención de la aterosclerosis. Zaragoza.
- De Torres Sánchez, A., (2013). Influencia de los factores tecnológicos en la calidad y en el contenido de antioxidantes del aceite de oliva virgen.
- Díez de la Iglesia, L. (2018). Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en olivas.

- Di Giovacchino L. (2013). Technological Aspects. *Handbook of Olive Oil* (2ª Ed.). Aparicio R., Harwood J. (Eds.), Springer, Nueva York. 57-96.

- Di Giovacchino, L.; Sestilli, S.; Di Vincenzo, D. (2002). Influence of olive processing on virgin olive oil quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 587-601.

- Di Giovacchino, L., Solinas, M., & Miccoli, M. (1994). Effect of extraction systems on the quality of virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71(11), 1189–1194.

- Fedeli E, Conesi N. (1993). Origin and Technology of Virgin Olive Oils. *Riv Ital Sost Grasse*.

- Fini, L.; Hotchkiss, E.; Fogliano, V.; Graziani, G.; Romano, M.; Del Vol, E.B.; Qin, H.; Selgrad, M.; Boland, C.R.; Ricciardello, L. (2008). Chemopreventive properties of pinoresinol-rich olive oil involve a selective activation of the ATM-p53 cascade in colon cancer cell lines. *Carcinogenesis*. 29, 139-146.

- Fitó, M.; Covas, M.I.; Lamuela-Raventós, R.M.; Vila, J.; Torrents, J.; de la Torre, C.; Marrugat, J. (2000). Protective effect of olive oil and its phenolic compounds against low density lipoprotein oxidation. 35, 633-638.

- Fregapane, G.; Salvador, M. (2013). Production of superior quality extra virgin olive oil modulating the content and profile of its minor components. *Food Research International*. 54, 1907-1914.

- Fregapane, G.; Krichene, D.; Allouta, A.; Mancebo-Campos, D.; Salvador M.; Zarrouka, M. (2010). Estabilidad del aceite de oliva virgen y comportamiento de sus antioxidantes naturales en condiciones de almacenamiento acelerado a media temperatura. *Food Chemistry*. 121, 171-177

- Gabriel et al., (2017). <https://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/205144-Las-pastas-dificiles-que-son-por-que-se-producen-y-como-se-tratan.html>
- Gallardo, L. (2016). Estudio del potencial productivo y caracterización de los aceites obtenidos de los cultivares “picual”, “arbequino” y “cornezuelo. *Tesis Doctoral*, Universidad de Extremadura.
- Galeano, T., Duran, I., Sanchez, J., Alexandre, MF. (2005). Characterization of virgin olive oil according to its triglycerides and sterols composition by chemometric methods. *Food Control*, 16, 339-347.
- Gandul, B., Gallardo, L., Garrido, J., Mínguez, M.I. (1991). Control de pigmentos clorofílicos y carotenoides por HPLC en el aceite de oliva virgen. *Grasas y Aceites*, 42, 56-60.
- García-Rodríguez, R., Romero-Segura, C., Sanz, C., Sánchez-Ortiz, A., Pérez, A.G. (2011). Role of polyphenol oxidase and peroxidase in shaping the phenolic profile of virgin olive oil. *Food Research International* 44, 629-635.
- García J.M., Gutiérrez F., Castellano J.M., Perdiguero S., Morillo S., Albi M.A. 1996. Influence of storage temperature on fruit ripening and olive oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, 264–267.
- Gerald, F.; Combs, J.R. (1992). The vitamins fundamental aspects in nutrition and health. Academic Press Inc. San Diego, California.
- Gila, A.,; Beltrán, G.; Bejaoui, M.; Aguilera M.P.; Jiménez, A. (2017). How clarification sistemas can affect virgin olive oil composition and quality at industrial scale. 119 (November). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600479>
- Gómez-Rico A., Salvador M.D., La Greca M., Fregapane G. (2006). Phenolic and volatile compounds of extra virgin olive oil (*Olea europaea*

- L. Cv. Cornicabra) with regard to fruit ripening and irrigation management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 7130- 7136.
- Gómez-Rico A., Inarejos-García A., Salvador M.D., 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, 3587-3595.
 - Guerrini, L.; Migliorini, M.; Giusti, M.; Parenti, A. (2017). The influence of crusher speed on extra virgin olive oil characteristics. *European Journal Lipid Science and Technology*. 118.
 - Gutiérrez González-Quijano, R. (1983). Normalización y tipificación de la calidad. La legislación vigente nacional e internacional. *Ponencia Simposio de Expoliva*. 63- 92. Jaén.
 - Gutierrez, F., Garrido, J., Gallardo, L., Gandul, B., Minguez, M.I. (1992). Action of chlorophylls on the stability of virgin olive oil. *Journal American Oil Chemists Society*, 69, 9, 866-871.
 - Gutiérrez, R.; Janer, M.L.; Gutierrez F.; Vázquez, A. (1997). Relación entre los polifenoles y la calidad y estabilidad del aceite de oliva virgen. *Grasas y aceites*. 20, 101.
 - Gutierrez, F., Perdiguero, R., Gutierrez, R., Olías, J. M. 1992. "Evaluation of the bitter taste un virgin olive oil". *Journal of the American Oil Chemists Society*. 69, 394-395.
 - Graciani, E. (2006). Los aceites y grasas: composición y propiedades. *Mundi-prensa*. AMV Ediciones.
 - Hernandez, N.; Boatella, J. (1987). Variations of the Tocopherols and Tocotrienols Content in the Obtention, Refining and Hydrogenation Processes of Edible Oils. *Grasas y Aceites*.

- Hermoso, M.; Uceda M.; García-Ortiz A.; Morales J.; Frías L.; Fernández A. (1991). Elaboración de aceite de oliva de calidad. Serie Apuntes 5/92. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Houssem, M. (2011). Efecto de las condiciones de molienda sobre el rendimiento del proceso y las características fisicoquímicas y sensoriales del aceite. *Trabajo Fin de Máster, Universidad de Córdoba*.
- Hrnčirik K.; Fritsche S. (2005). Relation between the endogenous antioxidant system and the quality of extra virgin olive oil under accelerated storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 2103-2110.
- Inarejos-García, A.M.; Gómez-Rico, A.; Salvador M.D.; Fregapane, G. (2009). Influence of malaxation conditions on virgin olive oil yield, overall quality and composition. *European Food Research Technology*. 228, 671–677).
- Inarejos-García, A. M., Santacatterina, M., Salvador, M. D., Fregapane, G., Gómez-Alonso, S. (2010). PDO virgin olive oils quality—minor components profiles and organoleptic evaluation. *Food Research International*. 43, 2138–2146.
- Internacional Olive Council, (2019): «Trade standard applying to olive oils and olive pomace oils»,. COI/T.15/NCNo3/Rev.14. <https://www.internationaloliveoil.org/wpcontent/uploads/2019/12/trade-standard-REV-14-Eng.pdf>
- Jiménez, A.; Uceda, M. (1995). Características químicas y prganolépticas del aceite de oliva virgen de la variedad Arbequina. *Les Borges Blanques*. Lérida.

- Kalua C.M., Allen M.S., Bedgood D.R., Bishop A.G., Prenzler, P.D. (2006). Discrimination of olive oils and fruit into cultivars and maturity stages based on phenolic and volatile compounds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53, 8054-8062.
- Kashyap D., Vohra P., Chopra S., Tewari R. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector. A review: *Bioresource Technology* 77, 215-227.
- Klen, T.; Golc, A.; Vrhovšek, U.; Sivilotti, P.; Vodopivec, B. (2015). Olive Fruit Phenols Transfer, Transformation, and Partition Trail during Laboratory-Scale Olive Oil Processing. *Journal of Agriculture Food Chemists*.
- Kula, O.; Yildirim, A.; Yorulmaz, A.; Duran, M.; İ. (2018). Effect of crushing temperature on virgin olive oil quality and composition. *Grasas y aceites*.
- Lleó-García, L., Baltazar, P., Sánchez, N., Diezma, B. (2019). Desarrollo de procedimientos de evaluación rápida de calidad de aceites basados en técnicas espectroscópicas. *Universidad Politécnica de Madrid*
- López-Yerena, A.; Ninot, A.; Jiménez-Ruiz, N.; Lozano-Castellón, J.; Pérez, M.; Escribano-Ferrer, E.; Romero-Aroca, A.; Lamuela-Raventós, R.M.; Vallverdú-Queralt, A. (2021). Influence of the Ripening Stage and Extraction Conditions on the Phenolic Fingerprint of ‘Corbella’ Extra-Virgin Olive Oil. *Antioxidants*, 10, 877.
- Lozano-Sánchez J., Segura-Carretero A., Fernández-Gutiérrez A. (2011). Characterisation of the phenolic compounds retained in different organic and inorganic filter aids used for filtration of extra virgin olive oil. *Food Chemistry*. 124(3), 1146-1150.

- Luna G., Morales M.T., Aparicio, R. (2006). Characterisation of 39 varietal virgin olive oils by their volatile compositions. *Food Chemistry*. 98, 243-252.
- Mailer, R.J., Ayton, J., Graham, K. (2010). The influence of growing region, cultivar and harvest timing on the diversity of Australian olive oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 87, 877-884.
- Masella P., Parenti A., Spugnoli P., Baldi F., Mattei A. (2011). A predictive classification model for the management of virgin olive oil filtration at industrial scale. *Separation Science and Technology*. 46, 1709-1715.
- Marsilio, V.; Lanza, B. (1998). Characterisation of an oleuropein degrading strain of *Lactobacillus plantarum*. Combined effects of compounds present in olive fermenting brines (phenols, glucose and NaCl) on bacterial activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 76, 520-524
- Medeiros D., Hampton M. (2007). Olive oil and health benefits. *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*. Wildman R. (Ed.), Florida. 297-308.
- Millán Salas, F. (2001). Régimen jurídico del aceite de oliva. *Cuadernos de Estudios Empresariales Vol. 11. Escuela de Estudios Empresariales*. Universidad Complutense de Madrid.
- Mínguez-Mosquera, M.I., Rejano, L., Gandul, B., Sánchez, A.H., Garrido, J. (1991). Color-pigment correlation in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68, 332-336.
- Moreda, W., Perez-Camino, M.C., Cert, A. (1995). Determinación de algunos parámetros de pureza en aceite de oliva. Resultados de un estudio colaborativo. *Grasas y aceites*, 46, 279-284.

- Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L.; Cuadrado, C. (2013). Tablas de composición de alimentos. *Editorial Pirámide*.
- Moscayo-Pastrana, L. (2016). Análisis de la calidad del aceite de oliva virgen: relación entre la estabilidad oxidativa y la composición fenólica. *Trabajo fin de grado para la obtención del grado en Ingeniería Agrónoma, Universidad de Sevilla*.
- Nikaido, T.; Ohmoto, T.; Kinoshita, T.; Sankawa, U.; Niahibe, S.; Hisasa, S. (1981). Inhibition of cyclic APM phosphodiesterase by lignans. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 29, 3586-3592.
- Nores, C.M.; Pomar, M. (2017) "Modificaciones químicas por tratamientos térmicos en el Aceite de Oliva Extra Virgen". *Trabajo de investigación para la licenciatura en Nutrición, UCC, Argentina*.
- Pardo, M.; Tardío, J.; Blanco, E.; Carvalho, M.; Lastra, J.; San Miguel, E.; Morales, R. (2007). Traditional knowledge of wild edible plants used in the northwest of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal): a comparative study *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.
- Perrin, J.L. (1992). Les Composés Mineurs et les Antioxygènes naturels de l'Olive et de son Huile. *Rev Franc Corps Gras*. 25-32.
- Pérez-Camino, M. C., Moreda, W., Cert, A. (1996). Determination of diacylglycerol isomers in vegetable oils by solid-phase extraction followed by gas chromatography on a polar phase. *Journal of Chromatography A* 721, 305-314.)
- Polari, J.; García-Aguirre, D.; Olmo-García, L.; Carrasco, A.; Wang, S. (2017). Impact of industrial hammer mill rotor speed on extraction efficiency and quality of extra virgin olive oil. *Food Chemistry*.

- Psomiadou, E.; Tsimidou, M.; Boskou, D. (2000). α -Tocopherol content of greek virgin olive oils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48, 1770-1775.
- Roca M., Guerrero-Gallardo L., Rojas B. (2017). Metabolismo de carotenoides en el fruto del olivo y sus modificaciones en el proceso industrial. 20, 459.
- Rodríguez, P. "Caracterización aromática y fenólica de aceitunas y aceites de oliva producidos en Galicia". *Universidad de Vigo*. 2015.
- Romero-Segura, C.; Sanz, C.; Pérez A. (2009). Purification and characterization of an olive fruit -glucosidase involved in the biosynthesis of virgin olive oil phenolics. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.
- Sacchi, R.; Della Medaglia, D.; Spagna Russo, S. (1996) Tecnologia di estrazione e componenti amari dell'olio extra-vergine di oliva. *Programma DIT per la Diffusione dell'Innovazione Tecnologica*. Portici (Italy).
- Sánchez-Ortiz A., Bejaoui M.A, Aguilera M.P., Jiménez A., Beltrán G. (2015). Application of oxygen during olive fruit crushing impacts on the characteristics and sensory profile of the virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 118, 1018-1029.
- Sánchez-Rodríguez, E., D Mesa, M. (2018). Compuestos bioactivos del aceite de oliva virgen. *Nutrición Clínica en Medicina*.
- Sacchi, R., Addeo, F., Giudicianni, I., Paolillo, L. (1992). Análisis de la distribución posicional de ácidos grasos en triacilglicérols de aceite de oliva por RMN-¹³C de alta resolución de la región carbonílica. *Ital. J. Food Sci.*, 4, 117-123.

- Salas, J.; Pastor, M.; Castro, J.; Vega, V. (1997). Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de oliva. *Grasas y Aceites*. 48, 74-82.

- Sanz-Bellver, J. B., & Paz, S. (2012). Composición del aceite de veintidós variedades cultivadas en la Comunidad Valenciana. *Vida rural*. 351, 54-60.

- Sawalha S., Arraez-Roman D., Segura-Carretero A., Fernandez-Gutierrez A. (2009). Characterization of phenolic compounds in diatomaceous earth used in the filtration process of olive oil by HPLC-ESITOF (MS). *Agro Food Industry Hi Tech*. 20, 460.

- Sayago, A.; Marín, M.I.; Aparicio, R.; Morales, M.T. (2007). Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y aceites*. 74-86.

- Servili, M.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Montedoro, G.F. (2003^a). Air exposure time of olive pastes during the extraction process and phenolic and volatile composition of virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80, 685-695.

- Servili, M.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Montedoro, G.F. (2003^b). Volatile compounds and phenolic composition of virgin olive oil: Optimization of temperature and time of exposure of olive pastes to air contact during the mechanical extraction process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51, 7980-7988.

- Servili, M.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Urbani, S.; Selvaggini, R.; Montedoro, G. (2008). 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. 10048-10055.

- Solinas, M.; Di Giovacchino, L.; Cucurachi, A. (1975). I polifenoli delle olive e olio di oliva. Nota 2. Indagine preliminare sull'indidenza delle tecniche operative adottate per lestrazione dell'olio. *Ann Ist. Sper. Elaiotecnica*. 125-154.
- Tous, J.; Romero-Aroca, A. (1994). Cultivar and location influences on the olive oils quality in Catalonia, Spain. 323, 326.
- Uceda M. 2004. Variabilidad intraspecífica de los factores que determinan la calidad del aceite de oliva. *Tesis Doctoral*. Universidad de Jaén.
- Uceda, M.; Frías, L. (1985). Épocas de recolección. Evolución del contenido graso del fruto y de la composición y calidad del aceite en la mecanización de la recolección. *FAO-PNUD*. Córdoba.
- Uceda, M.; Hermoso, M.; Aguilera, M.P. (2004). La calidad del aceite de oliva. *El cultivo del Olivo*. Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, R. (Eds). Mundi Prensa-Junta de Andalucía.
- Vázquez Roncero, A. (1980). Study of the polar compounds in olive oil by gas chromatography. *Grasas y aceites*, 31, 309-
- Vidal, A.M.; Alcalá, S.; de Torres, A.; Moya, M.; Espínola, F. (2019): «Centrifugation, Storage, and Filtration of Olive Oil in an Oil Mill: Effect on the Quality and Content of Minority Compounds», *Journal of Food Quality*. 2019, 1-7.
- Visioli, E.; De la Maza, M.P. (1994). Oleuropein protects low-density proteins from oxidation. *Life Sciences*.
- Vlahov G., Angelo S. (1996). La estructura de los triglicéridos de los aceites de oliva monovarietales: un estudio comparativo de 13 C-NMR.

- Vlahov, G., Del Re, P., Simone, N. (2003). Determination of geographical origin of olive oils using ^{13}C nuclear magnetic resonante spectroscopy. I- Classification of olive oils of the Puglia región with denomination of protected origin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, 5612-5615.
- Yaqoob P. (2008). Role of lipids in human nutrition. *El Cultivo del Olivo* (6^a Ed.). Barranco D., Fernandez-Escobar R., Rallo L. 655- 675.
- Zafra, A.; Juarez, M.; Blanc, R.; Navalon, A.; Gonzales, J.; Vilchez, J. (2006). Determination of poluphenolic compounds in wastewater olive oil by gas chromatograaphy-mass spectrometry. *Talanta*. 213-218.
- Zampelas A., Kafatos A.G. (2004). Olive oil intake in relation to cardiovascular diseases. *Grasas y Aceites*. 55, 24-32.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Elaboración del aceite de oliva virgen con sistema de centrifugación en 2 fases.....	15
Figura 2. Anillos de separación de las fases en pastas de aceitunas.....	18
Figura 3. Diagrama de funcionamiento del decánter de dos salidas.....	18
Figura 4. Esquema de decisiones para la comprobación de la conformidad de una muestra de aceite de oliva con la categoría declarada.....	34
Figura 5. Molino de empiedro de rulos.....	36
Figura 6. Molino de empiedro italiano.....	38
Figura 7. Molino de rodillos.....	38
Figura 8. Molino de martillos de criba fija.....	38
Figura 9. Molino de martillos con criba de listelos.....	38
Figura 10. Molino de discos.....	38
Figura 11. Partes interiores de un molino de martillos con criba fija.....	39

Figura 12. Patio de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.....	47
Figura 13. Tolvas de recepción de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.	47
Figura 14. Molino de martillos Pieralisi de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.....	48
Figura 15. Batidora de la almazara experimental del IFAPA Centro Venta del Llano.....	48
Figura 16. Centrífuga Pieralisi de la almazara experimental del IFAPA, Centro Venta del Llano.....	49
Figura 17. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en contenido graso sobre materia húmeda (%) del orujo.....	61
Figura 18. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en contenido graso sobre materia seca (%) del orujo.....	62
Figura 19. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en la acidez (%) del aceite.	64
Figura 20. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el índice de peróxidos (meq O ₂ /kg) del aceite.....	65
Figura 21. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K ₂₃₂ del aceite.	66

Figura 22. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K ₂₇₀ del aceite.....	67
Figura 23. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en el K ₂₂₅ del aceite.....	68
Figura 24. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los compuestos fenólicos (mg/kg) del aceite.	70
Figura 25. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los tocoferoles totales (mg/kg) del aceite.....	71
Figura 26. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los α -tocóferoles totales (mg/kg) del aceite.....	72
Figura 27. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los β -tocóferoles totales (mg/kg) del aceite.....	73
Figura 28. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los γ -tocóferoles totales (mg/kg) del aceite.....	74
Figura 29. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en las clorofilas (mg/kg) del aceite.....	75
Figura 30. Efecto del tamaño de criba y la velocidad de giro de los martillos del molino en los carotenos (mg/kg) del aceite.....	76

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Producción mundial de aceite de oliva.....	10
Tabla 2. Índice de madurez.....	11
Tabla 3. Composición de la aceituna.....	12
Tabla 4. Componentes del aceite de oliva.....	21
Tabla 5. Composición de triglicéridos en el aceite de oliva.....	22
Tabla 6. Composición en ácidos grasos del aceite de oliva.....	
Tabla 7. Parámetros de calidad y pureza establecidos para las distintas categorías de aceite de oliva.....	31
Tabla 8. Diseño experimental del ensayo de molienda.....	49
Tabla 9. Categorías de frutos según su pigmentación.....	51
Tabla 10. Características del fruto empleado en los ensayos.....	60

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Humedad del fruto y orujo.....	51
Ecuación 2. Contenido graso del fruto y orujo.....	52
Ecuación 3. Acidez.....	53
Ecuación 4. Índice de peróxidos.....	54
Ecuación 5. Coeficiente de extinción: K_{270} y K_{232}	55
Ecuación 6. Pigmentos fotosintéticos.....	56