

INFLUENCIA DEL TIPO DE MOLINO, EL GRADO DE MOLIENDA Y LA VELOCIDAD DE GIRO EN DISTINTAS VARIETADES

Efectos de la **molienda del fruto** sobre el rendimiento industrial del proceso y la calidad del aceite

La extracción del aceite de oliva contenido en el fruto requiere de la rotura de los tejidos vegetales donde se encuentra contenido el aceite, mediante la molienda. Esta fase del proceso de extracción es esencial, ya que de su adecuada realización dependerá el rendimiento final del proceso, y en parte, las características finales de los aceites elaborados. En este artículo se analizan las distintas posibilidades en el proceso de molienda para favorecer el rendimiento industrial del proceso y la calidad del aceite virgen extra obtenido.

Gabriel Beltrán, María de la Paz Aguilera, Yosra Allouche y Antonio Jiménez.

Centro IFAPA Venta del Llano, IFAPA, Junta de Andalucía, Mengibar (Jaén).

Para llevar a cabo esta etapa, se emplean molinos de diferentes tipos, pudiéndose clasificar éstos en dos grandes grupos: los de empiedro y los molinos metálicos. En el molino de rulos o de empiedro (**foto 1**) el fruto es molido por la



presión de los rulos sobre la solera, produciéndose además un efecto de dislacerado como consecuencia del deslizamiento de los rulos, efecto que favorece la extractabilidad de la pasta de aceituna. Los frutos son molidos sin excesiva fuerza mecánica no dando lugar, por tanto,

a emulsiones indeseables y sin riesgo de transferencia de trazas metálicas al aceite. Entre sus ventajas destacan la forma de determinar el grado de molienda que se hace en función de la cantidad de aceituna con la que se alimentan, favorecen la formación de gotas de aceite más grandes reemplazando, en parte, la siguiente fase del proceso: el batido. Además no dan lugar a un calentamiento de la pasta. Sin embargo este sistema es bastante ineficiente ya que no permite alimentar a un sistema continuo, además de ocupar gran espacio en las almazaras.

En España, por las características específicas de su sistema de producción de aceite de oliva, los molinos de empiedro prácticamente han desaparecido quedando como mayoritario el molino de martillos (**foto 2**). Sin embargo, en la última década están apareciendo en el mercado otras alter-

nativas en cuanto a la molienda, que se están intentando introducir en España, cuyo efecto sobre el rendimiento del proceso y la composición y características sensoriales del aceite está siendo evaluado por el equipo de investigadores del Centro IFAPA de Mengibar.

Entre los molinos metálicos se encuentran en el mercado diferentes opciones de gran interés. Así, se encuentran molinos de martillos con criba perforada fija, de criba rotante, los molinos de Listello, doble criba, molinos de discos y molinos de cilindros. Actualmente de entre todos ellos es el de martillos con criba fija o rotante el más usado.

En éstos, la molturación se produce por la acción de los martillos que giran a un elevado número de vueltas, golpeando la aceituna contra la criba perforada. Estos molinos permiten determinar de forma más eficiente el grado de molienda. Sus ventajas son que permiten moler en continuo, una mayor capacidad y además son menos costosos y de más fácil mantenimiento.

Elección de las condiciones de molienda

Efectos sobre el rendimiento

El rendimiento industrial de un molino de aceite está muy relacionado con el grado de molienda, que se mide por el tamaño medio de las fracciones de hueso, observándose cómo, en general, cuando el grado de molienda es menor se obtienen mejores rendimientos del proceso (**cuadro I**). Se ha descrito cómo la molienda con molinos de martillos da lugar a unos mejores agotamientos del proceso (Muñoz y Alba, 1980) ya que se consigue un mayor grado de rotura de las células del fruto.

Por tanto, la adecuación de las condiciones de molienda a las características específicas de cada fruto tiene un efecto significativo en el rendimiento final del proceso. La principal y, en ocasiones, única variable a regular en esta fase es el grado de molienda. El grado de molienda, en el caso del molino de martillos viene dado por el tamaño de la criba utilizada, es decir, por el diámetro de las perforaciones que ésta presenta (4-7 mm). El grado de molienda que será necesario alcanzar depende del tipo de aceituna. Con aceitunas de inicio de campaña el grado de molienda debe ser más fino (4-5 mm) para asegurar la rotura de las células vegetales que contienen el aceite (**cuadro I**). Con aceitunas más maduras la molienda puede ser más gruesa (6-7 mm). Cuando el grado de molienda es excesivamente grueso para el tipo de aceituna que se trata no se consigue la rotura de todos los tejidos vegetales y, por tanto, los orujos tendrán un elevado contenido graso. Por el contrario, cuan-



Foto 1. Molino tradicional de piedra.

Foto 2. Detalle de un molino metálico de martillos con cribas perforadas.

do el grado de molienda es excesivamente fino para el tipo de aceituna, se pueden formar emulsiones y sistemas coloidales que dan problemas

en el sistema de extracción. En el caso del sistema de dos fases, las partículas finas irán en el alpeorajo, por lo que éste mostrará un contenido graso más elevado (Hermoso *et al.*, 1998).

Como se ha descrito antes, a comienzos de campaña se puede utilizar, en el caso de los molinos de martillos, tamaños de criba más pequeños para mejorar la extractabilidad del proceso, sin embargo, no se ha estudiado cómo puede afectar la variación de la velocidad de molienda sobre el rendimiento del proceso, ya que en los últimos años se están incorporando reguladores de velocidad de giro de los martillos en los molinos. En cualquier caso, a mayor velocidad de giro se realizaría una molienda más agresiva que podría generar un exceso de finos, también en el caso de frutos más maduros, y por tanto peores agotamientos de los subproductos.

Además, durante la molienda se produce un incremento de la temperatura de la pasta debido a que parte de la energía cinética de los molinos que giran, bien a elevadas o bajas velocidades, es transformada en energía térmica por fricción. Los resultados obtenidos por diferentes autores (Amirante *et al.* 1993; Bianchi y Catalano, 1992) muestran que la temperatura de la pasta se puede incrementar entre 13-15°C respecto a la ambiente en el caso de los molinos de martillos, mientras que este incremento es mucho menor en el caso de los molinos de piedra 4-5°C.

El tipo de molienda tiene gran efecto sobre los fenoles del aceite. El uso de molinos metálicos, caracterizados por una molienda más agresiva, da lugar a aceites con un contenido en fenoles más alto debido a una rotura más completa de la pulpa que libera más sustancias fenólicas

CUADRO I.

Efecto del grado de molienda en el porcentaje de aceite extraído en tres épocas de recolección del fruto de las variedades Picual y Lechin.

Variedad	Picual		Lechin		
	Época de recolección	Criba 4 mm	Criba 5 mm	Criba 4 mm	Criba 5 mm
Inicio		92,95 a*	88,99 b	59,10 a	57,30 b
Mediados		86,55	88,53	71,80	70,60
Final		67,61	68,60	68	67,50

*Letras diferentes indican diferencias significativas $p \leq 0,05$.

Efectos sobre la calidad del aceite

Hasta ahora, se ha considerado la elección de las condiciones de molienda del fruto como una variable encaminada a la mejora del rendimiento del proceso, pero además puede tener un efecto significativo en las características finales del aceite.

En cuanto al efecto de la molienda en las características del aceite, en general, se ha descrito que el tipo de molienda no influye en los parámetros de calidad reglamentada (Angerosa *et al.*, 1995; Bianchi y Catalano, 1992) cuando se comparan molinos de empiedro y martillos. Sin embargo, cuando se comparan molinos metálicos con un concepto de molienda diferente se observa cómo hay un incremento en aquellos parámetros que miden alteraciones hidrolíticas y oxidativas del aceite. En este caso los molinos de martillos darían lugar a valores más elevados de estos parámetros debido probablemente a una molienda mucho más agresiva, a un incremento más importante de la temperatura de la pasta y a una mayor aireación de la misma (Caponio *et al.*, 2003).

El grado de molienda en el caso de los molinos de martillos no da lugar a diferencias significativas en estos 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) (cuadro II).

En cuanto a la composición del aceite y, en particular, en el caso de los componentes minoritarios, la molienda es una etapa crítica ya que afecta de forma directa a la composi-

Los molinos metálicos pueden afectar a las características del aceite aumentando la intensidad del amargo y el picante, que puede ser más importante en el caso de utilizar velocidades de rotación de los martillos más elevadas

CUADRO II.

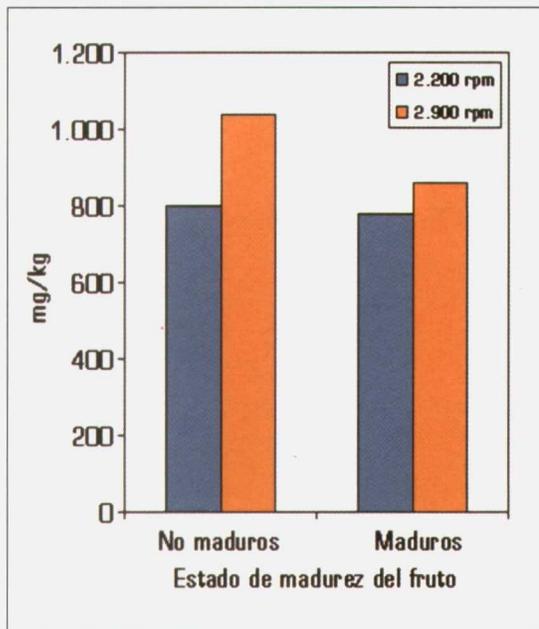
Efecto del grado de molienda en los parámetros de calidad reglamentada.

Parámetro	Criba 5 mm	Criba 6 mm
Acidez (%)	0,13	0,14
I. Peróxidos (meqO ₂ kg ⁻¹)	6,9	7,4
K ₂₇₀	0,11	0,12
K ₂₃₂	1,56	1,71

Cert *et al.*, 1999.

FIGURA 1.

Efecto de la velocidad de giro de los martillos de un molino sobre el contenido en compuestos fenólicos del aceite en frutos en dos estados de madurez.



ción del aceite debido a que en la trituración de los tejidos vegetales se activa el patrimonio enzimático del fruto y lo pone en contacto con diversos substratos. Así, una importante porción de compuestos fenólicos presentes en el fruto se encuentran en forma compleja e insoluble en agua. Como consecuencia de la molienda, y la consecuente destrucción de las estructuras celulares, sobre estos compuestos actúa parte de esa maquinaria enzimática dando lugar a su solubilización parcial en el aceite.

Los compuestos fenólicos son unos importantes antioxidantes que son responsables de diferentes propiedades del aceite de oliva virgen. En primer lugar, protegen a los aceites del proceso de autooxidación retrasando la aparición de la rancidez. Además se encuentran relacionados con algunas características sensoriales del aceite como son el amargor y el picante. Los polifenoles, en general, tienen gran interés nutricional, ya que protegen al organismo frente a la aparición de radicales libres relacionándolos con la protección frente a enfermedades cardiovasculares y procesos de envejecimiento celular (Aguilera *et al.*, 2008).

El tipo de molienda tiene gran efecto sobre los fenoles del aceite. Así, el uso de molinos metálicos, caracterizados por una molienda más agresiva, da lugar a aceites con un contenido en fenoles más alto que los procedentes de molinos de empiedro (Angerosa *et al.*, 1995; Allogio *et al.*, 1996; Caponio *et al.*, 1999). Este incremento se podría explicar por una rotura más completa de la pulpa que libera sustancias fenólicas unidas a diferentes tejidos de la pulpa dando lugar a un incremento en fenoles de la pasta. Sin embargo, otros autores han descrito resultados diferentes (Ranalli, 1989; Angerosa y Solinas, 1990). En el caso de molinos de discos no se encuentran diferencias significativas respecto a los de martillos (Caponio y Catalano, 2001).

En cuanto al grado de molienda, en el caso del molino de martillos que es con el que se han realizado ensayos de este tipo, un tamaño de criba menor (molienda más fina) da lugar a aceites con un contenido total de fenoles más elevado (Solinas *et al.*, 1975) aunque otros autores no han obtenido diferencias (Cert *et al.*, 1999).

Asimismo, al variar la velocidad relativa de giro de los martillos de un molino metálico se produce un incremento de compuestos fenóli-

cos, en general, y de los compuestos relacionados con el amargor (Di Giovacchino *et al.*, 2002) independientemente del estado de madurez del fruto utilizado (**figura 1**).

Otros componentes que se ven influenciados por el grado de molienda son los ácidos (maslínico y oleanólico) y alcoholes (eritrodio y uvaol) triterpénicos, componentes de gran interés por sus propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, entre otras. Así, la molienda de grado más fino da lugar a un incremento, en general, de estos componentes aunque el efecto es diferente en función de la variedad analizada (Allouche *et al.*, 2009).

Pero las condiciones de molienda afectan también a la fracción volátil del aceite y sus características organolépticas. Además de la fracción volátil responsable del aroma del aceite existen otras características organolépticas en el aceite como son el amargor, el picante, la astringencia y la cáscara de nuez (Angerosa *et al.*, 2000) que se han relacionado con los compuestos fenólicos y que se verán por tanto afectados de forma similar a éstos. En general, moliendas menos agresivas darán lugar a aceites con una menor intensidad de la "hierba recién cortada" aunque la percepción de las notas florales y el frutado será mayor. El amargor y el picante de estos aceites es menos intenso (Angerosa y Di Giacinto, 1995). Los molinos metálicos pueden afectar a las características del aceite aumentando la intensidad del amargo y el picante, que puede ser más importante en el caso de utilizar velocidades de rotación de los martillos más elevadas (Angerosa y Solinas, 1990).

Conclusión

La correcta elección del tipo de molienda y la regulación de las variables de esta etapa del proceso de extracción (grado de molienda y velocidad de giro de los martillos) pueden determinar además de un mejor rendimiento del proceso, las propiedades bioacti-

vas y características sensoriales de los aceites obtenidos. ●

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto FEDER-INEIA RTA2008-00066-C03-01. Nuestro agradecimiento a D. Juan Torres, Maestro de almazara del Centro IFAPA Venta del Llano.

Bibliografía ▼

- Aguilera, M.P., Allouche, Y., Jiménez, A., Uceda, M., Beltrán, G. (2008). Compuestos fenólicos del aceite de oliva virgen: propiedades sensoriales, antioxidantes y nutricionales. *Oleo* 124, 44-55.
- Allegio, V., Caponio, F., De Leonardi, T. (1996). Influenza delle tecniche di preparazione della pasta di olive sulla qualità dell'olio. Profilo qualitativo delle sostanze fenoliche, mediante HPLC in olio d'oliva vergine della cv Ogliarola Salentina. *Riv. Ital. Sostanze Grasse* 73, 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 triterpene compounds at laboratory-scale. *Food Chemistry* 119, 765-769.
- Amirante, P., Di Renzo, C., Di Giovacchino, L., Bianchi, B., Catalana, P. (1993). Technological developments in olive oil extraction plants. *Olivae* 48, 43-53.
- Andrewes, P.; Busch, J.L.H.C.; de Joode, T.; Groenewegen, A.; Alexandre, H. Sensory properties of virgin olive oil polyphenols: identification of deacetoxy-ligstroside aglycon as a key contributor to pungency. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 1415-1420.
- Angerosa F., Basti C., Vito R., Lanza B. (1999). Effect on fruit stone removal on the production of virgin olive oil volatile compounds. *Food Chemistry*. 67(1), p-295.
- Angerosa F., Di Giacinto L. (1995) Caratteristiche di qualità dell'olio di oliva vergine in relazione ai metodi di frangitura. *Nota II. La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. 72. p-1.
- Angerosa R., Camera L., D'Alessandro N., Mellerio G. (1998). Characterization of seven new hydrocarbon compounds present in the aroma of virgin olive oils. *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*. 46(1), p-648.
- Angerosa, F., Solinas, . (1990). Influenza della frangitura sulle caratteristiche di qualità dell'olio di oliva. *Atti del Seminario Internazionale 'Olio di oliva e olive d'itavoia : tecnologia e qualità*. Ed. Ist. Sper. Elaiotecnica, Citta S. Angelo (Italia). Pp. 135-146.
- Bianchi B., Catalano P. (1996) Power consumption and quality features in the crushing for olive oil production. *Grasas y Aceites*, 47(3), p-136.
- Caponio, F., Catalano, P. (2001). Hammer crushers vs disk crushers: the influence of working temperature on the quality and preservation of virgin olive oil. *Eur. Food Res. Technol.* 213, 219-224.
- Caponio, F., Gomes, T., Summo, C., Pasqualone, C. (2003). Influence of the type of olive crusher use on the quality of extra virgin olive oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 105, 201-206.
- Cert, A., Alba, J., Pérez-Camino MC., Ruiz-Gómez A., Hidalgo F. (1999). Influenza de los sistemas de extracción sobre las características y los componentes menores del aceite de oliva virgen extra. *Olivae*. 79, p-41.
- Di Giovacchino L., Sestilli, S., Di Vicenzo, D. (2002). Influence of olive processing on virgin olive oil quality. *Eur. J. Lipid Sci. Technol* 104, 587-601.
- Hermoso M., González J., Uceda M., García-Ortiz A., Morales J., Fría L., Fernández A. (1998). Elaboración de aceite de oliva de calidad. Obtención por el sistema de dos fases. *Serie apuntes 61/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía*.
- Muñoz, E., Alba, J. (1980). Informe de la almazara experimental del Instituto de la grasa correspondiente a la campaña 1979-80. *Grasas y Aceites* 31, 423-433.
- Ranalli, A. (1989). Confronto tra frangitore a martelli e frantoio tradizionale. *Incidenza sulla qualità dell'olio. L'Informatore Agrario* 22, 43-49.
- Solinas M., Di Giovacchino L., Cucurachi, A. (1975). I polifenoli delle olive e olio di oliva. *Nota2. Indagine preliminare sull'incidenza delle tecniche operative adottate per l'estrazione dell'olio. Ann. Ist. Sper. Elaiotecnica* V, 129-154.
- Solinas M., Di Giovacchino L., Masciolo A. (1978). I polifenoli delle olive e dell'olio d'oliva. *Nota III: influenza Della temperatura e Della durata de la gramolatura sul contenuto in polifenoli degli oli. La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. 55, p-19

2 años GARANTIA CASE IH

MÁQUINA DEL AÑO 2010

PUMA CVX.
EFICIENCIA INFINITAMENTE CONTINUA.

www.caseih.com

CASE IH AGRICULTURE