

INVESTIGACIÓN

Empleo de ultrasonidos de potencia en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen. Resultados a nivel de planta de laboratorio

Por **Antonio Jiménez Márquez, Gabriel Beltrán Maza, Marino Uceda Ojeda y María Paz Aguilera Herrera**

Estación de Olivicultura y Elaiotecnía. CIFA "Venta del Llano".
Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de Producción Ecológica. Junta de Andalucía.
Ctra. Bailen-Motril Km. 18.5 - 23620 Mengíbar, Jaén.
Teléfono:+34- 953370150. Email: antonio.jimenez.ext@juntadeandalucia.es

RESUMEN

Empleo de ultrasonidos de potencia en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen. Resultados a nivel de planta de laboratorio

Mediante aplicación indirecta con baño ultrasónico de 25 kHz, han sido analizados los efectos de la aplicación de ultrasonidos de potencia sobre la etapa de termobatido del proceso de elaboración del aceite de oliva virgen a nivel de planta de laboratorio.

Un rápido calentamiento de la pasta de aceituna molida desde la temperatura ambiente a la temperatura óptima de trabajo (30°C) y una mejora en la extractabilidad del proceso han sido los dos hechos observados más importantes bajo el punto de vista del rendimiento industrial.

Las características de los aceites, en cuanto a parámetros de: índice de acidez, índice de peróxidos, K270, K232 y amargor (K225), no se han visto afectadas, en las condiciones en que se han llevado a cabo los ensayos, por el tratamiento de la masa con ultrasonidos de potencia.

PALABRAS-CLAVE: Batido - Elaboración de aceite de oliva virgen - Extractabilidad - Ultrasonidos de potencia.

SUMMARY

Use of high power ultrasounds in virgin olive oil extraction process. Results at laboratory scale

The effects of high-power ultrasound on olive paste, in a laboratory thermomixing operation for virgin olive oil extraction, have been studied. Indirect sonication in a thermomixer with an ultrasound cleaning bath, at 25 kHz, has been applied.

A quick heating of olive paste, to optimal temperature conditions and an extractability improvement of the extraction process were found with the sonication of olive paste.

The effects of high-power ultrasound on some components of the oil obtained were studied. Free acidity, peroxide value, K270, K232, and bitterness (K225) were determined immediately and 4 months later.

KEY-WORDS: Extractability - High-power ultrasound - Mixing - Virgin olive oil elaboration.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el aceite de oliva virgen ha visto incrementado su producción y consumo a consecuencia de su demanda como producto natural, sano y nutritivo, siendo éste, prácticamente, el único aceite de gran producción que por su particular forma de obtención, puede ser consumido directamente sin necesidad obligada de pasar por refinación.

El aceite de oliva virgen es obtenido empleando exclusivamente procedimientos físicos, en una serie de procesos concatenados empezando por la molienda del fruto, para romper la estructura de las células donde se aloja el aceite; seguido de un termobatido a un tiempo y temperatura controlada, a fin de obtener una fase oleosa continua y diferenciada lo mas posible del resto de los componentes de la masa; una separación de fases mediante aplicación de presión o fuerza centrífuga, en la que se consigue separar el aceite del agua de vegetación y de los sólidos; y una decantación final, con o sin centrifugación previa, para separar el resto de partículas en suspensión en el aceite. En definitiva, el proceso de obtención del aceite de oliva virgen es todo un conjunto de operaciones básicas de transferencia de calor, transporte de masas, filtraciones y sedimentaciones que tiene como objetivo la extracción de un fluido, el aceite, del interior de un entramado semisólido formado por los restos de piel, pulpa y huesos (Martínez Moreno, 1972).

Recientemente, técnicas emergentes como son los ultrasonidos de potencia, vienen siendo investigadas y aplicadas a estos tipos de operaciones, particularmente a la industria alimentaria.

Por ultrasonidos de potencia, se entienden a aquellas radiaciones acústicas con una frecuencia comprendida entre 20 – 100 kHz y con intensidades acústicas que varían entre 0.1 W cm⁻² hasta varios kW cm⁻², capaces de producir efectos permanentes en el medio utilizado (Povey and Mason, 1998).

Entre sus aplicaciones actuales cabe destacar los estudios para su empleo en operaciones de transferencia térmica (Lima and Sastry, 1990; Sastry, Shen and Baisdell, 1989); en operaciones de transferencia de masa como salado de quesos (Sanchez et al., 1999) o deshidratación de productos alimenticios (Gallego, Rodríguez, Gálvez and Yang, 1999; Mulet, Cárcel, Sanjuan and Bon, 2003); en operaciones de filtración (Lenart and Ausländer, 1980; Smythe and Wakeman, 2000), sedimentación (Riera et al. 2000) o eliminación de espumas (Gallego et al. 2000); así como en procesos de extracción de aceites y principios activos con disolventes (Li, Pordesimo and Weis, 2002; Romdhane and Gourdon, 2002; Vinatoru et al., 1997).

Teniendo en cuenta la naturaleza de las operaciones que se llevan a cabo durante el proceso de extracción del aceite de oliva virgen, cabe pensar en la posibilidad de uso de los ultrasonidos de potencia como ayuda en determinadas etapas del proceso.

El objetivo de este trabajo es efectuar una serie de ensayos, a nivel de planta de laboratorio, para analizar la potencialidad de uso de esta técnica en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen, estudiando, inicialmente, una de las etapas claves del proceso, como es el batido, bajo criterios de características del aceite obtenido y rendimiento industrial.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Sistema de extracción de aceite de oliva

Para simular en laboratorio el proceso de extracción del aceite de oliva de la almazara, se utiliza el sistema ABENCOR (Martínez-Suarez, Muñoz, Alba and Lanzón, 1975) mediante el cual, la aceituna es molida con un molino de martillos y una cantidad pesada, de la pasta de aceituna originada, es batida en una termobatidora de temperatura regulable a 30 °C durante 30 minutos, con o sin adición de coadyuvante de extracción (micro talco natural). Inmediatamente, la masa batida es centrifugada en un bol vertical, durante 2 minutos, a la misma temperatura de batido, produciéndose la separación de las fases líquidas (agua de vegetación y aceite) que son recogidas en una probeta, dejando reposar los líquidos hasta la separación del aceite sobre la fase acuosa y anotándose el volumen de aceite obtenido. Finalmente, el aceite decantado es filtrado para la realización de los análisis químicos.

Se define el rendimiento industrial del proceso como el porcentaje de masa de aceite obtenido, multiplicando el volumen leído en la probeta por la densidad (0.915 gr ml⁻¹) respecto del peso de masa de aceituna tomada para la extracción, expresada en gr.

Conociendo, mediante el análisis de la aceituna, el contenido graso total de ésta, se define la extractabilidad del proceso como el porcentaje de aceite extraído respecto del total contenido (Beltrán et al., 2003).

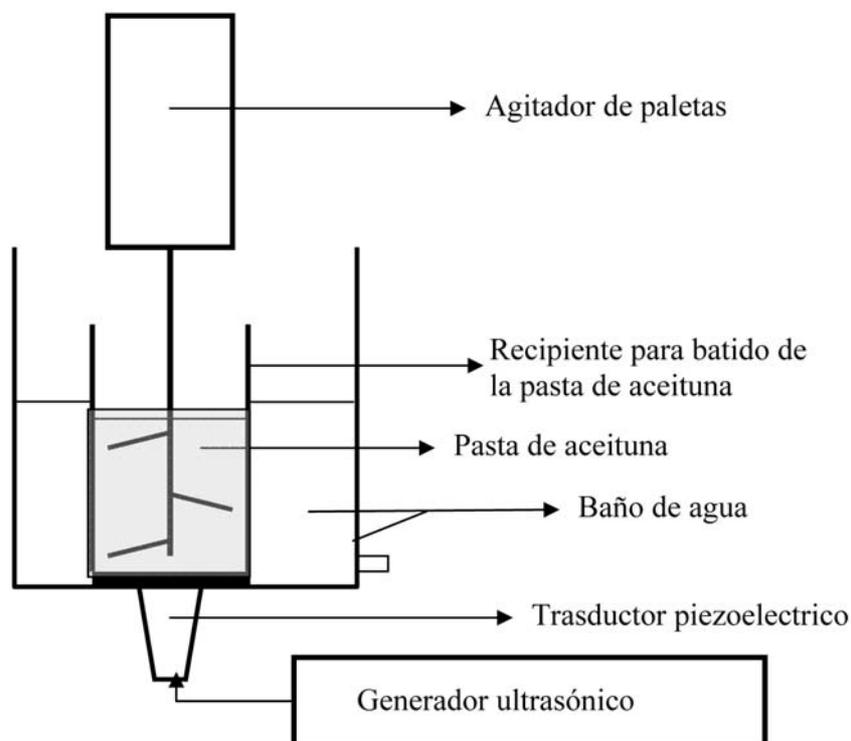


Figura 1
Esquema del montaje para el batido y sonicación indirecta de la pasta de aceituna molida.

2.2. Sistema de ultrasonidos

Para la sonicación indirecta de la pasta de aceituna se utiliza un baño de ultrasonidos comercializado por la casa Pacisa (Pacisa S.A. España) de 5L. de capacidad y que trabaja a una frecuencia de 25 kHz. Un agitador Eurostar Power Control-Visc (IKA-Werke, Alemania), proporciona el par a una varilla agitadora que trabaja a un régimen similar al empleado en las varillas del Abencor, en torno a 60 r.p.m.. En la Figura 1, se detalla como se ha dispuesto este baño para su trabajo como termobatedora. El cazo donde se realiza el batido es puesto en contacto directo con la carcasa del baño ultrasónico, de forma que las vibraciones acústicas del transducer sean transmitidas tanto a la carcasa del baño como al cazo que contiene la muestra.

2.3. Muestras de aceituna

Se han utilizado muestras de aceituna (*Olea europaea* L.) pertenecientes a la variedad "Picual" y procedentes de los campos de experimentación del Instituto, tomadas en varias épocas. Se han utilizado muestras tomadas directamente del árbol y muestras recogidas del suelo. Se ha determinado la humedad y contenido total en grasa para la caracterización de la aceituna empleada.

La determinación del contenido en humedad se ha efectuado mediante desecación en estufa a 105 °C. Resultados expresados en % en peso.

El contenido total de aceite (RGT) se ha efectuado mediante equipo de resonancia magnética nuclear Minispec mq10 RMN (Bruker Analytik GmbH, Alemania), calibrado y validado previamente con sistema de extracción por Soxhlet. Resultados en % en peso.

2.4. Coadyuvantes

Como coadyuvante de la extracción se emplea microtalco natural (MTN), con certificado de uso alimentario.

2.5. Caracterización de los aceites

La determinación de los parámetros de calidad del aceite: acidez, índice de peróxidos, K270 y K232, se han efectuado conforme al reglamento UE 2568/91 (European Union Commission, 1991).

El amargor o K225 se ha efectuado mediante medida de la absorbancia que presentan en la zona del ultravioleta, a 225 nm, los extractos hidroalcohólicos obtenidos del aceite de oliva mediante extracción en fase sólida con cartuchos de octadecyl (C_{18}). El aceite es disuelto en hexano y pasado por la columna, recuperando la fracción de polifenoles mediante paso de metanol:agua (7:3) y midiendo ésta solución en espectrómetro a 225 nm (Gutierrez Rosales, Perdiguero, Gutierrez and Olías, 1992).

2.6. Análisis estadístico

Para analizar los efectos del sistema estudiado, los datos de extractabilidad y características del aceite son analizados aplicando el análisis de la varianza de una vía mediante el software Statistix 7.0 (Analytical Software). Para determinar la significancia entre valores medios, a nivel de $p < 0.05$, se utiliza el test de Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el proceso de obtención del aceite de oliva, una de las etapas más importante en cuanto a rendimientos y calidad de los aceites obtenidos es la fase de preparación de la pasta de aceituna, siendo la operación de batido la que más influye en los resultados finales. Esta operación es llevada a cabo en termobatedoras, dotadas con una camisa de calefacción, en las que se produce una transferencia de calor por agitación de la pasta en contacto con las superficie de calefacción (Boskou, 1996).

El principal objetivo de esta etapa de batido es reunir el aceite que se encuentra en el interior de las células rotas por la molienda, con ayuda de la temperatura y del volteo mediante las paletas agitadoras, en una fase continua que facilite su separación del resto de los componentes de la masa en un tratamiento posterior de centrifugación o presión.

Esto es, en definitiva, un proceso de transferencia de masa sólido-líquido en el que, en éste caso, el aceite ha de atravesar entramados sólidos similar a un proceso de filtración (Martinez-Moreno, 1972).

Cuando los ultrasonidos de alta potencia son aplicados a un medio sólido-líquido provocan, entre otros efectos, un calentamiento del medio debido a las rápidas y continuadas compresiones y expansiones de éste; al mismo tiempo, estas expansiones y compresiones originan un "efecto esponja" (Mulet et al., 2003), haciendo que los líquidos se muevan a través de los microcanales originados por las partes sólidas.

En la figura 2 se exponen los resultados del ensayo donde se comparan, para un tiempo de batido de 45 min, los valores de temperatura alcanzados por la masa de aceituna durante su batido en la termobatedora Abencor y en batidora con ultrasonidos (USO).

En ella se puede observar como la aplicación de ultrasonidos de potencia a la masa de aceituna, durante la etapa de batido, ha producido un calentamiento general de ésta en un tiempo más corto que cuando dicho calentamiento es llevado a cabo mediante el procedimiento tradicional de transferencia térmica en ABENCOR. La energía sónica de los ultrasonidos comunicada por el transducer a las carcasa metálicas, tanto del baño como del cazo donde se encuentra la pasta de aceituna, es transformada en energía calorífica en la zona de exposición de la masa a ésta; como consecuencia del movimiento de las paletas agitadoras la masa de aceituna es renovada en ese punto y calentada nuevamente con lo

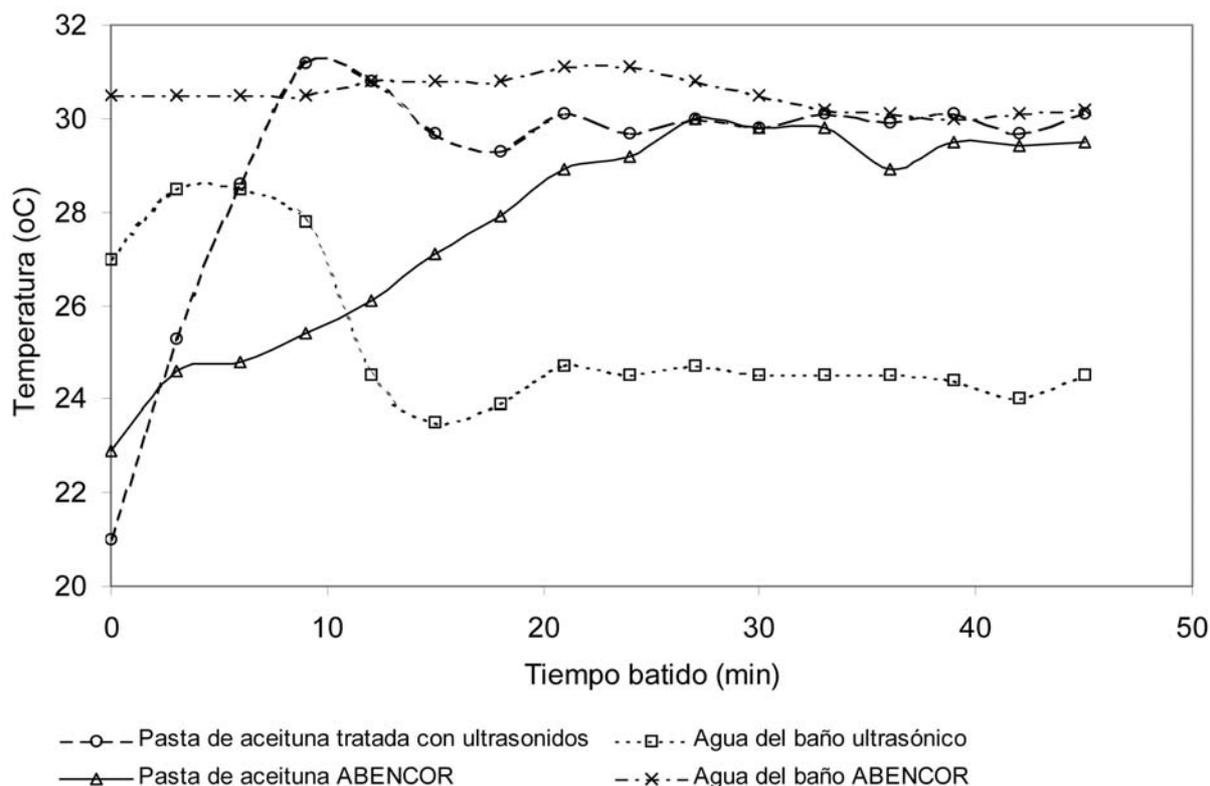


Figura 2. Evolución de las temperaturas de la masa de aceituna y del agua del baño a diferentes tiempos de batido.

que se produce un efecto de transmisión de calor al resto de la masa.

Como se observa en dicha figura, la masa tratada con USO alcanza la temperatura óptima de trabajo, de 30 ± 1 °C, en poco menos de 8 min, mientras que la termobatidora del Abencor necesita algo más de 20 min para alcanzar la misma temperatura de masa. Para mantener esta temperatura en la masa, la termobatidora necesita el agua del baño a 31 °C; en cambio, para el agua del baño del USO, tras su calentamiento inicial, ha sido necesario efectuar un enfriamiento y mantenimiento posterior a 25 °C.

Como consecuencia de este comportamiento, la masa tratada con USO está más tiempo batiéndose (35 min) a la temperatura óptima de trabajo que la masa tratada con la termobatidora (21 min) lo que se ha contribuido a una ligera mejora en la extracción del aceite obteniéndose, en las condiciones de este ensayo, un rendimiento industrial del 20.58%, para el tratamiento USO, frente al 19.93% del tratamiento con termobatidora ABENCOR.

El efecto de la extractabilidad puede ser diferente dependiendo de las características de la pasta de aceituna. Para verificar esto, se llevan a cabo una serie de ensayos con distintos tipos de aceitunas de la variedad "Picual".

En un primer ensayo, se realiza un estudio comparativo de ambos sistema sobre aceitunas toma-

das directamente del árbol, con 52.98% de humedad y 23.32% de grasa y con aceitunas procedentes del suelo, con 46.80% de humedad y 24.93% de grasa, analizando la evolución de la extractabilidad a diferentes tiempos de batido. En el ensayo se incluye un tratamiento en termobatidora con coadyuvante MTN al 1%, la utilización de MNT es habitual en este tipo de industria siendo utilizado para mejorar la capacidad extractiva del proceso, especialmente con aquellas masas de aceituna con estructuras poco filtrantes debido a la formación de papillas o estructuras poco consistentes (Alba, Muñoz and Martínez, 1983). En la Figura 3, se exponen los resultados de este ensayo.

Con aceituna fresca, del árbol, la extractabilidad final aplicando USO es ligeramente superior al tratamiento con termobatidora. Para tiempos de batido inferiores a 30 minutos el tratamiento con 1% de MTN en ABENCOR produce mejor extractabilidad. A 30 minutos de batido el tratamiento con ultrasonidos y MNT presentan extractabilidad similar. A 40 minutos de batido aparecen diferencias significativas entre el tratamiento con ultrasonidos y el resto. A medida que aumenta el tiempo de batido, el tratamiento con USO aumenta más rápidamente la extractabilidad hasta superar ligeramente a los otros dos tratamientos.

Con aceituna del suelo, el tratamiento con ultrasonidos proporciona una extractabilidad significati-

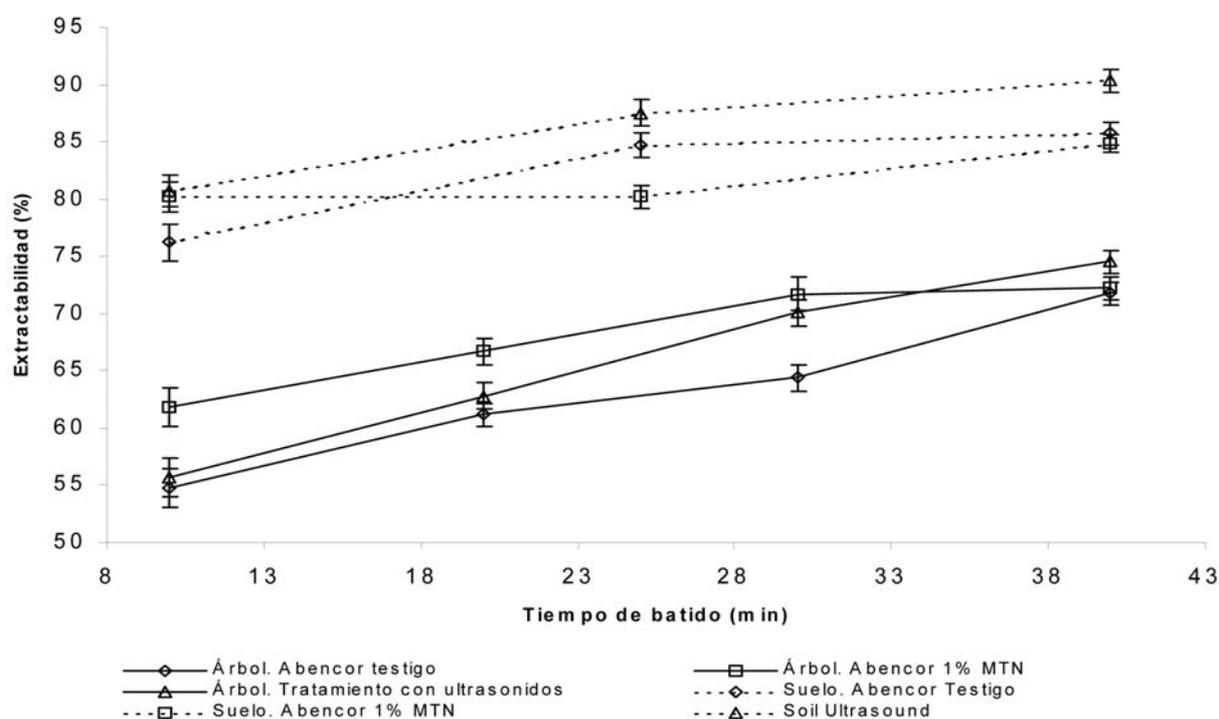


Figura 3

Comparación Abencor vs Ultrasonidos en la evolución de la extractabilidad de la pasta de aceituna para diferentes tiempos de batido y tipos de aceituna. Temperatura de la masa de aceituna 30 °C. Barras de error corresponde a la desviación típica para dos repeticiones.

vamente mayor que el resto de los tratamientos. El comportamiento es ligeramente diferente al caso anterior. El tratamiento con ultrasonidos y con MNT presentan la misma extractabilidad inicial. A medida que aumenta el tiempo de batido el tratamiento con USO sigue mejorando su extractibilidad. El tratamiento con MNT indica que no es adecuado para este tipo de pasta y a los 30 minutos de batido presenta la extractabilidad más baja; no obstante hay una ligera mejora si bien a los 40 minutos no presenta diferencias significativas con el tratamiento ABENCOR.

En general se observa, pues, que el tratamiento con USO mejora la extractabilidad de la masa y que dependiendo de las características de ésta puede ser más o menos significativa. Mulet et al. (2003) indican efectos diferentes en la transferencia de masa dependiendo de las características del producto. En aceitunas fresca, procedentes del árbol, la estructura de la pasta de aceituna es menos rígida que la masa procedente de la aceituna del suelo. El alto contenido en agua (> 50 %) proporciona una estructura elástica que origina la absorción de las ondas ultrasónicas, por lo que la influencia de los ultrasonidos en este tipo de pasta es menor que en la pasta procedente de la aceituna del suelo la cual, con menor contenido en agua (46.80 %), presenta un mayor contenido en materia sólida seca (23.7% y 28.27 % para árbol y suelo respectivamente) y por tanto una mejor transmisión de las ondas acústicas.

Para verificar que estas diferencias son debidas al tratamiento y no a las diferencias mecánicas entre los sistemas de batido, un segundo ensayo, efectuado a un tiempo de batido de 30 min y 30 °C de la masa, compara la extractabilidad entre la termobatidora del sistema Abencor, con 1% de MTN y sin MTN, frente a la extractabilidad de la termobatidora del sistema USO, con empleo y sin empleo de ultrasonidos. El ensayo se realiza por triplicado y los resultados son los que se reflejan en la Figura 4, donde se observa que no existen diferencias significativas, $p < 0.05$, entre las extractabilidades proporcionadas por la termobatidora del Abencor, sin empleo de MNT, y la termobatidora del sistema USO, sin empleo de ultrasonidos; comprobándose, de nuevo, que el empleo de USO durante el termobatido produce extractabilidades significativamente diferentes a los otros tratamientos.

Finalmente, aprovechando este último ensayo, los aceites extraídos son analizados en sus parámetros de calidad y amargor. Estos análisis se efectúan inmediatamente a su obtención y a los tres meses tras su almacenamiento a 25 °C y oscuridad.

En la Tabla 1 quedan reflejados los valores de estos parámetros, observándose que no existen diferencias entre los diferentes tratamientos, ni inmediatamente ni después de tres meses de almacenamiento, lo que indica que el tratamiento USO, en las condiciones de los ensayos efectuados, es inocuo y no modifica las características de los aceites.

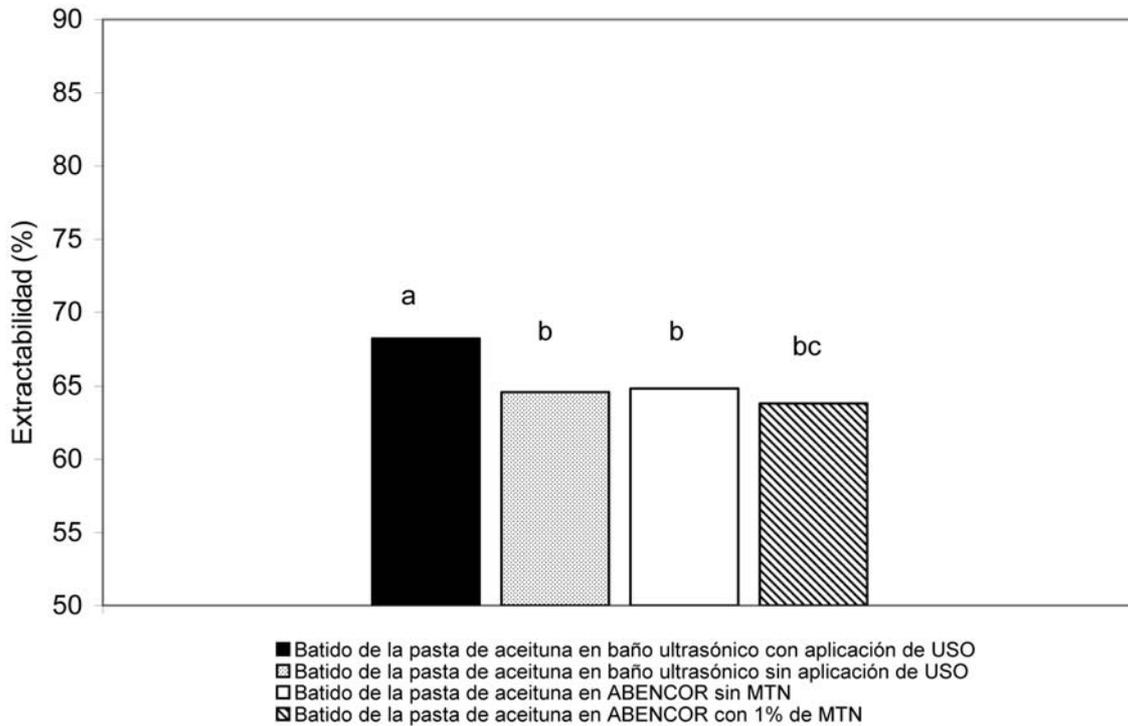


Figura 4

Comparación entre equipos Abencor vs Ultrasonidos en la extractabilidad de pasta de aceituna molida para 30 minutos y 30 °C de temperatura de la masa. Aceituna original con un 47.5% de humedad y 22.3 % de grasa en húmedo. Media de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas a p=0.05

Tabla 1

Parámetros de calidad del aceite de oliva virgen obtenido con los diferentes tratamientos y analizados en dos momentos diferentes. 1: inmediatamente al ensayo; 2: después de tres meses a 25 °C, en oscuridad. Media±STD, para dos repeticiones.

	Aceite procedente de ABENCOR		Aceite ABENCOR + 1% MTN		Aceite de tratamiento con Ultrasonidos	
	1	2	1	2	1	2
Índice de acidez (% a. Oleico)	2.93±0.08	3.14±0.05	2.83±0.04	2.98±0.06	2.85±0.08	3.08±0.03
Índice de peróxidos (meqO/kg)	9.96±0.41	18.54±0.23	8.01±0.50	19.34±0.32	8.11±0.45	19.05±0.48
K270	0.13±0.05	0.14±0.02	0.13±0.02	0.14±0.02	0.15±0.03	0.15±0.02
K232	1.49±0.15	1.65±0.10	1.48±0.12	1.77±0.21	1.49±0.15	1.72±0.16
Amargor (K225)	0.19±0.05	0	0.19±0.05	0	0.17±0.02	0

4. CONCLUSIONES

A la vista de estos resultados y en las condiciones de laboratorio ensayadas, se puede concluir diciendo que el empleo de ultrasonidos de potencia ha sido efectivo en dos cuestiones importante: el calentamiento rápido de la masa de aceituna, lo que ha permitido batir la masa durante más tiempo a la temperatura óptima de trabajo y en la mejora de la extractabilidad del proceso, siendo, incluso, ligeramente superior al empleo de MTN. Esto hace pensar en la viabilidad de la aplicación de esta técnica dentro del proceso de elaboración del aceite de oliva, si bien estos hechos han de ser estudiados con más profundidad analizando otros sistemas y formas de aplicación de los ultrasonidos de potencia, así como su aplicabilidad a otras fases del proceso de elaboración, tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial.

Estos resultados abren, pues, una línea de investigación sobre aplicación de tecnología emergentes en el proceso de elaboración del aceite de oliva, como es el caso de los ultrasonidos de potencia aquí ensayados.

AGRADECIMIENTOS

A Pedro Quesada por su ayuda en el laboratorio. Trabajo financiado por FAGA-FEOGA: Programa para la mejora de la calidad del aceite de oliva. Proyecto CAO01- 019.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba J., Muñoz E., Martínez J.M. 1983. Obtención del aceite de oliva, empleo de productos que facilitan la extracción. *Info. Tecn. COI SP/T17*, 48-54.(1987).
- Beltrán G., Uceda M., Jiménez A., Aguilera MP. 2003. Olive oil extractability index as a parameter for olive cultivar characterization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **83**, 503-506.
- Boskou D. 1996. Olive oil. Chemistry and Technology. AOCS Press. Champaign. USA.
- European Union Commission. 1991. Regulation ECC/2568/91 on the characteristics of olive oil and olive pomace oils and on their analytical methods. *J. Eur. Commun. L248*.
- Gallego JA., Rodríguez G., Galvez JC., Yang TS. 1999 A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology*, **17**,597-608.
- Gallego JA., Rodríguez G., Riera E., Montoya F., Vázquez F., Elvira L., Andrés E., Navajas M., Gálvez JC., Acosta V., Blanco A. 2000. Aplicaciones industriales de los ultrasonidos de potencia. *Revista de acustica*, **31**, 1-5.
- Gutierrez Rosales F., Perdiguero S., Gutierrez R., Olías JM. 1992. Evaluation of the bitter taste in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemical Society*, **69(4)**, 394-395.
- Lenart I., Ausländer D. 1980. The effect of ultrasound on diffusion through membranes. *Ultrasonics*. **9**, 216-218.
- Li H.;Pordesimo L., Weis J. 2002. Ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. In *2002 Annual Meeting and Food Expo-Anaheim*. California.
- Lima, M., Sastry, S. 1990. Influence of fluid rheological properties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of Food Science* **55**, 1112-1119.
- Martínez Moreno J.M. 1972. Fundamentos fisico-químicos de la técnica oleícola. Ed. CSIC. Madrid. Spain.
- Martínez-Suarez JM., Muñoz E., Alba J., Lanzón A. 1975. Informe sobre utilización del analizador de rendimientos Abencor. *Grasas y Aceites*, **26**, 379-385.
- Mulet; A. Cárcel JA., Sanjuán N., Bon J. 2003. New Food Drying Technologies- Use of Ultrasound. *Food Science Technology International*, **9**, 215-221.
- Povey MJW., Mason TJ. 1998 Ultrasound in Food Processing. Chapman & Hall. Ed. London.
- Riera E., Gallego E., Rodríguez G., Elvira L., González I. 2000. Application of high power ultrasound to enhance fluid/solid particle separation processes. *Ultrasonics* **38**, 657-661.
- Romdhane M., Gourdon C. 2002. Investigation in solid-liquid extraction: influence of ultrasound. *Chemical Engineering Journal* **87**,11-19.
- Sánchez ES., Simal S., Femenia A., Benedito J., Rosselló C. 1999 Influence of ultrasound on mass transport during cheese brining. *European Food Research and Technology*. **209**, 215-219.
- Sastry S.K.; Shen G.Q. and Baisdell J.L. 1989. Effect of ultrasonic vibration on fluid to particle convective heat transfer coefficients. *Journal of Food Science* **54**, 229-230.
- Smythe MC., Wakeman RJ. 2000. The use of ultrasonic fields as a filtration and dewatering aid. *Ultrasonics* **38**, 657-661.
- Vinatoru M., Toma M., Radu O., Filip Pl., Lazurca D., Mason TJ. 1997. The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials. *Ultrasonics Sonochemistry* **4**,135-139.

Recibido: Julio 2005
Aceptado: Enero 2006