

## EXTRACCIÓN DE ACEITE ASISTIDA POR ULTRASONIDO DE GRANOS DE GIRASOL ALTO ESTEÁRICO ALTO OLEICO

María Emilia Spinella<sup>1</sup>; María Belén Fernández<sup>1,2</sup>; Susana María Nolasco<sup>1</sup>; Ana Karina de Figueiredo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo TECSE, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarria, Argentina.

<sup>2</sup> CIFICEN, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires – CONICET, Tandil, Argentina.

\*E-mail: kdfiguer@fio.unicen.edu.ar

**Resumen.** En este trabajo se evalúa el efecto de diferentes variables (temperatura, potencia, contenido de humedad del grano) durante la extracción con solvente asistida por ultrasonido sobre el rendimiento de extracción de aceite de granos de girasol alto esteárico alto oleico. El estudio se llevó a cabo a dos contenidos de humedad del grano: humedad óptima para el proceso de descascarado (8,3 % base seca) y a la humedad de 4,01% base seca. Las corridas experimentales se llevaron a cabo a 30 minutos de ultrasonido, una relación solvente muestra de 1:10 (g/ml), a distintas temperaturas (25, 30, 40, 50, y 60°C) y un tamaño de partícula < 840 µm. Se emplearon dos baños ultrasónicos diferentes a 100 W y 400 W de potencia, respectivamente. El rendimiento de aceite mediante extracción asistida por ultrasonido no presentó diferencias significativas entre potencias como tampoco entre contenidos de humedad de los granos para las diferentes temperaturas de trabajo. Asimismo, el rendimiento de aceite no presentó diferencias significativas entre 40, 50 y 60°C. Se comparó el rendimiento mediante extracción convencional por Soxhlet de muestras tratadas 30 min con ultrasonido en las mejores condiciones operativas con muestras sin pretratar a diferentes tiempos de extracción. Las mejores condiciones operativas (aquellas para las cuales el rendimiento resultó mayor) para la extracción asistida por ultrasonido fueron, 100 W de

potencia, un contenido de humedad de los granos de 8,3% b.s. y una temperatura del baño ultrasónico de 40°C, en base a consideraciones de ahorro energético.

La asistencia de ultrasonido al inicio del proceso de extracción, si bien no permitió aumentar el rendimiento final de aceite, influyó considerablemente en la disminución del tiempo total del proceso de extracción. Los datos experimentales se ajustaron a un modelo de cinética de extracción de aceite por solvente mediante Soxhlet.

**Palabras clave:** GIRASOL ALTO ESTEÁRICO ALTO OLEICO, EXTRACCIÓN, ULTRASONIDO.

## **1. Introducción**

Las grasas sólidas son necesarias para muchas formulaciones industriales como margarinas, shortenings, rellenos, u otros productos de confitería. Estas grasas pueden prepararse a partir aceites vegetales por endurecimiento mediante hidrogenación. Sin embargo, este proceso conduce paralelamente a la producción de compuestos no saludables como son los ácidos grasos trans. Estudios clínicos y epidemiológicos han demostrado que los ácidos grasos trans producen aumento en los niveles séricos de la lipoproteína de baja densidad (LDL) y en los triglicéridos totales, (Kris-Etherton et al., 2005; Mozaffarian et al., 2006), como también una disminución en los niveles de lipoproteína de alta densidad (HDL, Hu et al. 1997). Los isómeros trans tienen dos orígenes principales: biológico y tecnológico. Los primeros provienen de los productos derivados de los animales rumiantes (carne, grasa, leche y sus derivados) y no constituyen más de un 5-10 % de la ingesta total de isómeros trans. En cambio los de origen tecnológico constituyen el grueso de la ingesta (90-95%) y provienen mayoritariamente de las materias grasas hidrogenadas, los procesos de fritura y en menor proporción, de los aceites comestibles que son sometidos a desodorización (Valenzuela et al., 2008). En Argentina, a partir de diciembre de 2014 entró en plena vigencia el artículo artículo 155 tris del Código Alimentario (CAA), en el cual se establece que el contenido de ácidos grasos trans de producción industrial en los

alimentos no puede ser superior al 2% del total de grasas en aceites vegetales y margarinas destinadas al consumo directo y 5% del total de grasas en el resto de los alimentos.

Desde el punto de vista de la industria de alimentos, resulta muy compleja la reducción del uso de las grasas hidrogenadas, ya que las mismas son imprescindibles en la fabricación de muchos alimentos que sirven de base para la incorporación de otros nutrientes por su estabilidad térmica, palatabilidad y crocantes que aportan a los productos (Korver and Katan, 2006). En la actualidad el ácido esteárico (C18:0) aparece como una alternativa reciente de gran significación. Se ha demostrado el efecto negativo que presentan los ácidos grasos saturados (como el ácido palmítico) elevando los niveles séricos de la lipoproteína de baja densidad (LDL), a excepción del ácido esteárico el cual se lo considera “neutro” en lo que respecta a su efecto sobre la salud cardiovascular (Martinez-Force et al. 2007; Dubinsky, E., 2008; Valenzuela et al., 2008).

Para poder sustituir estos aceites y grasas no saludables, se han obtenido y caracterizado una serie de mutantes de girasol con modificaciones en la composición de ácidos grasos de su aceite para la fabricación de productos que, como margarinas, permiten reemplazar las grasas trans y/o saturadas en los alimentos con el fin de obtener productos más adecuados desde el punto de vista nutricional. Los aceites de girasol de alto esteárico alto oleico (AGAEAO) se obtienen de semillas obtenidas por técnicas de hibridación convencional (no transgénicas). La semilla y la planta son similares al girasol convencional, por lo que grano y aceite deben ser producidos bajo esquemas de preservación de identidad en todas las etapas de la cadena hasta su distribución final (Dubinsky, E. and Garcés, R, 2011). El AGAEAO presenta como característica principal un contenido en ácido esteárico aproximadamente cuatro veces superior al convencional, mientras que el contenido en ácido oleico es cerca de tres veces superior. Los AGAEAO pueden fraccionarse para producir grasas con altos niveles de sólidos y diferentes perfiles de fusión que pueden ser utilizados en una amplia variedad de formulaciones de alimentos, siendo una alternativa prometedora como una fuente sana y sostenible de grasas sólidas.

El procesamiento de alimentos se encuentra en constante evolución en respuesta a los retos y necesidades que la sociedad actual plantea. En este sentido, la introducción de nuevas tecnologías resulta vital para reducir el tiempo de procesamiento o el mejoramiento de las condiciones de operación, además de otros aspectos que son críticos como la reducción de las necesidades de energía de los procesos o de los costos ambientales. El empleo de ultrasonido es un ejemplo de nueva tecnología cuya aplicación en el procesamiento de alimentos podría incidir en el mejoramiento de dichos factores. Se estima que en términos generales, el ultrasonido tiene importancia y aplicación de manera destacada, en el mejoramiento de procesos alimenticios por incidir en sus cinéticas, rendimientos o en la calidad de los productos (Ulloa et al., 2013). En este trabajo se evalúa el efecto de diferentes variables (temperatura, potencia y contenido de humedad del grano) del proceso de extracción con solvente (hexano) asistido por ultrasonido sobre el rendimiento de extracción de aceite de granos de girasol alto esteárico alto oleico.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1. Preparación de la muestra y caracterización**

Se utilizó como materia prima granos de girasol alto esteárico alto oleico aportados por la empresa Advanta Semillas SAIC, cultivado en la provincia de Buenos Aires (Argentina). El estudio se llevó a cabo a dos contenidos de humedad del grano: humedad óptima para el proceso de descascarado y a la humedad del grano secado durante tres días en estufa de circulación forzada a 40°C, este nivel de temperatura no desnaturaliza las proteínas ni altera las características del aceite.

En la industria aceitera es común efectuar un descascarado parcial de los granos previo a la etapa de extracción de aceite mediante solvente a los efectos de mejorar la performance del proceso y obtener un aceite con menores requerimientos para una posterior etapa de refinado (la remoción parcial de la cáscara reduce el contenido de ceras en el aceite crudo al mismo tiempo que disminuye el contenido de fibras en la harina residual, incrementando su contenido de proteínas). En consecuencia, el descascarado parcial posibilita obtener una mayor calidad de los productos finales de

extracción. Por tal motivo, el estudio se efectuó seleccionando el contenido de humedad óptima para el proceso de descascarado (8,3 % base seca, de Figueiredo et al., 2015).

El contenido de humedad de los granos se determinó según el método estandarizado ASAE S352.2 (secado en estufa de aire forzado durante 3 h a 130 °C, ASAE 1999). Para la determinación del contenido total de aceite se siguió el método estándar (Soxhlet, n-hexano) correspondiente a la norma IUPAC 1.122 (IUPAC 1992). Tanto las muestras tratadas como las muestras sin tratar fueron sometidas a molienda previo a la extracción del aceite con hexano. Los granos se molieron en un Molinillo de cuchillas (Moulinex, Argentina) y posteriormente la muestra se pasó a través de un tamiz ASTM N° 20.

## **2.2. Extracción de aceite mediante solvente asistida por ultrasonido**

Las corridas experimentales se llevaron a cabo con un tamaño de partícula < 840 µm, una relación solvente muestra de 1:10 (g/ml), a distintas temperaturas (25, 30, 40, 50, y 60°C) y durante 30 minutos asistida por ultrasonido. Se emplearon dos baños ultrasónicos diferentes: Cole-Parmer 8891 (42 Khz; potencia: 100W, USA) y TESTLAB Modelo TB10 TRD (40 Khz; potencia: 400W, Argentina). Transcurrido el tiempo preestablecido, se centrifugó el contenido en un equipo Thermo SCIENTIFIC, SORVALL LEGEND X1 durante 5 minutos a 14069 G. Posteriormente se filtró el contenido, la micela se recogió en un balón y el solvente se evaporó en un evaporador rotatorio R-3000 Büchi (Suiza). Para eliminar el resto de hexano, los balones se colocaron en estufa de aire forzado (Drying oven DHG-9123) a 103°C durante una hora. La cantidad de aceite obtenido se determinó gravimétricamente. Los ensayos se llevaron a cabo por triplicado. Los resultados obtenidos fueron interpretados mediante análisis de varianza y la comparación de medias se efectuó usando el test de Tukey (p 0,05) empleando el software estadístico Infostat (2004).

## **2.3. Extracción convencional de aceite mediante Soxhlet**

Se comparó el rendimiento mediante extracción convencional por Soxhlet de muestras sin pretratar con muestras tratadas 30 min con ultrasonido en las mejores condiciones operativas establecidas según inciso 2.2. La extracción se llevó a cabo a en

un equipo Soxhlet a diferentes tiempos de extracción (30, 90, 150, 210, 270, 330 y 480 min). El solvente se evaporó en un evaporador rotatorio y el hexano residual se eliminó en estufa de aire forzado a 103°C durante una hora. La cantidad de aceite obtenida se determinó gravimétricamente y se determinó el rendimiento de aceite referido a la masa de granos de girasol, expresada como porcentaje en base seca, (% , b.s.).

#### 2.4. Modelado matemático

La cinética de extracción de aceite se evaluó mediante el modelo propuesto por Duggal (Kashyap et al., 2007).

$$E = 1 - \frac{M_t}{M_\infty} = Ce^{-kt} \quad (1)$$

donde E es la fracción de aceite residual en la harina en el tiempo t de extracción, expresado como % del total de aceite;  $M_t$  y  $M_\infty$  la masa de aceite extraída en el tiempo t y tiempo infinito, respectivamente. Los valores de los parámetros k y C fueron estimados a partir de los datos experimentales de extracción de aceite mediante la utilizando el software SigmaPlot 12.0.

##### 2.4.1. Bondad de ajuste de los modelos matemáticos desarrollados

Al probar la bondad de ajuste de los modelos, se sabe que el coeficiente de correlación  $R^2$  conduce a una interpretación subjetiva de una buena estimación de la bondad de ajuste ya que no está claro si este valor es aceptable (Walpole et al., 2007). Por lo tanto, se sugiere hacer una comparación directa entre los datos experimentales y los datos simulados (Kobayashi and Salam, 2000) con el fin de analizar la aceptación o no del modelo no lineal propuesto.

Para una metodología de comparación directa se presentan la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la alternativa ( $H_1$ ) en las Ecs. (2) y (3) respectivamente.

$$H_0: x = y \quad (2)$$

$$H_1: x \neq y \quad (3)$$

donde “x” es el valor simulado e “y” es el dato experimental.

Con el fin de probar la hipótesis nula y la alternativa por comparación directa, se compara el estadístico de contraste ( $F_0$ ) con el correspondiente valor crítico ( $F_c$ ),

evaluados por medio de las Ecs. (4) y (5) respectivamente (Kobayashi and Salam, 2000).

$$F_0 = \frac{\frac{1}{q} \sum_{i=1}^q (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m (z_{ij} - y_i)^2 / [qm(m-1)]} \quad (4)$$

$$F_c = F[0,05, q, q(m-1)] \quad (5)$$

donde  $x_i$  es el valor predicho por el modelo (valor simulado),  $y_i$  es la media de  $m$  observaciones replicadas, y  $z_{ij}$  es cada observación en la medición de orden  $i$ .  $F$  es la distribución de Snedecor con  $q$  y  $q(m-1)$  grados de libertad del numerador y denominador respectivamente.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Caracterización de la materia prima

Los granos presentaron un contenido total de aceite (Norma IUPAC) de  $33,5 \pm 0,44\%$  b.s.. El contenido de humedad del grano secado (inciso 2.1) resultó ser igual a  $4,01 \pm 0,44\%$  b.s.

#### 3.2. Extracción de aceite mediante solvente asistida por ultrasonido

Para una potencia de trabajo de 100 W, el análisis estadístico de la varianza (ANOVA) permitió detectar diferencias significativas entre temperaturas ( $p < 0,0071$ ) para el rendimiento de aceite, sin embargo el contenido de humedad del grano no afectó significativamente el rendimiento de aceite, con un tiempo de extracción de 30 minutos. ( $p > 0,5182$ ). El contenido de humedad óptimo para el descascarado de granos de girasol alto esteárico alto oleico se encuentra prácticamente dentro del rango establecido para un almacenamiento seguro de granos de girasol (8-10%, Nolasco et al., 2002). Por lo tanto, industrialmente resultaría económicamente más factible el procesamiento de los mismos a un contenido de humedad cercano al 8% b.s., a fin de evitar un consumo energético adicional que implicaría una etapa de secado para alcanzar la humedad de

aproximadamente 4 % b.s. Como el contenido de humedad de los granos resultó no significativo para el rendimiento de aceite, se seleccionó, para los demás experimentos, un contenido de humedad de 8,3% b.s.

En la Tabla 1 se informan los rendimientos de aceite para la extracción asistida por ultrasonido a 100 W para las diferentes temperaturas de trabajo ensayadas, para granos con un contenido de humedad del 8,3% b.s.

**Tabla 1.** Rendimientos de extracción de aceite con ultrasonido (100W) a distintas temperaturas, de granos de girasol Alto Esteárico Alto oleico

Temperatura (°C)	Rendimiento (%, b.s.)
25	25,84 ± 0,61 <sup>ab</sup>
30	25,04 ± 0,75 <sup>a</sup>
40	27,67 ± 0,16 <sup>c</sup>
50	26,98 ± 0,03 <sup>bc</sup>
60	27,51 ± 0,08 <sup>bc</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )  
Valores promedios ± desviación estándar.

Los rendimientos de aceite obtenidos durante las extracciones efectuadas a temperaturas de 40, 50 y 60 °C resultaron significativamente superiores a las llevadas a cabo a 25 y 30°C. Un incremento en el rendimiento de aceite con el aumento de temperatura desde 25 a 40°C durante la extracción con solvente asistida por ultrasonido también fue encontrado para semillas de granada (Tian et al., 2013) y en el rango de 30-60°C durante la extracción de aceite a partir de granos de cártamo (Hu et al., 2011) y de aceite de almendra (Zhang et al., 2009). Asimismo, Hemwimol et al., (2006) observaron un aumento en la extracción de antraquinonas a partir de raíces de *Morinda citrifolia*, con el incremento de la temperatura desde 25 a 60°C. El aumento en el rendimiento de aceite se atribuye a un incremento en la solubilidad del aceite en el solvente a medida que incrementa la temperatura. Además, a mayor temperatura, la viscosidad y densidad del solvente disminuyen resultando en un incremento en la transferencia de masa (Tian et al., 2013; Hemwimol et al., 2006).

Para una potencia de trabajo de 400 W y un contenido de humedad de los granos de 8,3% b.s., no se detectó efecto significativo de la temperatura, en el rango estudiado, sobre el rendimiento de aceite (promedio:  $26,36 \pm 0,56\%$  b.s.).

La evaluación del efecto de la potencia de ultrasonido a diferentes temperaturas de extracción sobre el rendimiento de aceite, mediante un análisis estadístico de la varianza (ANOVA) no permitió detectar diferencias significativas entre potencias ( $p > 0,2590$ ), como tampoco entre temperaturas ( $p > 0,0558$ ), para el rendimiento de aceite. Sin embargo, la interacción potencia x temperatura fue estadísticamente significativa ( $p = 0,0013$ , Tabla 2).

En la Tabla 2 se puede observar que el rendimiento de aceite a una potencia de 100 W y 40°C resultó significativamente superior al correspondiente a las menores temperaturas ensayadas y, al mismo tiempo, no se diferenció de los obtenidos a mayor temperatura. Al mismo tiempo, el rendimiento alcanzado a 100 W y 40°C no difirió significativamente de aquellos obtenidos a una potencia de 400 W, para todas las temperaturas ensayadas.

**Tabla 2.** Rendimientos de extracción de aceite a distintas temperaturas para las dos potencias ensayadas.

Temperatura (°C)	Potencia (W)	
	100	400
25	$25,84 \pm 0,61^{ab}$	$26,35 \pm 0,46^{abc}$
30	$25,04 \pm 0,75^a$	$27,10 \pm 0,02^{bc}$
40	$27,67 \pm 0,16^c$	$26,37 \pm 0,05^{abc}$
50	$26,98 \pm 0,03^{bc}$	$25,91 \pm 0,49^{abc}$
60	$27,51 \pm 0,08^{bc}$	$26,09 \pm 0,84^{abc}$

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )  
Valores promedios  $\pm$  desviación estándar.

Si bien las temperaturas más elevadas favorecen la solubilidad del aceite en el disolvente de extracción, también conllevan un aumento de los costos desde el punto de vista de la industrialización. Por otra parte, mayores temperaturas pueden producir deterioro de los compuestos extraídos como también oxidación de lípidos. Consecuentemente, se selecciona una potencia de 100W y 40°C de temperatura.

Las mejores condiciones operativas para la extracción asistida por ultrasonido durante 30 minutos fueron, 100 W de potencia, un contenido de humedad de los granos de 8,3% b.s. y una temperatura del baño ultrasónico de 40°C, en base a los resultados obtenidos y a consideraciones de ahorro energético.

### **3.3. Comparación entre la extracción convencional de aceite mediante Soxhlet y extracción previa de aceite asistida por ultrasonido.**

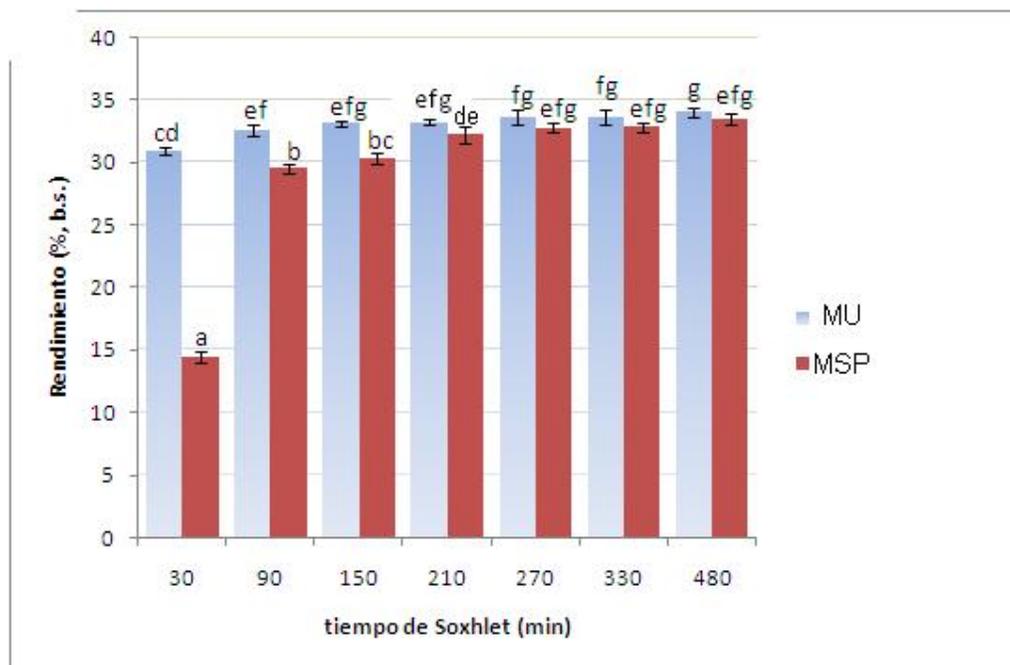
El rendimiento de aceite de granos de girasol alto esteárico alto oleico obtenido mediante extracción con solvente asistida con ultrasonido en las condiciones seleccionadas en el inciso 3.2 resultó alrededor del 17% inferior al contenido total de aceite (norma IUPAC). Por ello, se compararon los rendimientos mediante extracción convencional por Soxhlet de las muestras previamente extraídas por ultrasonido (MU) con muestras sin pre-procesar (MSP), a diferentes tiempos de extracción (30, 90, 150, 210, 270, 330 y 480 min).

El rendimiento de aceite obtenido mediante extracción asistida con ultrasonido (MU, 30 minutos, 27,67 %b.s., Tabla 2) fue significativamente superior al alcanzado con la muestra MSP por Soxhlet, al mismo tiempo de procesamiento ( $14,41 \pm 0,49$  %b.s.,  $p < 0,0001$ ).

La mejora de la eficiencia de la extracción de compuestos orgánicos por ultrasonido se atribuye tanto al fenómeno llamado cavitación acústica como a efectos mecánicos. La cavitación acústica produce la fractura de las paredes celulares en el material vegetal facilitando la penetración del solvente y permitiendo la liberación de producto intracelular. Otro efecto mecánico causado por el ultrasonido puede ser también la agitación del solvente usado para la extracción, lo cual incrementa el área superficial de contacto entre el solvente y los compuestos específicos de interés permitiendo una mayor penetración del solvente dentro de la matriz de la muestra (Zhang et al., 2008).

Analizando la extracción de aceite mediante Soxhlet para ambas muestras, en la Figura 1 puede observarse que hasta los 150 minutos el rendimiento total obtenido con MU (extracción ultrasonido + extracción Soxhlet) fue significativamente mayor que para MSP.

Cuando se analizan los resultados en muestras MSP, el rendimiento total de aceite de los granos se alcanzó a los 270 minutos de extracción ( $t_{MSP}$ ), no diferenciándose significativamente de los obtenidos a mayores tiempos. Por otra parte, la muestra con pre-extracción asistida con ultrasonido (30 minutos) no presentó diferencia significativa en el rendimiento total de aceite alcanzado a partir de los 150 minutos ( $t_{MU}$ ) de extracción mediante Soxhlet (correspondiendo a 180 minutos totales de procesamiento). Los rendimientos de aceite a  $t_{MSP}$  y  $t_{MU}$  no difirieron significativamente (Figura 1).



**Figura 1.** Rendimiento de aceite mediante extracción por Soxhlet de muestras previamente extraídas por ultrasonido (MU) y muestras sin pre-procesar (MSP). En el caso del rendimiento de aceite de MU, el valor es la suma del aceite obtenido mediante extracción por ultrasonido y extracción por Soxhlet.

Consecuentemente, la muestra de girasol alto esteárico alto oleico sometida a un procesamiento ultrasónico previo a la extracción convencional con soxhlet, en las condiciones operativas establecidas (100W, 30 minutos, 40°C, 8,3 % b.s. de contenido de humedad de los granos) alcanzó el rendimiento final de aceite 90 minutos (1,5 horas) antes que la muestra sin pre-procesar (SPM).

### 3.4. Comparación de datos experimentales y modelado.

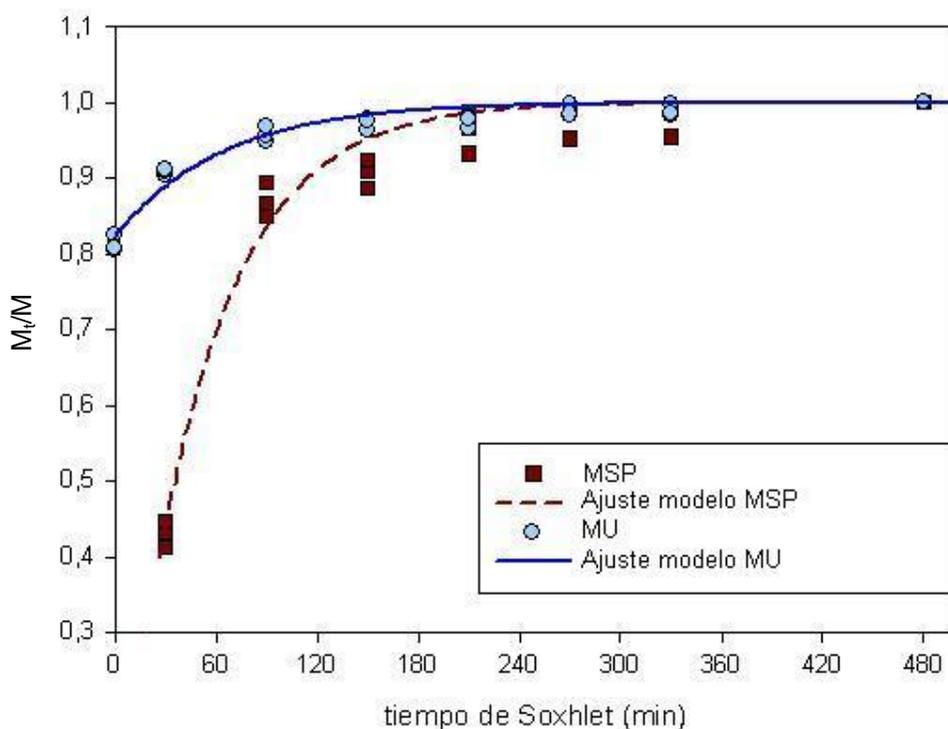
La Figura 2 muestra los datos de rendimientos de extracción de aceite relativo ( $M_t/M_\infty$ ) en función del tiempo obtenidos experimentalmente, tanto para la muestra MU como para MSP, y las correspondientes curvas de ajuste del modelo matemático. Las ecuaciones correspondientes a los modelos desarrollados para MU y MSP son, respectivamente:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - 1,043 e^{-0,021t} \quad \text{con } R^2 = 0,974;$$

$$t=0, M_0=0 \text{ \% b.s.}; t= \quad ; M_\infty = 34,05\% \text{ b.s.} \quad (6)$$

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - 0,178 e^{-0,016t} \quad \text{con } R^2 = 0,948;$$

$$t=0, M_0=27,67 \text{ \% b.s.}; t= \quad ; M_\infty = 33,5\% \text{ b.s.} \quad (7)$$



**Figura 2.** Rendimientos relativos a tiempo infinito ( $M_t/M_\infty$ ). Valores experimentales para muestras sin pre-procesar (MSP) y muestras previamente extraídas por ultrasonido (MU) y curvas de ajuste con el modelo matemático.

### 3.4.1. Bondad de ajuste de los modelos desarrollados

La bondad de ajuste de los modelos fue testeada utilizando comparación directa. Para las muestras MSP y MU se obtuvieron valores de  $F_0 = 0,0679$  y  $F_0 = 0,972$ , respectivamente. Los correspondientes valores críticos fueron  $F_c = 2,76$  y  $F_c = 2,59$  en el mismo sentido. Como  $F_0 = 0,0679 < F_c = 2,76$  y  $F_0 = 0,972 < F_c = 2,59$ , se acepta en ambos casos la hipótesis nula ( $H_0: x = y$ ) y puede afirmarse que los modelos desarrollados representan en forma adecuada la cinética de extracción de aceite de granos de girasol alto esteárico alto oleico para ambos métodos de extracción (ultrasonido+Soxhlet y sólo Soxhlet).

## 4. Conclusiones

En el presente trabajo se seleccionaron las mejores condiciones operativas (aquellas para las cuales el rendimiento resultó mayor) para la extracción de aceite asistida mediante ultrasonido durante 30 minutos de granos de girasol alto esteárico alto oleico. Teniendo en cuenta además, consideraciones de ahorro energético (menor consumo de energía para la industria), se establecieron las siguientes condiciones de trabajo: 100 W de potencia, un contenido de humedad de los granos de 8,3% b.s. y una temperatura del baño ultrasónico de 40°C. El mayor valor alcanzado para el rendimiento de aceite de granos de girasol alto esteárico alto oleico resultó alrededor del 17% inferior al contenido total de aceite en el grano, consecuentemente se comparó el rendimiento obtenido mediante extracción convencional por Soxhlet de muestras previamente extraídas durante 30 min con ultrasonido (hexano como solvente) en las mejores condiciones operativas con muestras sin pre-procesar, a diferentes tiempos de extracción.

La asistencia de ultrasonido en el proceso de extracción sólido-líquido permitió aumentar el rendimiento de aceite en un 92 % en los primeros treinta minutos de proceso, respecto al método convencional con Soxhlet. Asimismo, si bien la previa asistencia de ultrasonido al proceso extracción convencional con soxhlet no permitió aumentar el rendimiento final de aceite con respecto a la extracción sin utilización de ultrasonido, influyó considerablemente en la disminución del tiempo total del proceso de extracción.

## Reconocimientos

Este trabajo fue apoyado financieramente por la Facultad de Ingeniería (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires) y la Agencia Nacional de Ciencia y Tecnología (ANPCyT). Los autores agradecen especialmente a la empresa Advanta Semillas SAIC por proporcionar la muestra de granos.

## Referencias

- AOCS. (1997). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 5th edn., D. Firestone (ed), AOCS Press, Champaign.
- ASAE. (1999). *Standard Engineering Practices data*, 46 th edn. Publ by American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA.
- de Figueiredo, AK., Rodríguez, LM, Fernández, M, Riccobene, IC, Nolasco, SM. (2015). Loss of lipid material during the dehulling of oilseeds with different structural characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 1-10. DOI 10.1007/s13197-015-1910-4.
- Dubinsky, E. and Garcés, R. (2011). Aceite de girasol de alto esteárico alto oleico. Una grasa versátil para aplicación en alimentos. *Aceites y Grasas*, 3(84), 426-430.
- Dubinsky, E. (2008). Utilización del aceite de girasol de alto esteárico como alternativa saludable en la industria de alimentos. *Aceites y grasas*, 2(71), 352-358.
- Hemwimol, S., Pavasant, P., Shootipruk, A. (2006) Ultrasound-assisted extraction of anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Ultrasonic Sonochemistry*, 13, 543-548.
- Hu, A-J, Feng, Q-Q, Zheng, J, Hu, X-H, Wu, C, Liu, CH-Y. (2011). Kinetic Model and Technology of Ultrasound Extraction of Safflower seed Oil. *Journal of Food Process Engineering*, 1-17.
- Hu, F, Stampfer, M, Manson, J, Rimm, E, Colditz, G, Rosner, B, Hennekens, C, Willett, W. (1997). Dietary Fat Intake and the Risk of Coronary Heart Disease in Women. *New England Journal of Medicine*, 337(21):1491-9.
- Infostat. (2004). Grupo Infostat. Universidad Nacional de Córdoba: Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- IUPAC. (1992). *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives*, 7th edn., edited by C. Paquot and A. Hautfenne, International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific, Oxford.
- Kashyap, M.C., Agrawal, Y.C., Ghosh, P.K., Jayas, D.S., Sarkar, B.C., Singh, B.P.N. (2007). Oil extraction rates of enzymatically hydrolyzed soybeans. *Journal of Food Engineering*, 81, 611-617.
- Kobayashi, K., Salam, M.U. (2000). Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal* 92, 345-352.
- Korver, O and Katan, M. (2006). Elimination of Trans Fats from Spreads: How Science Helped to Turn an Industry Around. *Nutrition Reviews*, 64 (6), 275-279.
- Kris-Etherton, PM, Griel, AE, Psota, TL, Gebauer, SK, Zhang, J, Etherton, TD. (2005). Dietary Stearic Acid and Risk of Cardiovascular Disease: Intake, Sources, Digestion, and Absorption. *Lipids*, 40, 1193-1200.
- Martinez-Force, E., León, A., Garcés, R. (2007). Nuevos aceites de girasol: el futuro para una industria alimentaria más saludable, *Aceites y Grasas*. 2(67), 268-273.

- Mozaffarian, D, Katan, M, Ascherio, A, Stampfer, M, Willet, W. (2006). Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *New England Journal of Medicine*, 354 (15), 1601-1613.
- Nolasco, S.M., Rodríguez, J.C., Bartosik, R.E., 2002. Manejo en poscosecha. In: Diaz Zorita, M., Duarte, Y.G. (Eds.), *Manual Práctico del cultivo de girasol*. Hemisferio Sur S.A., Buenos Aires, Argentina, pp. 241–252.
- Valenzuela, A., Delplanque, B., Tavella, M. (2008). El ácido esteárico: Un posible sustituto nutricional de los ácidos grasos trans. *Aceites y Grasas*, 2(71), 286-292.
- Tian, Y., Xu, Z., Zheng, B., Lo, M. (2013). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum L.*) seed oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 202–208.
- Ulloa J., Ulloa P., Ramírez Ramírez J., Ulloa Rangel B. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Nueva época*, Año 4(14), 1-12.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., Ye, K. (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*, eighth ed., Pearson Ed., 408.
- Zhang, Z.-S., Wang, L.-J., Li, D., Jiao, S.-S., Chen, X.D., Mao, Z.-H. (2008). Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed Separation and Purification Technology, 62, 192-198.
- Zhang, Q-A, Zhang, Z-Q, Yue, X-F, Fan, X-H, Li, T, Chen, S-F. (2009). Response surface optimization of ultrasound-assisted oil extraction from autoclaved almond powder. *Food Chemistry*, 116, 513–518.