



INVESTIGACIONES Y
AVANCES EN
INGENIERÍA DE LOS
ALIMENTOS

EXTRACCIÓN POR PRENSADO DE ACEITE DE NUEZ: OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS Y ESCALADO INDUSTRIAL

Martínez M.L.¹, Minniti A.C.², Viglione Lara M.², Maestri D.M.¹

¹ Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV – CONICET), Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA – FCEfYN – UNC).

² Estudiantes de la carrera de Ingeniería Química – FCEfYN – UNC.

Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

marcelamartinez78@hotmail.com, mmartinez@efn.uncor.edu

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar las condiciones de extracción del aceite por prensado en frío para realizar una aproximación al escalado del proceso a nivel industrial. Se utilizaron dos prensas de tornillo (escala piloto e industrial). En base a experiencias realizadas a escala piloto y utilizando un diseño experimental de superficie de respuesta, se seleccionaron las variables contenido de humedad del material (5,5; 7,75; 10)% y diámetro de reducción (10, 12 y 14) mm para el proceso a escala industrial. La temperatura y velocidad de prensado se mantuvieron en 50 °C y (18 – 20) rpm respectivamente. Se evaluaron parámetros de rendimiento (rendimiento de extracción, cantidad de sólidos en el extracto) y de calidad química del aceite (índice de acidez y peróxidos, coeficientes de extinción (K_{232} , K_{270}) y

estabilidad oxidativa). Los rendimientos máximos de extracción a escala piloto e industrial fueron 89,3% (humedad 7,5%, reducción 5 mm) y 77,5% (humedad 7,21%, reducción de 10 mm) respectivamente. Las condiciones de extracción resultaron compatibles con la obtención de aceites de buena calidad química. Las extracciones realizadas indican que, independientemente de la escala del proceso, el nivel de hidratación del material resulta un factor fundamental para lograr la máxima recuperación de aceite.

Palabras clave: Aceite de nuez, Prensado en frío, Optimización, Calidad química, Rendimiento.

ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the walnut oil extraction process by cold pressing in order to make an approach to industrial scale process. In pilot scale pressing experiments, a factorial arrangement was conducted in order to study the combined effects of seed moisture content (2.5, 4.5 and 7.5) % and pressing temperature (25, 50 and 70) °C on oil recovery and quality parameters. A 3^2 factorial experimental design was used to study the optimization process by response surface analysis for the industrial scale process. The independent variables considered were seed moisture content (5.5, 7.5, 10) % and restriction die (10, 12 y 14) mm. Screw press speed and barrel temperature were maintained at 20 rpm and 50 °C, respectively. The parameters evaluated were: oil yield, fines content in oil and oil quality. At pilot scale, highest oil recovery (89.3 % oil) was obtained at 7.5 % moisture content, 50 °C and 5 mm restriction die. At industrial scale, the optimal extraction conditions (77.5 % oil) were achieved with 7.21 % moisture content and 10 mm

restriction die. Regardless of the scale process the seed moisture content is the most important factor to maximized oil recovery.

Key words: Walnut Oil, Cold Pressing, Optimization, Chemical Quality, Yield.

INTRODUCCIÓN

El nogal (*Juglans regia* L.) pertenece a la familia *Juglandaceae*, orden Juglandales. Es una especie originaria de Asia central, de la región geográfica comprendida entre los Cárpatos y Afganistán, sur de Rusia y norte de India (Fernández-López *et al.*, 2000).

En Argentina y en la última década, el cultivo de nogal ha experimentado un crecimiento sostenido (aproximadamente del 22 %), principalmente en las provincias de Catamarca y La Rioja que aportan, en forma conjunta, cerca del 68 % de la producción nacional de nuez.

La nuez reúne la doble condición de ser un alimento rico tanto en energía como en proteínas de alta calidad. La semilla del nogal – que representa aproximadamente un tercio del peso del fruto entero – contiene entre un 63 y un 70 % de aceite. El mismo está compuesto fundamentalmente por triglicéridos y una pequeña proporción de ácidos grasos libres, fosfolípidos, material insaponificable y vitaminas liposolubles (Demir y Çetin 1999; Tsamouris *et al.*, 2002; Amaral *et al.*, 2003, 2004; Crews *et al.*, 2005; Ozkan y Koyuncu, 2005; Li *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2008). Los ácidos grasos poliinsaturados representan entre el 65 y 75 %, los monoinsaturados entre el 15 y 25 %, mientras que los ácidos saturados no superan el 10 % del total de los ácidos grasos presentes en el aceite. Dos ácidos grasos poliinsaturados esenciales, linoleico y linolénico, están presentes en cantidades relativamente altas: 50 – 58 % y 11 – 19 %, respectivamente. Los ácidos monoinsaturados están representados casi exclusivamente por el oleico.

En Argentina, la producción de aceites comestibles ha mostrado en los últimos años un crecimiento sostenido y en la actualidad es una actividad económica de gran relevancia. Dentro de este gran rubro, la elaboración de aceites no tradicionales, como los de nuez, almendra o avellana, ofrece una oportunidad a ser explotada. Uno de los principales problemas para la producción del aceite de nuez radica en encontrar el método de extracción adecuado. Los rendimientos de extracción y la calidad del aceite obtenido son de suma importancia para determinar la viabilidad de su producción comercial.

En los últimos años, se ha intensificado el interés por la obtención de aceites a través de tecnologías de prensado. En el caso de la obtención de aceites vegetales no tradicionales, el prensado, tanto mediante prensa hidráulica como de tornillo, provee un método sencillo para obtener aceites de pequeños lotes de semillas (Wiesenborn *et al.*, 2001; Singh *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003; Martinez *et al.*, 2014, 2013, 2012, 2008). A pesar que los rendimientos en aceite obtenidos mediante esta tecnología son menores que en la extracción por solvente, resulta apropiado para materiales con alto contenido en aceite, requiere instalaciones menos costosas e implica operaciones más seguras y de menor riesgo para el ambiente. El rendimiento en la extracción por prensa de tornillo depende de varios factores, entre ellos, el acondicionamiento del material, que consiste en una serie de operaciones como la limpieza, molienda, calentamiento, secado o humedecimiento hasta alcanzar el contenido de humedad óptimo (Singh y Bargale, 1990; Fils, 2000; Singh y Bargale, 2000; Wiesenborn, 2001; Singh *et al.*, 2002). La aplicación de un tratamiento térmico antes o durante el prensado generalmente mejora la extracción del aceite ya que

influye sobre la viscosidad del fluido y la resistencia mecánica de las partículas (Ward, 1976).

Singh y Bargale (2000), desarrollaron un expeller de dos etapas, en el cual analizaron la influencia de la humedad del material y de la temperatura de prensado sobre la cantidad de aceite extraído, relacionando estos parámetros con el tiempo de prensado y la energía consumida. En concordancia con Singh *et al.* (2002) y Zheng *et al.* (2003), concluyeron que existe un porcentaje de humedad óptimo para lograr la máxima extracción de aceite. Asimismo, observaron que la energía consumida disminuye al aumentar el contenido de humedad, lo cual fue atribuido a una reducción del coeficiente de fricción por efecto de una mayor plasticidad del material.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue optimizar las condiciones de extracción del aceite de nuez por prensado en frío con vistas a realizar una aproximación al escalado del proceso a nivel industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se trabajó con nueces de la variedad Franquette (contenido de aceite del 74 % (p/p) (Soxhlet, base seca) y humedad inicial del 4 % (p/p) y nueces producto del descarte de la industria confitera (contenido de aceite del 69 % (p/p) (Soxhlet, base seca) y humedad inicial del 3,2% (p/p)), a escala piloto e industrial, respectivamente.

Acondicionamiento de la humedad

La humidificación se llevó a cabo según la metodología propuesta por Singh y Bargale (2000). El agua se agregó a la muestra (material molido) mediante aspersión. Luego se colocó en un recipiente metálico con cierre hermético y se

almacenó durante 48 h hasta alcanzar el equilibrio. El recipiente fue sometido a agitación, a intervalos regulares de tiempo, para asegurar una distribución uniforme de la humedad en el material. Mientras que, para reducir el contenido de humedad del material, las muestras se colocaron en estufa de vacío a 25 °C. Antes de ingresar a la prensa, se determinó el contenido de humedad de cada muestra.

Condiciones de extracción del aceite de nuez

Prensa de tornillo escala piloto (Komet, Modelo CA 59 G).

Se llevó a cabo un diseño experimental compuesto por dos factores: temperatura de extracción (25, 50 y 70)°C y humedad del material (2 - 3, 4 - 5 y 7 - 8 %). El tamaño de partícula (2,4 - 4,8 mm). La velocidad de prensado (20 rpm) y el diámetro de boquilla (5 mm) se establecieron en función de ensayos preliminares. El ajuste de la temperatura de prensado del material se realizó mediante calentamiento en estufa. La temperatura del barral se ajustó a cada una de las temperaturas de trabajo mediante una camisa termostatazada en forma de anillo que envolvía al mismo. Cada ensayo (combinación contenido de humedad del material x temperatura de prensado) se realizó por triplicado.

Prensa de tornillo escala industrial (Doble husillo modelo DD 85)

Se llevó a cabo un diseño experimental factorial aleatorizado compuesto de 3 niveles y 2 factores (3^2). Las variables de proceso estudiadas fueron: humedad del material (5,5; 7,5; 10) % y diámetro de la reducción (10, 12 y 14) mm. El tamaño de partícula (2,4 - 4,8 mm). La temperatura de extracción y la

velocidad de prensado, se mantuvieron en 50 °C y 20 rpm, respectivamente. La temperatura del barril se ajustó a cada una de las temperaturas de trabajo mediante una camisa termostatazada en forma de anillo que envolvía al mismo.

En ambos casos, la purificación (eliminación de sólidos) se realizó mediante filtro prensa.

El esquema de ambas prensas está representado en la **Figura 1**.

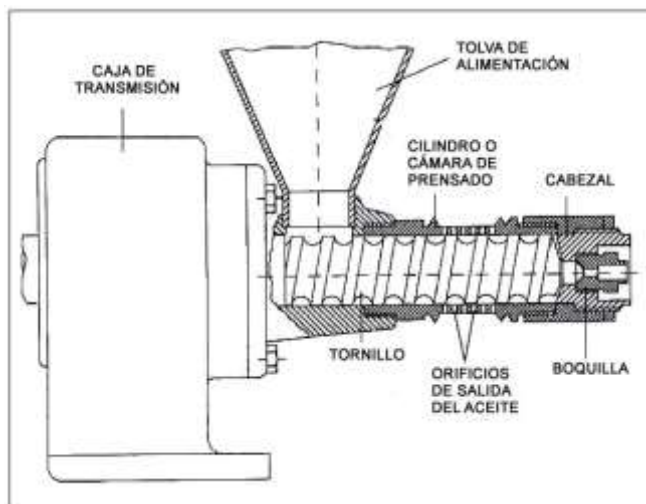


Figura 1: Esquema de la prensa de tornillo helicoidal utilizada para la extracción del aceite.

Cantidad total de aceite extraído (% AE)

Se calculó en base al contenido inicial de aceite en el material de partida (X_i) y al contenido de aceite residual en la torta (X_f). Los mismos se determinaron según el método oficial AOCS Ba 3-38 (AOCS, 2009).

$$AE = \left[\frac{x_i - x_f}{x_i} \right] \times 100$$

Cantidad de sólidos en el extracto (%SE)

Los aceites obtenidos del prensado se centrifugaron a 13000 rpm por 15 min. Los sólidos precipitados fueron recuperados, lavados con hexano, secados y pesados en balanza analítica (sensibilidad 0.1 mg). El porcentaje de sólidos en el aceite se calculó por diferencia de pesada.

Calidad de los aceites obtenidos

A cada una de las muestras de aceite obtenidos se les determinó los índices generales de calidad en lo relativo al grado de acidez, índice de peróxidos, coeficientes de extinción específica (k232 y k270) (AOCS, 2009). El tiempo de inducción (h) de los aceites se determinó mediante el método Rancimat (caudal de aire 20 L/h, temperatura 110 °C) (Frankel, 2005).

Análisis estadístico de los resultados

A escala piloto la base informática utilizada fue el programa INFOSTAT versión 2009p. Se realizó análisis de la varianza (ANOVA). En aquellos casos en donde se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), se utilizó

un test a posteriori de comparaciones múltiples (LSD). Mientras que a escala industrial, el análisis de las variables de interés se realizó con la metodología de superficie de respuesta utilizando el programa STATGRAPHICS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción Escala Piloto

En la **Tabla 1**, **Figura 2** y **Figura 3** se muestran los porcentajes de aceite extraído (%AE) en las diferentes condiciones de humedad y temperatura. El %AE se incrementó al aumentar el contenido de humedad de la semilla. El ANAVA a dos vías indicó que la humedad del material fue la principal fuente de variabilidad para este parámetro, mientras que la temperatura no fue significativa. La extracción a 50°C y 7,5% de humedad arrojó el porcentaje más alto de AE (89,3 % respecto del total de aceite disponible). Bajo estas condiciones de humedad, un incremento en la temperatura de 50 a 70°C produjo una disminución significativa en AE. Se observó un excesivo endurecimiento del material a la salida de la prensa, producto del calentamiento, la aglutinación y compactación en el interior del dispositivo de prensado, lo que daría origen a una matriz menos porosa y a una menor fluidificación del aceite. A medida que aumentó el % AE se produjo la consecuente disminución del % aceite residual (AR) en la torta; por lo tanto, la extracción a 50 °C y 7,5 % de humedad fue la que arrojó el porcentaje más bajo de AR (10,6 % respecto del total de aceite disponible).

Tabla 1: Efecto de distintos tratamientos sobre los rendimientos de prensado y parámetros de calidad del aceite de nuez a escala piloto.

Parámetros	Tratamientos [contenido de humedad (%) – temperatura de prensado (°C)]								
	2,5% 25°C	2,5% 50°C	2,5% 70°C	4,5% 25°C	4,5% 50°C	4,5% 70°C	7,5% 25°C	7,5% 50°C	7,5% 70°C
AE	61,0 ^a ± 3,9	64,7 ^b ± ±0,5	65,4 ^b ± 1,4	73,0 ^d ± ±2,1	68,7 ^c ± 2,4	87,8 ^g ± ±0,3	83,5 ^f ± 0,2	89,3 ^g ± 0,6	78,3 ^e ± 0,5
AR	389 ^g ± 3,9	35,2 ^f ± 0,5	34,5 ^f ± 1,4	26,9 ^d ± ±2,1	31,2 ^e ± 2,4	12,1 ^a ± 0,3	16,4 ^b ± ±0,2	10,6 ^a ± 0,6	21,6 ^c ± 0,5
SE	13,9 ^e ± 1,2	16,8 ^f ± 1,4	16,7 ^f ± 0,6	13,1 ^e ± ±1,2	11,4 ^d ± 1,00	7,88 ^b ± ±0,5	9,65 ^c ± 1,2	7,87 ^b ± 0,5	5,74 ^a ± 0,2
GA	0,07 ^a ± 0,01	0,07 ^a ± 0,01	0,14 ^d ± 0,01	0,07 ^a ± ±0,01	0,09 ^{bc} ± ±0,01	0,31 ^e ± 0,01	0,09 ^c ± 0,01	0,10 ^c ± 0,01	0,46 ^f ± 0,01
k ₂₃₂	1,02 ^b ± 0,01	1,07 ^d ± ±0,01	1,17 ^e ± 0,02	0,99 ^a ± ±0,01	1,05 ^c ± 0,01	1,17 ^e ± 0,01	1,02 ^b ± ±0,02	1,03 ^{bc} ± ±0,02	1,17 ^e ± 0,01
k ₂₇₀	0,09 ^d ± 0,01	0,09 ^d ± ±0,01	0,09 ^d ± 0,01	0,06 ^a ± ±0,01	0,08 ^{cd} ± ±0,01	0,09 ^d ± ±0,01	0,06 ^a ± 0,01	0,07 ^{bc} ± ±0,01	0,08 ^{cd} ± ±0,01
TI	3,2 ^{bcd} ± ±0,04	3,3 ^{cd} ± 0,06	3,1 ^{abc} ± ±0,04	3,2 ^{bcd} ± ±0,2	3,3 ^{cd} ± 0,14	2,9 ^a ± 0,01	3,3 ^{cd} ± 0,11	3,2 ^{bcd} ± 0,07	3,0 ^{ab} ± 0,09

Abreviaturas y unidades: AE, aceite extraído (%); AR, aceite residual (%); SE, sólidos en el extracto (%); GA, grado de acidez (% ácido oleico); TI, tiempo de inducción (h). Valores medios (n = 3) ± desvío estándar. Valores medios para cada parámetro seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos.

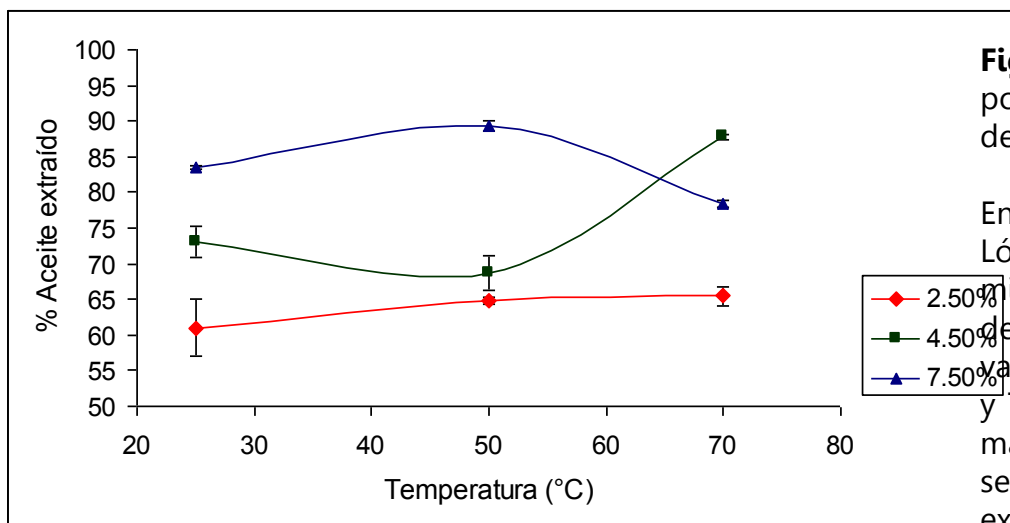


Figura 2: Relación entre el porcentaje de aceite extraído y la temperatura de prensado a diferentes contenidos de humedad.

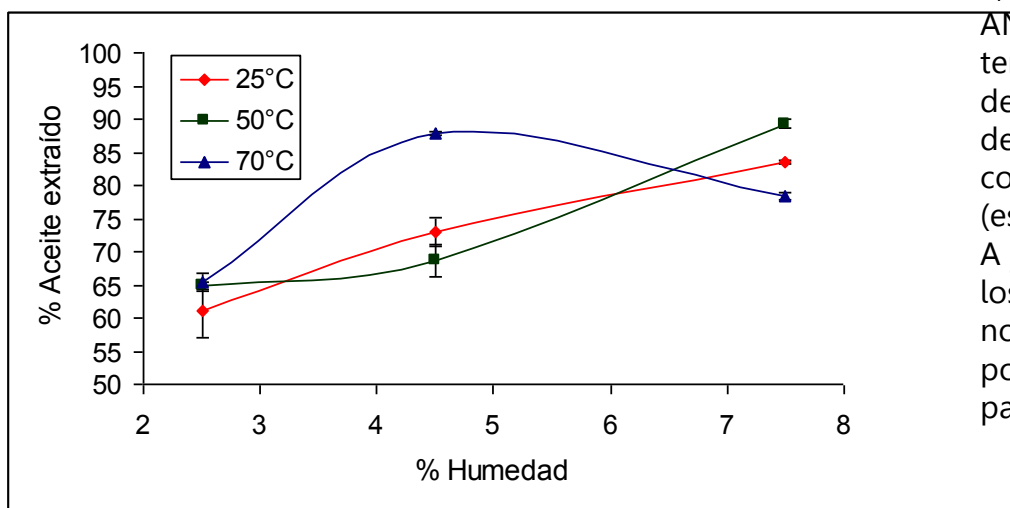


Figura 3: Relación entre el porcentaje de aceite extraído y el porcentaje de humedad del material a diferentes temperaturas de prensado.

En relación al contenido de sólidos (SE) en el extracto, Vargas-López *et al*, (1999) y Singh *et al*, (2002) han observado que el mismo se incrementa al disminuir el contenido de humedad del material (semillas de Crambe). En el presente estudio, SE varió entre 5,7 y 16,8 %. El menor valor fue obtenido a 7,5 % H y 70 °C. Bajo estas condiciones, la torta de prensado se torna más compacta provocando que una menor cantidad de sedimentos atraviesen los orificios del barral y sean co-extraídos con el aceite.

Los aceites obtenidos mediante los distintos tratamientos mostraron variaciones significativas para todos los parámetros químicos evaluados (tabla 1). Se observaron incrementos en valores de acidez (0,08 a 0,30 % ácido oleico) y k_{232} (1,01 a 1,17), con el aumento de la temperatura de prensado. El ANAVA a dos vías permitió confirmar estas tendencias: la temperatura del proceso de extracción fue la principal fuente de variabilidad para los parámetros mencionados. Se detectaron diferencias menores entre los tratamientos en el contenido de trienos conjugados y tiempos de inducción (estabilidad oxidativa).

A juzgar por los resultados obtenidos en el presente trabajo, los aceites de nuez obtenidos por prensado a 25, 50 y 70 °C no presentan mayores diferencias en su composición química por lo que, en principio, esta metodología resulta asequible para la extracción de aceites de buena calidad.

Extracción a escala industrial

En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de aceite extraído (%AE) para cada ensayo realizado. El máximo porcentaje obtenido fue de 80,4% para la combinación 7,75% humedad y reducción de 10 mm. Como se observa en la Figura 4, el %AE aumenta al aumentar el contenido de humedad en la semilla hasta un determinado punto, presentando un máximo y luego una disminución en el %AE. Esto puede deberse a que el incremento en el contenido de humedad de la semilla aumenta la plasticidad de la matriz, lo cual mejora los rendimientos extracción hasta un cierto valor de humedad a partir del cual se dificulta el prensado por efectos de empaste y obstrucción de la prensa. Las reducciones más pequeñas generan mayor resistencia y compresión al material, incrementado el % AE. En todos los casos se obtuvieron aceites de calidad química aceptable ya que los parámetros están dentro de los valores aceptables: GA < 0,17 (% ácido oleico), IP < 1 meq de O₂/kg aceite, k₂₃₂ < 2,10, k₂₇₀ < 0,18.

Tabla 2: Efecto de distintos tratamientos sobre los rendimientos de prensado y parámetros de calidad del aceite de nuez a escala industrial.

Tratamientos		Parámetros							
H	B	AE	AR	F	Caudal	IP	IA	k ₂₃₂	k ₂₇₀
7,75	12	62,16	47,84	15,13	0,10	1,090	0,070	2,074	0,174
7,75	10	80,39	29,31	11,52	0,06	0,918	0,073	2,233	0,190
7,75	12	60,37	45,31	16,46	0,12	0,750	0,068	2,086	0,189
7,75	12	63,35	44,79	15,06	0,11	0,849	0,067	2,041	0,176
10	12	60,58	48,00	13,89	0,10	1,042	0,065	2,124	0,179
5,5	10	73,29	40,16	13,06	0,09	0,809	0,059	2,128	0,174
10	10	68,63	40,90	12,81	0,09	1,137	0,081	2,111	0,173

5,5	12	56,30	51,94	14,71	0,17	0,653	0,103	1,947	0,159
7,75	12	63,35	44,79	15,06	0,10	0,849	0,067	2,041	0,176
7,75	14	63,02	46,06	14,16	0,09	0,927	0,166	1,978	0,154
7,75	12	63,35	44,79	15,06	0,10	0,849	0,067	2,041	0,176
10	14	67,76	40,86	13,13	0,06	1,086	0,069	2,100	0,175
5,5	14	55,57	52,64	15,14	0,09	0,936	0,124	1,935	0,164

Abreviaturas y unidades: H, humedad (%); B, diámetro de reducción (mm); AE, aceite extraído (%); AR, aceite residual (%); SE, sólidos en el extracto (%); caudal (kg/h); IP, índice de peróxidos (meq de O₂/kg de aceite); GA, grado de acidez (% ácido oleico).

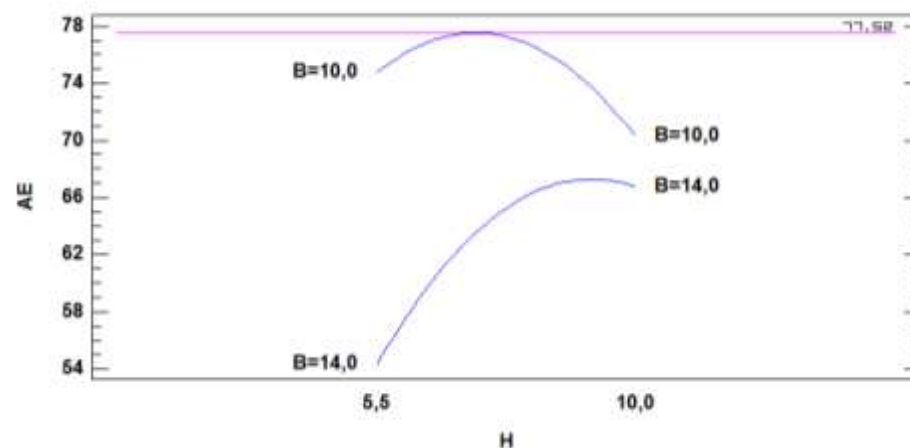


Figura 4: Rendimientos en función del porcentaje de humedad a diámetro de reducción constante.

El análisis estadístico mostró que la humedad de la semilla y la reducción (boquilla) afectaron significativamente el rendimiento de aceite extraído ($p < 0,05$).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$AE = 430,864 + 4,06433 \cdot H - 61,5551 \cdot B - 0,930554 \cdot H^2 + 0,936222 \cdot H \cdot B + 2,13764 \cdot B^2$$

El coeficiente de determinación del modelo fue capaz de explicar 94,5 % de la variabilidad de los datos. La humedad de la semilla y la reducción tuvieron un efecto lineal positivo y negativo, respectivamente. Por otro lado, ambos factores presentaron un efecto cuadrático negativo y positivo, respectivamente. A su vez, se observó un efecto cruzado positivo entre humedad y reducción.

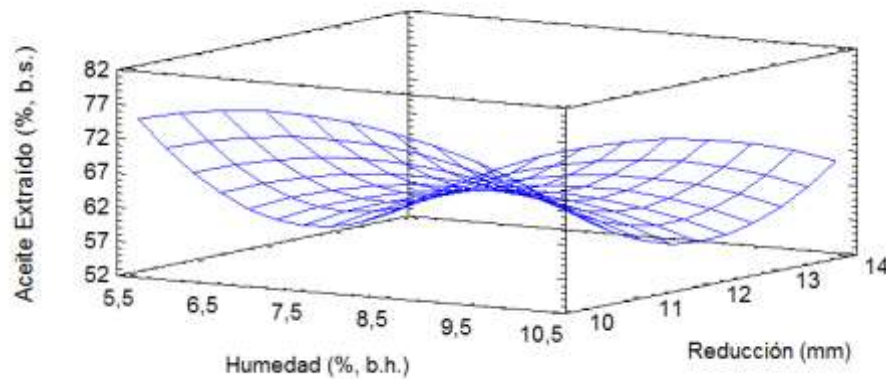


Figura 5: Efectos del contenido de humedad y la reducción sobre el rendimiento de aceite.

La combinación de niveles de los factores que sugiere un máximo en el rendimiento de aceite dentro de los valores

experimentales fue: 7,75 % humedad de la semilla y 10 mm de reducción de la prensa. Esta combinación de factores se llevó a cabo siguiendo los procedimientos mencionados. Los resultados mostraron que no se encontraron diferencias significativas entre el valor estimado por el modelo (77,5 % AE) y el valor experimental observado (80,4 %AE) lo cual sugiere un buen ajuste del modelo a los datos experimentales.

CONCLUSIONES

La pulpa de nuez por sus cualidades físicas (tamaño y dureza) constituye un material apropiado para la extracción del aceite por prensado, pero debe ser acondicionado previamente para lograr condiciones (tamaño de partícula, contenido de humedad, temperatura) adecuadas que permitan optimizar el proceso, en términos de rendimiento y calidad del producto

Las experiencias de extracción por prensado a escala piloto permitieron determinar un rango de tamaño de partícula (2,4 – 4,8 mm) óptimo para la alimentación de la prensa. Los tratamientos (contenido de humedad x temperatura) aplicados a la extracción de este material, indicaron que el contenido de agua resulta un factor fundamental para lograr la máxima recuperación de aceite, lográndose rendimientos de casi el 90 % con materiales conteniendo 7,5 % de humedad, extraídos a 50 °C. La influencia de la temperatura es de menor significación. Sin embargo, con el contenido de humedad indicado anteriormente, un aumento de la temperatura de 50 a 70 °C provoca una merma en el rendimiento como consecuencia de la aglutinación y compactación del material en el interior del dispositivo de prensado, lo que daría origen a una matriz menos porosa y a una menor fluidificación del aceite.

El diseño factorial aleatorizado de 3 niveles y 2 factores (3^2) permitió determinar la combinación adecuada de variables para la optimización del proceso de extracción de aceite de

nuez a escala industrial. Los mayores rendimientos de extracción se obtuvieron bajo las siguientes condiciones de proceso: 7,21 % de humedad, 50 °C y 10 mm de reducción de la prensa.

Las experiencias de extracción realizadas indican que, independientemente de la escala del proceso, el nivel de hidratación del material resulta un factor fundamental para lograr la máxima recuperación de aceite.

Finalmente, bajo todas las condiciones extractivas analizadas se obtuvieron aceites cuya composición química resultó dentro de los rangos habituales encontrados en aceites vegetales comestibles.

BIBLIOGRAFÍA

Amaral JS, Casal S, Pereira JA, Seabra RM, Oliveira BPP, 2003, Determination of sterol and fatty acid compositions, oxidative stability, and nutritional value of six walnut (*Juglans regia* L.) cultivars grown in Portugal, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7698-7702.

Amaral JS, Cunha SC, Alves MR, Pereira JA, Seabra RM, Oliveira BPP, 2004, Triacylglycerol composition of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars: Characterization by HPLC-ELSD and chemometrics, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 7964-7969.

AOCS 2009, Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, Ed, AOCS Press, Champaign, USA.

- Crews C, Hough P, Godward P, Brereton P, Lees M, Guiet S, Winkelmann W, 2005, Study of the main constituents of some authentic walnut oils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4853-4860.
- Demir C, Cetin M, 1999, Determination of tocopherols, fatty acids and oxidative stability of pecan, walnut and sunflower oils, *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 95 (7): 278-282.
- Fernández-López J, Aleta N, Alía R, 2000, Forest genetic resources conservation of *Juglans regia* L, IPGRI, Rome, Italy.
- Fils JM, 2000, The production of oils, En: *Edible oil processing* (Hamm, W,, Hamilton, R,J,, Eds,), Sheffield Academic Press, Sheffield, England, pp, 47-78.
- Frankel EN, 2005, *Lipid oxidation*, Ed, Barnes & Associates, Bridgwater, England.
- Li L, Tsao R, Yang R, Kramer JKG, Hernández M, 2007, Fatty acid profiles, tocopherol contents, and antioxidant activities of hearnut (*Juglans ailanthifolia* var, *cordiformis*) and Persian walnut (*Juglans regia* L,), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 1164-1169.
- Martínez ML, Penci MC, Marin MA, Ribotta PD, Maestri DM, 2013, Screw press extraction of almond (*Prunus dulcis* (Miller) D,A, Webb): Oil recovery and oxidative stability, *Journal of Food Engineering*, 119: 40-45.
- Martinez ML, Mattea MA, Maestri DM, 2008, Pressing and supercritical carbon dioxide extraction of walnut oil, *Journal of Food Engineering*, 88: 399-404.
- Martínez ML, Marín MA, Salgado Faller CM, Revol J, Penci MC, Ribotta PD, 2012, Chia (*Salvia hispanica* L,) oil extraction: study of processing parameters, *Food Science and Technology*, 47: 78-82.
- Martinez ML, Maestri DM, 2014, Extracción y caracterización de aceite de nuez (*Juglans regia* L,): influencia del cultivar y de factores tecnológicos sobre su composición y estabilidad oxidativa, ISBN-13: 978-3-639-55745-9, Editorial Publicia.
- Ozkan G, Koyuncu MA, 2005, Physical and chemical composition of some walnut (*Juglans regia* L,) genotypes grown in Turkey, *Grasas y Aceites*, 56 (2): 141-146.
- Pereira JA, Oliveira I, Sousa A, Ferreira ICFR, Bento A, Estevinho L, 2008, Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Juglans regia* L,) cultivars, *Food and Chemical Toxicology*, 46: 2103-2111.
- Singh J, Bargale PC, 1990, Mechanical expression of oil from linseed, *Journal of Oilseeds Research*, 7: 106-110.
- Singh J, Bargale PC, 2000, Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression, *Journal of Food Engineering*, 43 (2): 75-82.
- Singh KK, Wiesenborn DP, Tostenson K, Kangas N, 2002, Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 79 (2): 165-170.
- Tsamouris G, Hatziantoniou S, Demetzos C, 2002, Lipid analysis of Greek walnut oil (*Juglans regia* L,), *Z, Naturforsch*, 57: 51-56.
- Vargas-Lopez JM, Wiesenborn D, Tostenson K, Cihacek L, 1999, Processing of crambe for oil and isolation of erucic acid, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 76: 801-809.
- Ward JA, 1976, Processing high oil content seeds in continuous press, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 53: 261-264.
- Wiesenborn D, Doddapaneni R, Tostenson K, Kangas N, 2001, Cooking indices to predict screw-press performance for crambe seed, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 78 (5): 467-471.

Zheng Y, Wiesenborn DP, Tostenson K, Kangas N, 2003, Screw pressing of whole and dehulled flaxseed for organic oil, Journal of the American Oil Chemist's Society, 80 (10): 1039-1045.

AGRADECIMIENTOS

Este desarrollo pudo llevarse a cabo gracias a los subsidios otorgados por SECyT-UNC, CONICET, Ministerio de Educación-Secretaría de Políticas Universitarias y a las empresas Aceites del Desierto SRL y Proser SRL.