

## OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA UTILIZANDO CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

Osmar Morillo<sup>1</sup>, Solymar Fernández<sup>2</sup>, Helis Hernández<sup>1</sup>, Gilda Castillo<sup>3</sup> y Germania Marquina<sup>4</sup>

### RESUMEN

Los aceites y grasas son componentes esenciales de la dieta humana, ya que contienen ácidos grasos y vitaminas que son indispensables para el crecimiento y la salud de los seres humanos. El aceite de palma, que se obtiene del pericarpio del fruto de la palma africana (*Elaeis guineensis*), específicamente del mesocarpio, contiene entre 45 y 55 % de grasa. La extracción de este aceite por fluido supercrítico ha demostrado que CO<sub>2</sub> supercrítico ofrece la posibilidad de desarrollar un proceso completo para la extracción y purificación, evitando el uso de solventes orgánicos, además de producir el aceite de alta calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes condiciones de flujo, presión y temperatura para optimizar la extracción de aceite de palma africana utilizando CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas, a través de la aplicación de un diseño central compuesto y superficie de respuesta. Se obtuvo que el mayor rendimiento ocurrió con un flujo de CO<sub>2</sub> de 4,2 L·min<sup>-1</sup> y presión de 30 MPa a temperatura de 50°C. Bajo estas condiciones y en un tiempo de 5 h, se logró extraer el máximo rendimiento de 88,1 % de aceite del mesocarpio del fruto.

**Palabras clave adicionales:** *Elaeis guineensis*, fluido supercrítico, superficie de respuesta, grasas

### ABSTRACT

#### Parameters of extraction of African palm oil using supercritical CO<sub>2</sub>

Fats and oils are essential components of the human diet because they contain fatty acids and vitamins that are essential for growth and human beings health. Palm oil, obtained from the fruit pericarp of palm (*Elaeis guineensis*), specifically the mesocarp, contains 45-55 % fat. The palm oil extraction by supercritical fluid has shown that supercritical CO<sub>2</sub> offers the opportunity to develop a complete process for extraction and purification, avoiding the use of organic solvents, in addition to producing high quality oil. The aim of this study was to evaluate various flow conditions, pressure, and temperature to optimize the extraction of palm oil using CO<sub>2</sub> in supercritical conditions, by applying a central composite design and a response surface. It was found the highest yield occurred with a CO<sub>2</sub> flow of 4.2 L·min<sup>-1</sup> and a 30 MPa pressure at 50°C. Under these conditions and a time of 5 h, it was possible to extract a maximum oil yield of 88.1 % from the fruit mesocarp.

**Additional key words:** *Elaeis guineensis*, supercritical fluid, response surface, fats

### INTRODUCCIÓN

Los aceites y grasas son componentes esenciales de la dieta humana, ya que contienen ácidos grasos y vitaminas que son indispensables para el crecimiento y la salud de los seres humanos. Además, la textura, el sabor, el aspecto y otras características organolépticas de muchos

alimentos mejoran cuando se les agrega grasa o son cocinados en aceites. En Venezuela, existen diferentes tipos de aceites, cuyos componentes como el maíz, soya, ajonjolí, girasol y mezclas de oleaginosas como la palma, se obtienen mediante complejos procesos de extracción y refinación (Morillo, 2005). El aceite de palma se obtiene del pericarpio del fruto de la palma africana (*Elaeis*

Recibido: Febrero 26, 2009

Aceptado: Febrero 22, 2010

<sup>1</sup> Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). Apdo. 100. San Felipe. Venezuela. e-mail: osmarm@ciepe.gob.ve ; hhernandez@ciepe.gob.ve

<sup>2</sup> Universidad Nacional Experimental del Táchira. Apdo. 02 San Cristóbal, Venezuela. e-mail: sfernand@unet.edu.ve.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Experimental Politécnico "Antonio José de Sucre". Apdo. 3001. Barquisimeto, Venezuela e-mail: apubp@unexpo.edu.ve

<sup>4</sup> Universidad de Carabobo, Apdo. 2002. Valencia, Venezuela. e-mail: karlchidsey@cantv.net

*guineensis*), específicamente del mesocarpio (Sundram, 2000); el mismo contiene entre 45-55% de grasa, constituida por 39-52 % de ácido oleico, 32-45 % de ácido palmítico, 5-11 % de ácido linoleico, 2-6 % de ácido esteárico y 1-6 % de ácido mirístico, además es también una fuente rica de carotenoides, particularmente  $\beta$ -caroteno (Baryeh, 2001).

Para la extracción del aceite de palma, se emplea principalmente la extracción mecánica a alta presión usando una prensa de tornillo (Baryeh, 2001). Existen otros métodos como la extracción con solventes específicos asociados con el uso de calor y/o agitación, y maceración mezclada con agua, alcohol o grasa caliente. (Luque de Castro y García-Ayuso, 1998). Otra alternativa de extracción es la combinación del prensado seguido de la extracción por solvente (Sundram, 2003). La desventaja de estos métodos radica en que requieren de mucho tiempo, uso de solventes orgánicos y en algunos casos, etapas de blanqueo y desodorizado.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas para la extracción de solutos de matrices sólidas con el objeto de disminuir el consumo de solvente, mejorar la calidad del extracto, acortar el tiempo y aumentar el rendimiento. Entre ellas se tienen la extracción asistida con ultrasonido, con microondas (Kaufmann y Christen, 2002), extracción con solvente acelerado y la extracción con fluidos supercríticos (Rozzi y Singh, 2002; Brunner, 2005). Las aplicaciones de los fluidos supercríticos en esta área se relacionan con el uso de solventes, básicamente el CO<sub>2</sub>. Esta técnica se fundamenta en la utilización del CO<sub>2</sub>, sometido a condiciones de temperatura y presión por encima de su punto crítico, logrando obtener un fluido con alto coeficiente de difusividad y una viscosidad más baja que los líquidos, permitiendo así una mejor penetración en matrices sólidas y aumento de la solubilidad en componentes químicos durante los procesos de extracción. En este sentido, la aplicación de dicha técnica se ha orientado hacia la obtención de aceites vegetales a partir de oleaginosas, la desacidificación de los mismos con alto contenido de ácidos grasos, eliminación de colesterol, aprovechamiento de residuos de la refinación y obtención de compuestos minoritarios de alto valor agregado, como son los tocoferoles y los fitosteroles

(Hurtado, 2002). Se ha utilizado en la extracción del aceite proveniente de la almendra de la palma (Rahman et al., 2001). Otros trabajos reportados por Zaidul et al. (2006; 2007) han estudiado la solubilidad y la extractabilidad del aceite de palma en CO<sub>2</sub> supercrítico a presiones de 20 a 48 MPa. La extracción de aceite de palma por fluido supercrítico ha demostrado que el CO<sub>2</sub> supercrítico ofrece la posibilidad de desarrollar un proceso completo para la extracción y purificación, evitando el uso de solventes orgánicos, además de producir el aceite de alta calidad (Tang y Teoh, 1985).

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes condiciones de flujo, presión y temperatura para optimizar la extracción de aceite de palma africana utilizando CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó como materia prima el mesocarpio de fruto de la palma africana (*Elaeis guineensis*) esterilizado, proveniente de la empresa Bananera Venezolana C.A. (sector El Guayabo, estado Yaracuy, Venezuela) y como solvente, CO<sub>2</sub> comercial (99,9 % de pureza).

Se utilizó un equipo Spe-ed SFE mod. 7010 (sistema de extracción de CO<sub>2</sub> supercrítico), el cual está constituido por un extractor tubular de acero inoxidable con una capacidad de 1000 mL, un cilindro de CO<sub>2</sub>, baño de enfriamiento, bomba de presión, válvula de aire comprimido, horno, válvula micrométrica y un colector de muestra.

Para acondicionar la materia prima se separó la pulpa del pericarpio de la almendra y posteriormente se cortó manualmente en trozos de aproximadamente 5 mm. Se colocaron 20 gramos de muestras replicadas en el extractor, el cual se encontraba conectado a una línea de CO<sub>2</sub> a alta presión y colocado dentro de una cámara (horno). Se fijaron las condiciones de operación (presión, temperatura y flujo de CO<sub>2</sub>), según el tratamiento a aplicar y en una primera etapa de la investigación se planteó un diseño factorial 2<sup>3</sup> para determinar cuales eran los factores más influyentes en el proceso de extracción (Cuadro 1). En cada tratamiento se mantuvo fijo el tiempo estático en 30 min y el orden de las corridas se realizó al azar. Iniciado el proceso de extracción, el flujo se controló a través de la válvula

micrométrica y se midió con el caudalímetro. El aceite extraído fue retenido en el módulo de recolección y se midió la cantidad obtenida con relación al peso total de la muestra (rendimiento).

Previamente, mediante el empleo de la metodología descrita en la norma COVENIN 1785-1981 se obtuvo que el contenido total de grasa en el epicarpio de la palma era de 42,7 %.

**Cuadro 1.** Factores de operación del equipo y rendimiento de la extracción de aceite de palma africana en la primera etapa del ensayo. Muestra de 20 g y tiempo de extracción de 30 min.

Tratamiento	Flujo de CO <sub>2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	Presión (MPa)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1	2	20	50	1,24
2	4	20	50	2,25
3	2	30	50	2,28
4	4	30	50	7,87
5	2	20	65	0,7
6	4	20	65	1,28
7	2	30	65	3,19
8	4	30	65	8,98

Dado que el análisis de varianza aplicado al rendimiento de extracción en esta primera etapa determinó que la mayor influencia en el proceso de extracción la tenían los factores presión y flujo de CO<sub>2</sub>, mas no así la temperatura (Cuadro 2), se realizó la segunda etapa del ensayo para evaluar el proceso de extracción de aceite empleando los dos primeros factores en un diseño central compuesto formado por cinco puntos centrales y cuatro puntos axiales (Cuadro 3). En vista de que el efecto de la temperatura no fue significativo en el rango de 50 a 65°C, se consideró fijar a 50 °C en el diseño, implicando así un ahorro energético en el proceso y evitando la exposición de la materia prima a temperaturas elevadas.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios y valor de F para la extracción de aceite considerando los factores de presión (p), flujo de CO<sub>2</sub> (q) y temperatura (t)

Fuente de variación	g.l.	Cuadrados medios	F calculada
Presión (p)	1	71,1087	3091,7 **
Flujo (q)	1	42,1539	1832,8 **
Temperatura (t)	1	0,0664	2,89 ns
q*p	1	23,9865	1042,8 **
p*t	1	3,1421	136,6 **
q*t	1	0,0138	0,601 ns
q*p*t	1	0,1008	4,38 ns
Error	8	0,023	-
Total	15	-	-

En el Cuadro 3 se observa que a partir de los mejores rendimientos de extracción obtenidos en

la primera etapa (Cuadro 1) se plantearon valores de 30 MPa de presión y 4 L·min<sup>-1</sup> de flujo de CO<sub>2</sub> como puntos centrales, con regiones a explorar definidas como  $\pm 1$  MPa y  $\pm 0,5$  L·min<sup>-1</sup>. Los primeros cuatro tratamientos corresponden a un diseño factorial 2<sup>2</sup>, los tratamientos de 5 al 9 definen los puntos centrales que permiten determinar el efecto total de la curva. Los últimos cuatro tratamientos (10 al 13) corresponden a los puntos axiales para el ajuste del modelo de segundo orden.

**Cuadro 3.** Factores de operación del equipo y rendimiento de la extracción de aceite de palma africana en la segunda etapa del ensayo (unidades según el Cuadro 1). Diseño central compuesto con 5 puntos centrales y 4 puntos axiales (temp. constante de 50 °C). Muestra de 20 g y tiempo de extracción de 30 min.

Tratamiento	Flujo de CO <sub>2</sub>	Presión	Rendimiento
1	3,5	29	4,88
2	3,5	31	4,70
3	4,5	29	6,25
4	4,5	31	5,91
5	4	30	8,04
6	4	30	7,7
7	4	30	7,68
8	4	30	7,96
9	4	30	7,81
10	4,7	30	6,60
11	3,3	30	4,87
12	4	31,4	4,70
13	4	28,6	4,88

Mediante un análisis de regresión múltiple se realizó el ajuste del modelo de segundo orden y posteriormente, el análisis canónico para determinar las condiciones óptimas de extracción.

Finalmente se midió la cantidad de aceite extraída en función del tiempo a intervalos de 15 min hasta el momento en que se detuvo la obtención de aceite. Este proceso se realizó bajo las condiciones óptimas de extracción determinadas previamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de extracción del aceite en la primera etapa fue muy variable en función de las condiciones de funcionamiento del equipo (Cuadro 1). Esto refleja la capacidad del CO<sub>2</sub> supercrítico de solubilizar el aceite de palma, cuya eficiencia varía conforme se modifican los parámetros. Los mayores rendimientos se presentaron en los niveles altos de los factores flujo de CO<sub>2</sub> y presión.

El rendimiento obtenido en la segunda etapa fue mayor hacia los puntos centrales del diseño (Cuadro 3), en donde se concentraron las condiciones de trabajo correspondientes a 30 MPa de presión y flujos de CO<sub>2</sub> de 4 L·min<sup>-1</sup>. El análisis de varianza aplicado a la extracción de aceite en esta segunda etapa (Cuadro 4) indica que el sistema no se ajustó a un modelo de primer orden (no significativo); sin embargo, el término cuadrático puro resultó significativo para 99% de confiabilidad. Esto sugiere que el modelo lineal no logra representar el sistema y es necesario ajustarlo a un diseño más complejo de segundo orden.

La regresión múltiple aplicada a los resultados obtenidos en el diseño central compuesto, permitió modelizar el proceso de extracción del aceite de palma por fluido supercrítico a través de una ecuación de segundo orden:

$$y = -1401,23 + 35,9242Q + 8,9077P - 0,008QP - 4,0334Q^2 - 0,0148P^2$$

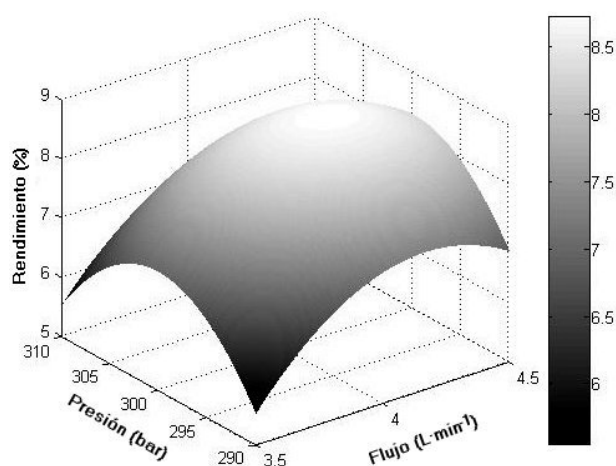
y, de acuerdo al análisis canónico, se obtuvo que las condiciones óptimas de extracción estuvieron dadas por la presión a 30 MPa, flujo de CO<sub>2</sub> de 4,2 L·min<sup>-1</sup> a una temperatura de 50 °C.

El modelo de segundo orden se representa gráficamente en la Figura 1, donde se muestra de forma tridimensional el rendimiento de aceite extraído en función de las variables presión y

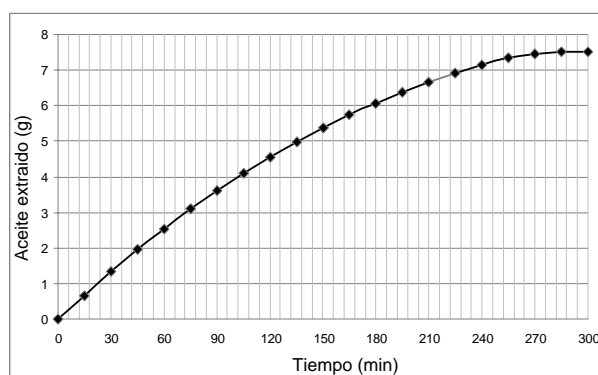
flujo de CO<sub>2</sub>.

**Cuadro 4.** Cuadrados medios y valor de F para la extracción de aceite considerando los factores de presión y flujo de CO<sub>2</sub>

Fuente de Varianza	g.l.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión ( $\beta_1, \beta_2$ )	1	1,733	0,804 ns
Residuo	6	2,1563	
Interacción	1	0,0065	0,335 ns
Cuadrático puro	1	12,8534	512,1 **
Error puro	4	0,01943	-
Total	7		



**Figura 1.** Superficie de respuesta del modelo de segundo orden para el rendimiento de extracción de aceite de palma africana en función de la presión de trabajo (1 bar = 0,1 MPa) y el flujo de CO<sub>2</sub>



**Figura 2.** Representación gráfica de la cantidad de aceite acumulada durante la extracción en función del tiempo para una muestra de 20 g (4,2 L·min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, 30 MPa a 50°C)

En la Figura 2 se observa que la cantidad de aceite acumulada aumentó progresivamente en función del tiempo. Considerando suficiente 300 minutos de tiempo de extracción, se obtuvo más de 7,5 g de aceite, equivalente a un 88,1 % con respecto al contenido total de aceite en el mesocarpio. Esta curva describe un comportamiento típico de un sistema de extracción dinámico (Taylor, 1996).

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Baryerh (2001) quien encontró que presiones de extracción mayores a 25 MPa no produjeron aumentos significativos en el rendimiento del aceite de palma, mientras que Zaidul et al (2007) reportaron un aumento en el rendimiento de extracción a medida que se incrementó el tiempo hasta 150 minutos y la presión hasta 25 MPa. Por otra parte, Sivala et al. (1991) evaluaron el rendimiento en la extracción de aceite de germen de arroz y reportó como mejores las presiones de 30 MPa.

### CONCLUSIONES

Se obtuvo un modelo de segundo orden para predecir los rendimientos de extracción de aceites en función de la presión y flujo de CO<sub>2</sub>. Los mayores valores de presión y flujo de CO<sub>2</sub> tuvieron la mayor influencia en el proceso de extracción por fluido supercrítico, de forma que las mejores condiciones para la extracción de aceite de palma africana se obtienen a 30 MPa, 4,2 L·min<sup>-1</sup> de flujo de CO<sub>2</sub>, manteniendo una temperatura de 50 °C.

### LITERATURA CITADA

1. Baryerh, E. 2001. Effects of palm oil processing parameters on yield. *Journal of Food Engineering* 48(1): 1-6.
2. Brunner, G. 2005. Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering* 67(1-2): 21-33.
3. Hurtado, B. 2002. Estudio del proceso de extracción de componentes minoritarios de aceite de oliva con CO<sub>2</sub> supercrítico en Contracorriente, Tesis. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
4. Kaufmann, B. y P. Christen. 2002. Recent extraction techniques for natural products: Microwave assisted extraction and pressurized solvent extraction. *Phytochemical Analysis* 13(2): 105-113.
5. Luque de Castro, M. y L. García-Ayuso. 1998. Soxhlet extraction of solid materials: An outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta* 369(1-2): 1-10.
6. Morillo, M. 2005. Estudio de mercado sobre la producción y comercialización de aceite de palma en la región centro occidental. *Prisma, Revista Electrónica de la Universidad Fermín Toro* 2 (1). 13 p.
7. Rahman, N., M. Hassan, B. Anuar, M. Ibrahim y M. Omar. 2001. The effect of dehulling on supercritical extraction of palm kernel oil. *Journal of Chemical Engineering of Japan* 34(3): 407-410.
8. Rozzi, N. y R. Singh. 2002. Supercritical Fluids and the Food Industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1: 33-44.
9. Sivala, K., N. Bhole y R. Mukherjee. 1991. Effect of moisture on rice bran oil expression. *Journal of Agricultural Engineering Research* 50: 81-91.
10. Sundram, K. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*. 39(6): 507-558.
11. Sundram, K. 2003. Palm Oil: Chemistry and Nutrition Updates Report of Malaysian palm oil research board. *Palm Oil Research Board of Malaysia*. Kuala Lumpur, Malaysia. 23 p.
12. Tang, T. y P. Teoh. 1985. Palm kernel oil extraction. The Malaysian experience. *J. of the American Oil Chemist's Society* 62(2): 257.
13. Taylor, L. 1996. *Supercritical Fluid Extraction. Techniques in Analytical Chemistry*. Wiley. New York.
14. Zaidul, I., N. Norulaini, A. Omar y R. Jr.

Smith. 2006. Supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) extraction and fractionation of palm kernel oil from palm kernel as cocoa butter replacers blend. Journal of Food Engineering 73(3): 210-216.

15. Zaidul, I., N. Norulaini, A. Omar y R.L. Jr. Smith. 2007. Supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) extraction of palm kernel oil from palm kernel. Journal of Food Engineering 79(3): 1007-1011.