

Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria

An Analysis of the Properties of Oil Palm in the Development of the its Industry

AUTORES

Sandra Milena Rincón M.

Ingeniera química, M.Ing.
Investigador Asociado. Líder del
Área de Usos Alternativos
Cenipalma. srincon@cenipalma.org

Daniel Mauricio Martínez C.

Ingeniero químico. Auxiliar de
Investigación. Cenipalma

Palabras CLAVE

Aceite de palma, Propiedades físicas,
Propiedades químicas, Energía,
Alimentos, Oleoquímicos, Nutrición.

Palm Oil, Physical properties,
Chemical properties, Energy, Food,
Oleochemicals, Nutrition

Recibido: 30 julio 2009
Aceptado: 11 Agosto 2009

Resumen

El aceite de palma ha sido uno de los productos de mayor crecimiento en la industria colombiana. Para la evaluación y desarrollo de sus procesos y productos es fundamental conocer las propiedades del aceite a partir de las cuales se puedan obtener resultados confiables. Sin embargo, poca información se ha dispuesto al respecto. Mediante una recopilación bibliográfica, este estudio documenta las propiedades físicas, químicas y nutricionales del aceite de palma crudo. Usando la información relacionada con la estructura química, composición y polaridad del aceite de palma, se han definido sus propiedades nutricionales (basándose en la presencia de ácidos grasos insaturados y antioxidantes), sus características energéticas y de transporte (con base en la estructura de sus componentes), y su relación física con otras sustancias (miscibilidad y afinidad). A partir de ello, se generó una tabla de propiedades fisicoquímicas para el aceite de palma y se evidenció el potencial de su aplicación en diferentes industrias.

Summary

Palm Oil has been one of the products with highest growth in the Colombian industry. Palm oil properties are the most important feature for evaluation and development of Palm Oil based processes and products in order to get reliable results. However there is not complete information compiled, and this review described the compendium the crude palm oil physical, chemical and nutritional properties. Using the information related to palm oil chemical structure, composition and polarity, its nutritional properties have been defined (based on fatty acid insaturations and antioxidants compounds presence), its transport and energetic behavior (based on the structure of its components), and its physical relationship with other substances (miscibility and affinity). Palm Oil physico-chemical properties table was generated and it was demonstrated the Palm oil potential for its application in different industries.



Introducción

Desde finales de 2007 y mediados de 2008, el Programa de Procesos y Usos de Cenipalma realizó una caracterización físico química del aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) evaluando parámetros de identificación como perfil lipídico (NTC 5013), índice de yodo (NTC 283), punto de fusión (NTC 213), índice de refracción (NTC 289) y también los parámetros de calidad del aceite como ácidos grasos libres (%AGL) (NTC 218), índice de peróxidos (NTC 236), humedad e impurezas (NTC 287), con el fin de actualizar la Norma Técnica Colombia NTC 431. Dentro del estudio participaron empresas refinadoras de aceite tales como Grasco S.A., Alianza Team y Lloreda S.A., quienes realizaron las pruebas de porcentaje de ácidos grasos libres, punto de fusión, perfil de ácidos grasos y DOBI (Deterioration of Bleachability Index) (ISO 17932), mediante el diseño de ensayo de interlaboratorio. El total de muestras caracterizadas fue 25, provenientes de 12 plantas extractoras distribuidas a nivel nacional.

En este artículo se muestran los resultados obtenidos de la composición de triglicéridos, ácidos grasos y vitaminas, los parámetros de calidad y requisitos de identificación del aceite crudo de palma discriminados por cada una de las cuatro zonas palmeras y, a partir de una recopilación bibliográfica, lo relacionado con las propiedades de transporte, sus características energéticas, cambios de fases y condiciones críticas del aceite de palma. Adicional a la caracterización físico-química del aceite, se exponen los resultados de DOBI en muestras de aceites de tanques de despacho que se han caracterizado en 2009. En el anexo 1 se encuentra el resultado de los parámetros de identificación y calidad que debe cumplir el aceite crudo de palma para ser comercializado a nivel nacional (NTC 431), y en el anexo 2, una tabla con el consolidado de las demás propiedades físico-químicas del aceite crudo de palma.

Está dirigido, principalmente, a las personas interesadas en el desarrollo de los procesos químicos relacionados con la modificación del aceite de palma, ya que para poder realizar estimaciones y/o cálculos matemáticos de las operaciones unitarias es necesario disponer de valores confiables de las propiedades de los compuestos involucrados, más aún si se quiere que los resultados de la simulación de las condiciones de

operación del proceso de transformación y su correspondiente análisis técnico-económico sean válidos y se aproximen a la realidad, que conlleve a tomar decisiones verídicas y confiables.

Generalidades del aceite de palma

El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana *Elaeis guineensis* jacq. a través de procedimientos mecánicos. Está constituido por una mezcla de ésteres de glicerol (triglicéridos) y es fuente natural de carotenos y vitamina E. Gracias a su versatilidad, dada por su composición de ácidos grasos saturados e insaturados y su aporte nutricional, el aceite de palma y las fracciones líquida (oleína) y sólida (estearina) son empleadas en la elaboración de mezclas de aceites y margarinas para mesa y cocina, grasas de repostería y confitería, entre otras. Con base en el aumento significativo de su producción a nivel mundial, se han diversificado sus usos en otros campos como el de combustibles, detergentes, cosméticos, plásticos, farmacéuticos entre otros, ya que cumple con las especificaciones de productos requeridas en estos sectores. Lo anterior hace del aceite de palma una materia prima de gran interés para el desarrollo industrial.

Composición de triglicéridos, ácidos grasos y vitaminas del aceite crudo de palma

Los ácidos grasos insaturados que constituyen los triglicéridos (TG) del aceite de palma son el oleico (36-44%) y el linoleico (9-12%) que tienen configuración *cis*. También posee los ácidos grasos saturados palmítico (39,3-47,5%) y esteárico (3,5-6%).

En lo fundamental, la composición de los triglicéridos del aceite es: 1-palmitoil-2,3-dioleoil-sn-glicerol (alrededor de 23%, Figura 1) y 1,3-dipalmitoil-2-oleoil-sn-glicerol (cerca del 18%). Dichos triglicéridos se caracterizan porque el ácido oleico se encuentra en mayor proporción en la posición sn-2 del TG, lo que proporciona una mejor biodisponibilidad de ácidos grasos monoinsaturados (Tabla 1).

La importancia de la biodisponibilidad de los ácidos grasos insaturados oleico y linoleico radica en que estos son hipocolesterolemiantes, y por tanto dismi-

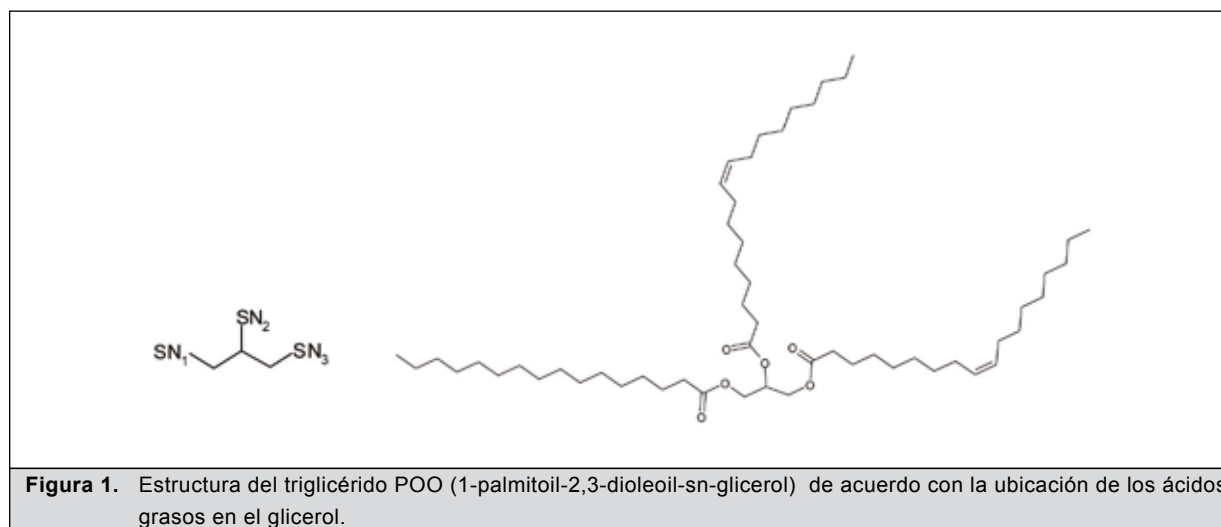


Tabla 1. Resultados del perfil de triglicéridos en el aceite de palma crudo reportados por cuatro fuentes de información

Saturados	Cenipalma 2008			Cenipalma 2004			Ong, 1995	Gee, 2007
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Promedio	Promedio
MPP (ppm)	-	0,71	0,35	0,89		0,19		0,29
PPP (ppm)	0,64	3,89	1,33	1,61	3,87	2,8	4,81	6,91
PPS (ppm)	0,11	0,80	0,31		1,61	0,61	-	1,21
Enlace doble 1								
POP (ppm)	22,10	24,20	23,13	19,39	25,96	23,03	27,39	20,02
POS (ppm)	3,50	4,92	4,14	2,08	7,54	4,5	5,29	3,5
SOS (ppm)	-	0,41	0,19		0,54	0,18	1,36	0,15
Enlaces Dobles 2								
MLP (ppm)	0,77	2,11	1,22		1,84	0,67		0,26
PLP (ppm)	14,41	16,72	15,78	10,76	19,9	15,23	9,37	6,36
POO (ppm)	17,43	19,77	18,80	15,35	22,43	18,89	21,39	20,54
SOO (ppm)	1,73	2,37	2,10	0,38	4	2,24	2,78	1,81
Enlaces Dobles 3								
PLO (ppm)	16,07	17,75	17,16	15,19	31,39	17,49	10,02	6,59
OOO (ppm)	2,64	3,79	3,02	1,62	5,17	3,02	3,9	5,38
Enlaces dobles 4								
PLL (ppm)	7,24	8,71	7,86	4,43	9,19	7		1,08
OLL (ppm)	1,06	1,76	1,41	0,53	1,94	1,06		0,56
OOL (ppm)	2,88	3,57	3,22	0,28	4,68	2,92	1,22	1,76

M: Mirístico (C14:0); P: palmítico (C16:0); S: Esteárico (C18:0); O: Oleico (C18:1); L: Linoleico (C18:2)

nuyen las concentraciones de colesterol LDL (fracción perjudicial del colesterol que en exceso se deposita en la paredes arteriales originando la formación de ateromas), y potencian las acciones beneficiosas del colesterol HDL (encargado de recolectar el colesterol libre desde los tejidos del cuerpo hasta el hígado, donde es descompuesto y eliminado del cuerpo por medio de la bilis) (Stanley, 2008).

Además, como el aceite de palma posee una mínima cantidad de los ácidos grasos láurico (<5%) y mirístico (0,5-2%), que son considerados hipercolesterolémicos, no genera un aumento del colesterol en la sangre (Tabla 2) (Firestone, 2006; Flingoh, 1992).

Otra característica importante del aceite de palma es su alto contenido de antioxidantes naturales, como los

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos del aceite de palma crudo por zonas palmeras

Ácidos grasos (ppm)	Zonas palmeras colombianas (Mínimos)				Zonas palmeras colombianas (Máximos)				Media (ppm)	C.V (%)
	Central	Norte	Oriental	Occidental	Central	Norte	Oriental	Occidental		
Láurico C12	0,32	0,16	0,19	0,2	0,46	0,40	0,40	0,3	0,27	28
Mirístico C14	0,88	0,88	0,85	0,94	1,116	1,26	1,15	1,1	0,99	8
Palmítico C16	40,65	41,20	39,60	39,99	44,15	45,77	44,12	44,59	42,71	3
Palmitoleico C16:1	0,1	0,10	0,10	0,1	0,321	0,26	0,25	0,19	0,17	28
Esteárico C18	4,5	4,01	4,37	4,71	4,92	4,73	5,57	5,00	4,66	10
Oleico C18:1	9,56	8,81	9,11	10,4	10,29	10,34	11,40	11,52	9,92	7
Linoleico C18-2	0,24	0,24	0,24	0,25	0,43	0,41	0,45	0,45	0,30	17
Linolénico C18-3	0,28	0,26	0,28	0,3	0,4	0,44	0,44	0,4	0,37	12

Fuente: Cenipalma, 2008

Tabla 3. Comparación de la composición de carotenos y vitamina E, por zonas palmeras en el aceite de palma crudo de palma *Elaeis guineensis* jaq.

Parámetro	Zonas palmeras colombianas (Mínimos)				Zonas palmeras colombianas (Máximos)				MEDIA (ppm)	C.V (%)
	Central	Norte	Oriental	Occidental	Central	Norte	Oriental	Occidental		
Vitamina E (ppm)	1063	1024	923	1215	1147	1280	1139	1277	1.113	9
δ-Tocotrienol (ppm)	75	101	65	103	78	132	97	115	93	21
β+γ-Tocotrienol (ppm)	548	550	465	640	602	679	619	665	577	9
α-Tocotrienol (ppm)	276	263	238	310	313	383	319	336	304	14
α-Tocoferol (ppm)	142	98	122	161	165	148	185	162	140	16
Carotenos (ppm)	515	461	419	586	668	666	794	622	611	13
α-caroteno (ppm)	193	171	151	185	256	260	331	209	231	17
β-caroteno (ppm)	322	290	268	401	411	407	462	413	380	12

Fuente: Cenipalma, 2008.

carotenos y la vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) (Tabla 3). Los primeros son el β-caroteno (62%) y el α-caroteno (38%), ambos precursores de la vitamina A. Por su parte, los tocotrienoles componen más del 80% del total de la vitamina E en el aceite de palma, que es el único aceite vegetal comestible que la contiene.

Los tocotrienoles no se limitan a servir como antioxidantes, al parecer también tienen un efecto inhibitorio de la β-hidroxi-β-metil glutaril CoA reductasa, lo cual influye en la disminución del nivel de colesterol endógeno y la agregación de plaquetas (Stanley, 2008; Edem, 2002). Ello explica por qué el consumo de aceite de palma en humanos puede disminuir el colesterol sérico total (Corredor, 2002). Así mismo, estudios recientes revelan que los tocotrienoles son mejores agentes químicos que los α-tocoferoles en el tratamiento de enfermedades degenerativas, como el cáncer (Teruo, 2009).

Parámetros de calidad y requisitos de identificación del aceite de palma crudo

Los antioxidantes también son de gran importancia en la estabilidad del aceite, pues inciden en las propiedades del producto desde el momento mismo de la cosecha y el procesamiento, hasta la formulación de los productos finales. Esto es así porque actúan inhibiendo o retardando el proceso de peroxidación lipídica sobre los ácidos grasos insaturados, durante el cual se hidroliza el enlace éster de los triglicéridos y se liberan ácidos grasos que generan peróxidos e hidroperóxidos, principales responsables de cambios en las características organolépticas del producto. Los factores que tienen mayor incidencia en el deterioro oxidativo del aceite de palma crudo durante su extracción y almacenamiento son: la presencia



de trazas de metales como hierro y cobre, el sobre-calentamiento del aceite en presencia de oxígeno, la exposición directa a la luz solar, y un alto contenido de clorofila proveniente de racimos inmaduros, los cuales impactan directamente sobre la calidad del aceite (Delgado, 2004).

En el muestreo a las 12 plantas de beneficio realizado en 2007 se evidenció que son pocos los hidroperóxidos formados durante el proceso de extracción del aceite crudo antes del almacenamiento, aunque se presenta una alta variación en la población evaluada (Tabla 4).

Como la oxidación lipídica es una reacción en cadena, es de esperar que los peróxidos e hidroperóxidos se incrementen durante el almacenamiento hasta llegar a la refinación del aceite. No obstante, una vez sean eliminados con la desodorización, la estabilidad a la oxidación del aceite de palma es sobresaliente; en efecto, puede permanecer por largos periodos de tiempo con sabor y olor neutro.

Aparte de las cualidades intrínsecas del aceite de palma, como su alto contenido de antioxidantes naturales y oxidación mínima, las industrias de refinación de aceites y grasas buscan otras, como bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL) y de humedad e impurezas, y buena blanqueabilidad. La razón es que un aceite con tales características permite obtener

productos inodoros e incoloros bajo condiciones moderadas de operación.

El porcentaje de AGL en el aceite de palma crudo es un indicativo de las buenas prácticas llevadas a cabo durante los procesos de extracción y almacenamiento, y el transporte desde las plantas de beneficio hasta las plantas refinadoras, así como del estado del fruto procesado. En la Tabla 5 se muestran los resultados del porcentaje de AGL del aceite proveniente de las 12 plantas extractoras del análisis.

Además del porcentaje de AGL, algunas empresas refinadoras han incluido al DOBI como indicador de la calidad del aceite a la estabilidad a la oxidación y la blanqueabilidad. Este es un parámetro exclusivo para el aceite de palma, desarrollado por el Malaysian Palm Oil Board (MPOB) (Siew, 1992), y relaciona el contenido de carotenos –medidos a una longitud de onda de 446 nm–, con los productos de oxidación secundaria –medidos a una longitud de onda de 269 nm (ISO 17932, 2005). La escala determinada para el DOBI indica que valores por debajo de 1,68 corresponden al peor estado de oxidación del aceite y valores superiores a 3,24 hacen referencia a una calidad excelente y que permiten preservar agentes antioxidantes aun después de la desodorización (Gee, 2005). Además, el parámetro sirve como un indicador de la facilidad de blanquear el aceite crudo en las re-

Tabla 4. Comparación del índice de peróxidos del aceite de palma crudo por zonas palmeras

Índice de peróxidos, milieq de peróxido/kg de aceite	Mínimo	Máximo	Promedio	D.E	C.V (%)
Zona Norte	0,094	1,973	1,061	0,578	54,5
Zona Oriental	0,317	2,177	0,795	0,699	87,9
Zona Central	n.d	n.d	n.d	n.d	
Zona Occidental	0,211	2,408	1,310	0,01	0,8
Nacional	0,094	2,408	1,055	0,711	67,4

n.d: No disponible

Fuente: Cenipalma, 2008.

Tabla 5. Comparación de porcentaje de ácidos grasos libres del aceite de palma crudo por zonas palmeras

% AGL (expresado como ácido palmítico)	Mínimo	Máximo	Promedio	D.E	C.V (%)
Zona Norte	1,77	3,32	2,32	0,43	18
Zona Oriental	1,69	3,57	2,54	0,61	24
Zona Central	1,70	2,76	2,26	0,35	16
Zona Occidental	2,21	2,47	2,32	0,12	5
Nacional	1,69	3,57	2,40	0,50	21

Fuente: Cenipalma, 2008.

finerías, considerando que a valores superiores a 2,3 éste puede ser fácilmente refinado (Siew, 1992).

Los resultados del muestreo del aceite de palma en tanques de despacho de las 25 plantas extractoras en 2009 arrojó valores promedio del DOBI de 2,94 para la Zona Norte, 3,20 para la Central, 2,73 para la Occidental y 3,20 para la Oriental. Esto demuestra que la mayoría de plantas de beneficio del país presentan un DOBI alto y que, según la escala manejada por el MPOB, su aceite es entre bueno y excelente, es decir, que es posible blanquearlo fácilmente. En la Tabla 6 se aprecian los valores reportados para el DOBI nacional.

Por otro lado, los requisitos de identificación que debe cumplir el aceite de palma crudo incluyen: densidad, índice de yodo, índice de saponificación e índice de refracción (NTC 431, 2009). La comparación del índice de yodo del aceite de palma africana en las cuatro zonas palmeras resultante del muestreo realizado está consignada en la Tabla 7. El índice de yodo determina el número de insaturaciones que tienen los triglicéridos del aceite y con frecuencia se utiliza para establecer los requisitos que debe cumplir el aceite como materia prima de productos derivados y sus propiedades, como: el número de cetano en el biodiésel, el color de Klett de los metil ésteres sulfonados, la dureza relativa del jabón, y el número de grupos funcionales de compuestos polimerizados

tales como polioles y equivalentes de manteca de cacao en grasas de confitería.

El índice de saponificación es una medida del contenido global de triglicéridos presentes en el aceite en función de grupos alcalinos reactivos y, por tanto, ofrece la posibilidad de conocer el peso molecular de un aceite. La materia insaponificable está relacionada con el contenido de sustancias presentes en el aceite que son solubles en solventes apolares, pero que no sufren reacción de saponificación, como es el caso de los esteroides, tocoferoles, tocotrienoles y carotenos, entre otros (Ho, 2000).

Por su parte, el índice de refracción es una determinación física que está relacionada con el peso molecular de la sustancia, el grado de insaturación, el grado de conjugación de los componentes y la longitud de sus cadenas, que depende de la temperatura (Gunstone, 2002). Pequeñas variaciones se emplean para verificar la identidad, calidad y pureza del aceite.

Propiedades del transporte del aceite de palma

Tanto para la ingeniería como para la ciencia en general es de suma importancia predecir el comportamiento de los aceites bajo condiciones de proceso, por lo que el conocimiento de las propiedades de masa,

Tabla 6. Resultados caracterización del parámetro DOBI del aceite de palma crudo en tanques de despacho de las plantas de beneficio primario

	Central	Norte	Occidental	Oriental	Todos
Máximo	3,82	3,53	3,15	3,80	3,82
Mínimo	2,87	2,33	2,36	2,73	2,33
Promedio	3,20	2,94	2,73	3,20	3,07
Desv. estándar	0,36	0,38	0,40	0,43	0,40
C.V	11%	13%	15%	13%	13%
Datos	10	8	3	5	26

Fuente: Cenipalma, 2009.

Tabla 7. Comparación del índice de yodo del aceite de palma crudo por zonas palmeras

Índice de yodo, mg I ₂ absorbido/100 g de aceite	Mínimo	Máximo	Promedio	D.E	C.V (%)
Zona Norte	50,79	54,56	52,42	1,94	3,1
Zona Oriental	49,13	54,69	51,84	1,63	2,4
Zona Central	51,26	54,47	53,00	1,25	3,7
Zona Occidental	55,14	56,21	55,68	0,76	1,4
Nacional	49,13	56,21	53,23	1,77	3,3

Fuente: Cenipalma, 2008.



como viscosidad, densidad o su tensión superficial es de relevancia. Es por ello por lo que trabajos como el de Ceriani y colaboradores (2008) intentan generar modelos matemáticos a partir de la composición química del aceite, que permitan determinar dichas propiedades. La viscosidad y la densidad, además de indicar una propiedad de flujo de la sustancia, también se usan como un índice de la polimerización para el caso de los aceites (Sims, 1955).

La densidad es una propiedad que se utiliza para determinar dimensiones de equipos y caudales, puesto que relaciona la masa de la sustancia con su volumen. Si se toma como referencia la densidad del aceite de palma (0,89 g/ml), se encuentra que es menor que la de otros, como los de soya (0,92 g/ml) y oliva (0,91 g/ml) a la misma temperatura (20 °C) (Ceriani, 2008; Firestone, 2006). De manera que se podría considerar que, para la misma masa de aceite, las unidades de procesamiento del aceite de palma requieren de un mayor volumen (alrededor de 0,5 mL/g más) que para los otros aceites, lo cual influiría en su empaque y almacenamiento.

Por otra parte, mientras que la viscosidad a 40 °C para el aceite de palma es de cerca de 39,35 cP, para el de soya es de 45,95 cP y de 297.67 cP para el aceite de higuerrilla o castor (Tangsathikulchai, 2004; Zaliha, 2004). En consecuencia, se requiere menor potencia en los sistemas de bombeo para el transporte del aceite de palma, tomando en cuenta que la viscosidad es una medida a la resistencia a fluir de una sustancia.

Así como esta propiedad está asociada con el producto y su origen, el biodiésel obtenido de aceite de palma se caracteriza por tener una viscosidad inferior (3,42 mPa*s) a la del obtenido de los aceites de soya (3,63 mPa*s), colza (3,79 mPa*s) y canola (4,23 mPa*s), y mayor que el de coco (2,09 mPa*s) (Shu, 2007).

Otra de las propiedades de transporte es la tensión superficial, que por definición es la tendencia de la superficie del líquido a contraerse, al no poderse neutralizar las fuerzas de interacción entre las moléculas que lo componen. Esta propiedad deja de ser un simple dato cuando se realiza el diseño y modelamiento de equipos relacionados con el procesamiento del aceite, particularmente en las torres de destilación, fraccionamiento y adsorción común-

mente empleadas en la refinación y desodorización del aceite de palma. A partir del valor se establece el flujo (hidrodinámica) en el equipo y se calculan los coeficientes de transferencia de masa entre las sustancias que se ponen en contacto. Para el aceite de palma este parámetro se encuentra entre 30-32 mN/m, mientras que para el de oliva es de 33,06 mN/m medido a 20 °C (Franco, 2009), lo que indica que es más fácil que una gota de aceite de palma sea arrastrada por un flujo gaseoso a que lo sea una gota de aceite de oliva.

Características energéticas del aceite de palma

Las propiedades de mayor cuidado e importancia en el estudio de una sustancia y su transformación son las energéticas, ya que con base en ellas es posible determinar la viabilidad de una reacción química y la cantidad total de calor que debe añadirse o retirarse de la sustancia para llegar a determinada temperatura o estado de la materia. Por tanto, estas propiedades determinan el diseño del proceso así como los costos asociados a él.

Relacionado con los cambios de fases de la sustancia, algunas propiedades como entalpía, calores de fusión y vaporización establecen la cantidad de calor requerido para generar un cambio de estado de la materia. El calor de fusión del aceite de palma es de 84,8-93,4 J/g, el del algodón hidrogenado de entre 188,34 a 217,646 J/g, y el del aceite de girasol de 20,6 J/g, de forma tal que al estar relacionado con la composición química de la sustancia, es posible determinar que a mayor proporción saturada en el aceite, mayor será el calor requerido para fundirlo (Poling, 2004; American Palm Oil Council). Además, el calor de vaporización del aceite de palma es de 26,27 J/g (Castañeda, 2005).

Por su parte, la capacidad calorífica mide la cantidad de energía necesaria para generar un cambio de temperatura por una unidad de masa. Según la determinación de Clark *et al.* (1946) en el rango de $25 < T < 100$ °C para aceites sin hidrogenar, la capacidad calorífica es de 2,07-2,29 J/g °C y tiene un comportamiento inversamente proporcional al índice de yodo del aceite. Algunos valores reportados por el autor son: aceite de palma, 1,76-2,15 J/g °C; aceite

de higuera, 1,92-2,13 J/g °C y aceite de soja, 1,82-2,15 J/g °C. Estos valores reflejan una cierta similitud entre la cantidad de calor requerido para generar una variación en la temperatura para diferentes aceites.

Por último, entre las propiedades energéticas del aceite se encuentran el calor estándar de formación y el calor de combustión. La primera es una medida de la energía de unión de las moléculas de la sustancia y la segunda estima el calor necesario para oxidar totalmente hasta dióxido de carbono sus componentes. Con respecto a este último, se encontró que mientras que para el aceite de canola el calor de combustión es de 41,45 kJ/g, para el de soja de 40,98 kJ/g, para el de oliva de 39,31 kJ/g, y para el aceite de palma lo es de aproximadamente 42,99 kJ/g, similar al de los otros aceites (Argeros, 1998). Por otro lado, el calor de formación para el aceite de palma tiene un valor entre $1,84 \cdot 10^9$ - $2,05 \cdot 10^9$ J/kmol, que es alto, debido a su alto peso molecular.

Cambios de fases y condiciones críticas del aceite de palma

A temperatura ambiente, las fases presentes en el aceite de palma son la sólida y líquida, debido a su alto punto de fusión (34–40 °C), lo que conlleva a implementar sistemas de calentamiento durante su transporte y almacenamiento para mantenerlo en estado líquido. La temperatura de almacenamiento del aceite de palma oscila entre 40-50 °C, valor superior cuando se compara con los aceites de oliva, soja y girasol, los cuales pueden almacenarse a temperatura ambiente. Los sistemas de calentamiento comúnmente utilizados son intercambiadores de calor provistos de un control de temperatura por el cual se evitan aumentos superiores a 5 °C en 24 horas (CAC/RCP 36, 1987). Tomando en cuenta los sistemas de transporte para aceites, para la carga y descarga de los mismos se aplican temperaturas de 40-45 °C para el aceite de coco, de 10-20 °C para el de oliva y de 20-25 °C para los de soja y girasol, mientras que para el de palma se requieren temperaturas entre 50-55 °C. Ello implica mayores gastos energéticos para el almacenamiento y descargue de los aceites con un contenido representativo en ácidos grasos saturados.

Respecto a la temperatura de ebullición de los aceites, el aceite de palma presenta un valor de 371 °C, superior a otros aceites como el de soja (257 °C), maíz (246 °C) y oliva (191 °C) (The Physics Van, 2006), lo que le confiere la ventaja de resistir mayores temperaturas de tratamiento y uso antes de evaporarse, como es en el caso de frituras en la industria de los alimentos. Tal propiedad está directamente relacionada con la presión de vapor de la sustancia. No obstante, con los equipos existentes en la actualidad no es posible evaporar el aceite a temperatura ambiente, dado que la presión necesaria para hacerlo llegaría a ser muy baja (-2765 MPa). Con base en lo anterior, existen métodos de contribución de grupos como el empleado por Ceriani *et al.* (2004) que permiten estimar la presión a la cual, a una temperatura dada, la sustancia cambia de fase líquida a vapor con la finalidad de realizar cálculos relacionados con el diseño, modelamiento y simulación de procesos.

Las propiedades críticas como la temperatura crítica, presión crítica y volumen crítico son de gran importancia principalmente para cálculos de correlaciones de propiedades volumétricas, de transporte y termodinámicas de la sustancia. Como no existen dichos parámetros en la literatura, métodos como el de Joback, Constantinou y Gani, Wilson y Jaspersen, y Marrero y Pardillo, entre otros, son de gran utilidad dado que los relacionan con la composición estructural de la sustancia (Poling, 2004). Para el aceite de palma, el método de Joback fue el empleado por Castañeda *et al.* (2005) para obtener los valores críticos de 984,98 °C para la temperatura, 2,69 bares para la presión y $2,9635 \text{ m}^3/\text{kmol}$ para el volumen.

Tanto para el procesamiento como para el consumo del aceite de palma es necesario en algunas ocasiones mezclarlo con otras sustancias y por tanto es de gran importancia determinar su solubilidad en las mismas. Por su baja polaridad (debido a la gran cantidad de hidrocarburos de larga cadena y pocos grupos polares), el aceite de palma no es soluble en sustancias polares como el agua y el glicerol; más sin embargo, en bajas proporciones (<0,3% en peso) es soluble en metanol. Por el contrario, el aceite de palma es soluble en sustancias de baja polaridad como es el caso de ésteres metílicos (Castañeda, 2005) y por ende en solventes apolares como dietiléter, cloroformo, benceno, tolueno, xileno, cetonas, hexano, ciclohexano y tetracloruro



de carbono. Trabajos como el de Castañeda *et al.* (2005) han empleado métodos de contribución de grupos (Unifac) para establecer por medio de herramientas de simulación el comportamiento del aceite en mezclas líquido-líquido con otras sustancias.

Otras propiedades del aceite de palma

Una de las propiedades que permite determinar la posibilidad de utilizar las sustancias en la elaboración de aislamientos es la constante dieléctrica (ϵ_r) (Stoops, 1931), que para el aceite de palma oscila entre 1,75 y 2,7, y es inferior a la de otros aceites como el de higuera (3,84-4,71) y de semilla de lino (3,04-3,49), los cuales son comúnmente usados como aislantes. Por tanto, es posible deducir que la aplicabilidad del aceite de palma como material aislante sería eficiente. Lo anterior está relacionado con la composición y estructura de los aceites, dado que entre mayor sea la cantidad de insaturaciones en las moléculas y existan grupos -OH, mejores serán las propiedades polares de la molécula y por tanto, las propiedades eléctricas de la sustancia. Además, como el punto de chispa o punto de inflamación del aceite de palma es de 280 °C (Bancomext, 2006), y dicho valor es superior a la temperatura de los aceites minerales (145 °C), ello lo convierte en una alternativa apta para el uso en transformadores eléctricos (Watkins, 2008).

Conclusiones

El aceite de palma crudo presenta un importante contenido de antioxidantes y relación balanceada entre ácidos grasos saturados y monoinsaturados, por tanto disminuye la formación de colesterol sérico total, además le confiere una apariencia semisólida a temperatura ambiente, que no requiere hidrogenación y le convierte en una alternativa saludable entre los aceites comestibles existentes. Así mismo, el aceite de palma ha evidenciado un efecto protector contra eventos cardiovasculares, algunos tipos de cáncer, envejecimiento y enfermedades crónicas, debido a su alto contenido en carotenos y tocotrienoles, destacándose además por ser la fuente más rica en la

naturaleza de carotenos y el único aceite que posee tocotrienoles. Dicha composición le da también la capacidad al aceite de palma de ser muy resistente a los procesos oxidativos, que le confieren una larga vida útil, con la consiguiente posibilidad de ser almacenado durante tiempos prolongados.

Dentro del grupo de aceites vegetales, el aceite de palma posee propiedades ventajosas que estimulan su aplicación en diversas industrias: alimentos (fuente de vitaminas), energía (dadas las propiedades de sus productos), lubricantes y aislantes (dadas sus propiedades energéticas y físicas), entre otras. A través de este estudio se compiló un gran grupo de propiedades físicas y químicas del aceite que aportan información relevante en el diseño de los equipos de procesamiento del aceite o la simulación de los procesos relacionados, y dando herramientas a los ingenieros e interesados para realizar evaluaciones técnicas y económicas que permitan tomar decisiones basadas en parámetros verificados.

Agradecimientos

A las personas que conforman el Comité 49. *Aceites y Grasas* del Icontec, especialmente a la coordinadora, Luz Dary Santamaría. A los colegas de Cenipalma Edgar Eduardo Yáñez, Fausto Prada Chaparro, Jesús Alberto García, María Antonia Amado, Mónica Cuéllar Sánchez y Olga Lucía Mora, quienes participaron en el proceso de actualización de la norma técnica NTC 431. A los gerentes y técnicos de las plantas de beneficio primario Aceites Manuelita S.A., Aceites S.A., Agroince, Astorga S.A., C. I. Tequendama S.A., Extractora del Sur de Casanare S.A., Surpia S.A., Extractora Frupalma S.A., Guaicaramo S.A., Oleoflores S.A., Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A., Palmas del Cesar S.A. y Unipalma. A las empresas refinadoras de aceites y grasas Alianza Team, Grasco S.A., y Lloreda S.A. A Yenny Carolina Barbosa, investigadora del programa de Salud y Nutrición Humanas de Cenipalma, por su valiosa orientación en la elaboración del presente documento. A Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero, que aporta a la financiación de la investigación realizada en el Programa de Procesos y Usos de Cenipalma.

Anexos

Anexo 1. Requisitos que debe cumplir el aceite crudo de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en Colombia		
Requisitos	Máximo	Mínimo
Densidad 50/20 °C	0,899	0,891
Índice de yodo	55	50
Índice de saponificación	209	190
Índice de refracción a 50 °C	1,4560	1,4540
Materia insaponificable (%)	1,2	
Humedad y material volátil (%)	0,5	
Punto de fusión	40	34
Acidez expresada como ácido palmítico (%)	5	
Impurezas insolubles (%)	0,10	
Plomo, expresado como Pb, en mg/kg	0,1	
Arsénico, expresado como As, en mg/kg	0.1	
Perfil de ácidos grasos del aceite crudo de palma africana		
Tipo	Nombre	Nivel (%)
C 12:0	Ácido láurico	< 0,5
C 14: 0	Ácido mirístico	0,5 - 2,0
C 16: 0	Ácido palmítico	39,3 - 47,5
C 16: 1	Ácido palmitoléico	< 0,6
C 18: 0	Ácido esteárico	3,5 - 6,0
C 18: 1	Ácido oleico	36,0 - 44,0
C 18: 2	Ácido linoleico	9,0- 12,0
C 18: 3	Ácido linolénico	< 0,5
C 20: 0	Ácido araquídico	< 1,0

Fuente: NTC 431. Tercera actualización.



Anexo 2. Compendio de las propiedades del aceite crudo de palma						
Propiedad	Valor	Unidades	Condiciones	Ecuación	Características generales	Fuente
Comercial						
CAS	8002-75-3					
Código Codes	SLP4939					
Como alimento						
Energía bruta	8500	kcal				Chavarro, 2001
Índice de Iodo	50-55		%ác. es %peso a peso en aceite	$IV=0,008986 (\%ác. Oleico) + 0,0181 (\%ác. Linoleico)$	Teórico	NTC 431; Cenipalma, 2008
Transporte						
Tensión superficial	30,8	mN/m	T @ 60 °C; Para la ecuación, T[K]; ST[mN/m]	$ST=52,46-0,0658T$	Aceite crudo	Ho, Chow, 2000
	30,9				Desgomado y blanqueado	Flingoh, Chong Chiew Let., 1992.
	30				Refinado, blanqueado y desodorizado	
	31,2				Desgomado y neutralizado	
	30,9				Desgomado, neutralizado y blanqueado	
	31				Neutralizado, blanqueado y desodorizado	
Densidad	0,868-0,876	g/ml	$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]; 46 \leq T(^{\circ}\text{C}) \leq 100$	$\rho = -1,236 \cdot T + 945,14$	Experimental	NTC 431; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007; Castañeda, Narvaéz, Rincón, 2005.
Viscosidad	0,0136-0,0378	kg/m*s (@343 y 313K)	$\mu[\text{cP}]; 313,15 \leq T(\text{K}) \leq 373,15$	$\ln(\mu) = -8,849 \cdot \ln(T) + 54,525$	Experimental	Castañeda, Narvaéz, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Energía y calor						
Entalpía de fusión ΔH_f	84,8	J/g			Aceite normal	Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	93,4				Aceite interestificado	

Propiedad	Valor	Unidades	Condiciones	Ecuación	Características generales	Fuente
Calor de combustión (ΔHcomb)	-8723,7	kcal/mol			Principalmente insaturados	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	-7954,1				Principalmente saturados	
Calor de vaporización	2,231*10 ⁷	J/kmol				Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Calor estándar de formación	-1840000000	J/kmol	Sección insaturada		Determinado por el método de Benson	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	-2050000000	J/kmol	Sección saturada		Determinado por el método de Benson	
Capacidad calorífica			cp[J/g*° C]; 25≤T(°C)≤100	cp=0,0059*T+1,6172	Experimental	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Poder calorífico	36,95	J/kg				CORPODIB. 2005
Conductividad	0,15-0,17	W/m*° C	Conductividad[W/m*° C]; T[° C]	Conductividad= (-5,87061*10 ⁻⁵) T+0,173774	Experimental	Ikata, E. 1990.
Constante dieléctrica	1,75-2,7	εr	Medido con campo eléctrico de baja intensidad		Experimental	
Temperatura de auto ignición	316	° C				Science Lab Palm oil MSDS
Flash Point	162	° C	Sistema cerrado			Science Lab Palm oil MSDS
Fases y condiciones críticas						
Punto de fusión	34-40	C				NTC 431
Temperatura de cristalización			T(°C); 57<IV (índice de yodo)<64	Tcrist= (68,193-IV)/0,5934	Experimental	Watkins, C. 2008
			T(°C); 37<IV (índice de yodo)<45	Tcrist= (51,668-IV)/0,793		
Presión de vapor			P(Pa), T(K)	Ln(Pvap)= 694,0421-529286,282* (T ^{1,5})-118,7950*Ln (T)+0,1756*T	Hallado a partir del modelo de Unifac	Ceriani, Meirelles, A. 2004.
Punto normal de ebullición	371	K				Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Temperatura crítica	984,98	° C			Determinado por el método de Joback	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Presión crítica	2,69	bar			Determinado por el método de Joback	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
Volumen crítico	2,9635	m ³ /kmol			Determinado por el método de Joback	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narvaéz, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007

Sigue



Propiedad	Valor	Unidades	Condiciones	Ecuación	Características generales	Fuente
Solubilidad	no soluble		agua fría			Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narváez, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	<0,3% peso/peso		Metanol		Experimental	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narváez, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	Total		Ésteres metílicos de aceite de palma		Experimental	Castañeda, Narváez, Rincón, 2005; Narváez, Rincón, Castañeda, Sanchez, 2007
	Insoluble		Glicerina		Experimental	Ceriani; Meirelles, 2004
Otros						
Punto de chispa	553,15	K				CORPODIB. 2005.
Índice de cetano	35					CORPODIB. 2005.
Peso molecular promedio	849,1929	g/mol	Teórico. Evaluado a partir de porcentaje y peso de triglicéridos			

Bibliografía

- Argeros, A.; Pincus, D.; Shinar, Z.; Sultenfuss, A., 1998. Heat of Combustion of Oils (en línea) www.seas.upenn.edu/courses/belab/LabProjects/1998/BE210S98R4R01.doc (Consulta: febrero 2009)
- CAC/RCP 36. 1987. Recommended International Code of Practice for the Storage and Transport of Edible Fats and Oils in Bulk (en línea) www.codexalimentarius.net/download/standards/101/CXP_036e.pdf. (Consulta: febrero 2009).
- Castañeda, L.; Narváez, P.; Rincón, S. 2005. Simulación de un proceso de obtención de ésteres metílicos a partir de aceite de palma. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C (Tesis).
- Cater, N.; Heller, H.; Denke, M. 1997. Comparison of the Effects of Medium-chain Triacylglycerols, Palm Oil, and High Oleic Acid Sunflower Oil on Plasma Triacylglycerol Fatty Acids and Lipid and Lipoprotein Concentrations in Humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 65: 41-45.
- Cenipalma, 2004. Informe final proyecto código: 7262-07-217-99 "Influencia de las condiciones edafoclimáticas, el manejo agronómico, el procesamiento y el transporte sobre la caracterización físicoquímica y la calidad del aceite de palma colombiano. Laboratorio de Caracterización de Aceites. Líder: Wilman Antonio Delgado.
- Cenipalma, 2008. Informe sobre los resultados de la caracterización del aceite crudo de palma con base en los ensayos interlaboratorio que se realizaron para la actualización de la norma técnica colombiana NTC 431. Área Usos Alternativos de los Aceites de Palma y Palmiste (oleoquímica). Líder: Sandra Milena Rincón. Bogotá.
- Cenipalma. 2009. Muestreo del parámetro DOBI en tanques de despacho de 25 plantas extractoras colombianas. Área Usos Alternativos del Aceite de Palma y Palmiste (oleoquímica). Líder: Sandra Milena Rincón. Bogotá.
- Ceriani, R.; Meirelles, A. 2004. Predicting Vapor-liquid Equilibria of Fatty Systems. *Fluid Phase Equilibria* 215: 227-236.
- Ceriani, R.; Paiva, F.; Goncalves, C.; Batista, E.; Meirelles, A. 2008. Densities and Viscosities of Vegetable Oils of Nutritional Value. *J. Chem. Eng. Data* 53 (8): 1846-1853.
- Chavarro, L. 2001. Subproductos del aceite de palma (en línea) <http://galeon.com/subproductospalma/5.htm> (Consulta: mayo de 2009)
- Clark, P.; Waldeland, C.; Cross, R. 1946. Specific Heats of Vegetable Oils From 0° to 280 °C. *Ind. Eng. Chem* 38(3): 350-353.
- Corpobid. 2005. Aspectos económicos de la implementación de la tecnología de producción de biodiésel a partir de aceite de palma (en línea) <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%208.pdf> (Consulta: mayo 2009)
- Corredor, C. 2002. Efectos del aceite de palma, tocoferoles y tocotrienoles sobre el colesterol sérico. *Palmas (Colombia)* 23: 67-74.
- Delgado, W. 2004. Por qué se enrancian las grasas y los aceites. *Palmas (Colombia)* 25(2): 35-43.
- Edem, D. 2002. Palm Oil: Biochemical, Physiological, Nutritional, Hematological, and Toxicological Aspects: a review. *Plant foods for human nutrition*, Kluwer Academic Publishers 57: 319-341.



- Firestone, D. 2006. *Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes*, 2nd edition, AOCS Press (Estados Unidos).
- Flingoh, C.; Chong Chiew Let. 1992. Surface Tensions of Palm Oil, Palm Olein and Palm Stearin, *Elaeis* 4(1):27-31.
- Franco, A. Tensión superficial en los líquidos (en línea) <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/fluidos/tension/introduccion/introduccion.htm> (Consulta: febrero de 2009).
- Gee, P. 2005. Use of the Deterioration of Bleachability Index (DOBI) to characterise the quality of crude palm oil (en línea) <http://www.britanniafood.com/download/?mode=dynamic&id=4>. (Consulta: mayo 2009)
- Gee, P-T. 2007. Analytical Characteristics of Crude and Refined Palm Oil and Fractions. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109:373-379
- Gunstone, F. 2002. *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, properties and uses*, Blackwell Publishing, p. 59-93.
- Ho, C.; Chow, M. 2000. The Effect of the Refining Process on the Interfacial Properties of Palm Oil. *Jaocs* 7 (2): 191-199.
- Icontec. NTC 431. Aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq).
- Icontec. NTC 213. Determinación del punto de fusión punto de deslizamiento.
- Icontec. NTC 218. Determinación del índice de acidez y de la acidez.
- Icontec. NTC 236. Determinación del índice de peróxido.
- Icontec. NTC 287. Determinación del contenido de humedad y materia volátil.
- Icontec. NTC 289. Determinación del índice de refracción.
- Icontec. NTC 5013. Análisis de los ésteres metílicos de ácidos grasos por cromatografía de gases.
- Ikata, E. 1990. Electrocapillarity in Palm Oil: Evidence of Induced Non-linearity. *J. Physics* 2: 4267-4272.
- ISO 17932. 2005. *Animal and Vegetable Fats and Oils - Determination of the deterioration of bleachability index (DOBI)*.
- Narváez, P.; Rincón. S.; Castañeda, L.; Sánchez, F. 2007. Determination of Some Physical and Transport Properties of Palm Oil and of its Methyl Sters. *Latin American Applied Research* 38(1):1-10.
- Ong, A.S.H., Choo, Y.M. and Ooi, C.K. 1995. *Developments in Palm Oil*. En: Hamilton, R. J. *Developments in oils and fats*. Blackie Academic & Professional, Liverpool. p. 153-191.
- Poling, B.; Prausnitz, M.; O'Connell, J. 2004. *The Properties of Gases and Liquids*, 5th edition, McGraw Hill.
- Science Lab Palm oil MSDS. http://www.sciencelab.com/xMSDS-Palm_oil-9926383. (consulta: febrero de 2009)
- Shu, Q.; Yang, B.; Yang, J.; Qing, S. 2007. Predicting the Viscosity of Biodiesel Fuels Based on the Mixture Topological Index Method. *Fuel* 86: 1849-1854.
- Siew, W. L. 1992. Oxidative Index for Crude Palm Oil p.41-52, tbls.graf. 2 ref. *PORIM Bulletin* 24 (Malasia).
- Sims, R. 1955. Empirical Viscosity Relations of Heated Vegetable Oils. *Ind. Eng. Chem* 47(5): 1049-1052.
- Stanley, J. 2008. The Nutritional Reputation of Palm Oil. *Lipid Technology* 20(5):112-114.
- Tangsathikulchai, C.; Sittichaifaweekul, Y.; Tangsathikulchai, M. 2004. Temperature Effect on the Viscosities of Palm Oil and Coconut Oil Blended with Diesel Oil. *Jaocs* 81(4): 401-405.
- Teruo, M.; Akira, S.; Phumon, S.; Yuki, K.; Takahiro, E.; Akira, A.; Shinichi, O.; Kiyotaka, N. 2009. Antiangiogenic and Anticancer Potential of Unsaturated Vitamin E (tocotrienol). *Journal of Nutritional Biochemistry* 20: 79-86.
- The Physics Van, 2006. Boiling Oil and Water (en línea) <http://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=1428> Program of the University of Illinois Physics Department (Consulta: febrero 2009)
- Watkins, C. 2008. Transforming the Transformer Industry. *Inform* 19 (8): 524-526.
- Zaliha, O.; Chong, C.; Cheow, S.; Norizzah, A.; Kellens, M. 2004. Crystallization Properties of Palm Oil by Dry Fractionation. *Food Chemistry* 86: 245-250.