

Consistencia de lípidos estructurados a partir de aceite de pescado y grasa de palmiste

Por Oscar Díaz Gamboa y Luiz Antonio Gioielli*

Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica
Facultad de Ciencias Farmacéuticas - Universidad de São Paulo
Caixa Postal 66083, CEP 05315-970. São Paulo, SP, Brasil.
e-mail: lagio@usp.br

RESUMEN

Consistencia de lípidos estructurados a partir de aceite de pescado y grasa de palmiste.

Por medio de la interesterificación de mezclas de aceites y grasas, es posible obtener lípidos estructurados (SL), los cuales son considerados como alimentos funcionales por presentar gran potencial en la prevención de diversas enfermedades. Por esta razón, existe un gran interés en la producción de SL. El objetivo de este trabajo fue obtener lípidos estructurados por interesterificación química a partir de grasa de palmiste y aceite de pescado y analizar las interacciones que ocurrieron en las mezclas binarias de los lípidos. Fueron estudiadas seis muestras, representadas por dos muestras individuales y cuatro mezclas binarias. Las muestras fueron analizadas en cuanto a su composición de ácidos grasos y consistencia en el rango de temperaturas de 5 a 25°C. Se aplicó un modelo de regresión múltiple del tipo cuadrático. Los resultados demostraron que las interacciones entre los dos componentes fueron significativas. La consistencia dependió de la grasa de palmiste y de las interacciones entre ellos. Los coeficientes negativos para la consistencia mostraron efecto antagónico, que es característico de las interacciones eutécticas entre las grasas.

PALABRAS-CLAVE: Aceite de pescado - Consistencia - Grasa de palmiste - Lípidos Estructurados - Mezclas binarias.

SUMMARY

Consistency of structured lipids from fish oil and palm kernel fat.

Through interesterification of oils and fats is possible to obtain structured lipids (SL), which are considered functional foods, due their potential effects on the prevention of diseases. For this reason, there is great interest in the production of SL. The objective of this paper was to obtain structured lipids from chemical interesterification from palm kernel fat and fish oil and to analyse the interactions that occur in the binary mixtures of these lipids. Six samples consisting of two individual samples and four binary mixtures were studied. The samples were analyzed for fatty acid composition and consistency at the range temperature from 5 to 25°C. A mathematical model of multiple regression of the quadratic type was applied. The results showed that the interactions between the two components were significant. The consistency depended on the palm kernel fat and on the binary interactions between palm kernel fat and fish oil. The negative coefficients to the consistency showed an antagonistic effect which is characteristic of eutectic interactions between fats.

KEY-WORDS: Binary mixtures - Consistency - Fish Oil - Palm kernel fat - Structured lipids.

1. INTRODUCCIÓN

Los porcentajes relativos de los diferentes ácidos grasos en la dieta humana sufrieron alteraciones profundas a consecuencia del procesamiento industrial de los alimentos. El aumento de consumo de aceites vegetales y la disminución del consumo de productos derivados del pescado provocó un aumento de la relación de ácidos grasos n-6/n-3, siendo actualmente en la orden de 20-30:1. Sería ideal que esta relación llegase a valores de 2-4:1, típica de la época en que el código genético humano fue establecido, en respuesta a la dieta (Goldberg, 1994).

La idea de interesterificar los triglicéridos de cadena media (TGCM) con los triglicéridos de cadenas largas (TGCL) utilizando especialmente aceite de pescado, rico en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) n-3, se debe al hecho de que los TGCM por sí+ solos no constituyen un aporte lipídico suficiente y equilibrado; pues carecen de los ácidos grasos esenciales (AGE). Además de eso, los TGCM, presentan desventajas que están asociadas a su consumo tales como toxicidad a altas concentraciones y su potencial para inducir acidólisis (Sandstrom *et al.*, 1993; Bell *et al.*, 1997; Ulrich *et al.*, 1996). Para evitar estos problemas, los ácidos grasos de cadena media (AGCM) pueden ser incorporados en grasas y aceites en la forma de lípidos estructurados, conteniendo AGCM en las posiciones sn-1 y sn-3 y una cadena larga de PUFA en la posición sn-2. Es beneficioso la presencia de los AGCL insaturados y poliinsaturados en la posición sn-2 debido a la baja actividad de la lipasa pancreática con relación a estos ácidos grasos cuando ellos están presentes en las posiciones sn-1 y sn-3 (Carnielli *et al.*, 1995). Por tanto, ellos son más fácilmente absorbidos como sn-2 monoacilglicerol. Un lípido con esta composición es más completo y nutricionalmente más benéfico, siendo bien tolerado y más rápidamente metabolizado que los TGCL cuando son incorporados a las emulsiones lipídicas administradas a pacientes (Sandstrom *et al.*, 1993).

La literatura actual presenta diversos trabajos dirigidos a la obtención y caracterización de lípidos es-

triturados conteniendo aceite de pescado o ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 (Jennings & Akoh, 2001; Osorio *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2000; Akoh & Moussata, 2001; Haraldsson *et al.*, 2000; Druschky & Pscheidl, 2000; Yankah & Akoh, 2000). Con todo, los autores no presentan resultados referentes a las propiedades físicas de estos lípidos estructurados.

La consistencia es un atributo de gran importancia en productos alimenticios. Esta propiedad puede ser considerada como un aspecto funcional de las grasas plásticas, que son mezclas de cristales de grasa sólida y aceite líquido, y que soportan determinados niveles de tensiones antes de que se deformen. Los cristales de la grasa forman una red tridimensional, que proporciona plasticidad al material (Deman, 1983; Deman & Beers, 1988).

El objetivo del trabajo fue obtener lípidos estructurados por interesterificación química a partir de grasa de palmiste y aceite de pescado y analizar las interacciones que ocurren en las mezclas binarias de estos lípidos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Material

Aceite refinado de pescado: OmegaVit EPA, proporcionado por la empresa BASF (São Paulo, SP, Brazil). Es un aceite natural de una variedad de pescados, refinado, desodorizado y estabilizado con tocoferol, conteniendo EPA (17%), DHA (11%), otros n-3 PUFAs (5%), otros PUFAs (12%) y MUFAs (24%), según especificación del fabricante.

Aceite de palmiste: proporcionado por la empresa Agropalma S.A. (São Paulo, SP, Brazil).

2.2. Mezcla e interesterificación

Para el estudio de las interacciones en mezclas binarias de grasas se realizó una planificación de 6 experimentos. La grasa de palmiste y el aceite de pescado son representadas por x_1 y x_2 , respectivamente, siendo que $x_1 + x_2 = 1$ o 100%. Dos muestras representan los componentes aisladamente y cuatro son formadas por mezclas binarias. Las muestras, después de haber sido completamente fundidas a la temperatura de 60-70°C fueron preparadas por mezclas, y luego fueron solidificadas almacenándolas bajo refrigeración.

Se aplicó un modelo de regresión múltiple del tipo cuadrático, para mezclas de aceites y grasas, representado por la siguiente ecuación (Hare, 1974):

$$Y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2$$

Donde:

Y = respuesta;

β = coeficientes generados por regresión múltiple;
x = proporción de los componentes

Se utilizó el programa Statgraphics versión 2.6 que generó los coeficientes para el modelo, además de presentar sus niveles de significación, coeficientes de determinación y análisis de variancia.

Para la interesterificación química, las muestras fueron previamente fundidas en horno de microondas. Entonces, 320 g de cada muestra se calentaron en evaporador rotativo durante 60 min en un matraz de 250 mL, a temperatura entre 90-95°C, y a presión reducida (56mm de Hg), para la remoción de trazas de humedad del material. Después, la muestra se transfirió a un matraz de tres bocas de 250 mL. El sistema se enfrió a 60°C, y luego se adicionó el catalizador metóxido de sodio en la proporción de 0,4%. Inmediatamente antes de la adición del catalizador se retiró una muestra inicial, la cual sirvió para disolver el metóxido. Después de un período de 60 minutos de reacción, con agitación y presión reducida, se adicionó agua destilada para inactivar al catalizador, manteniendo la agitación por tres minutos más. La muestra caliente interesterificada fue entonces filtrada al vacío, sobre sulfato de sodio y kieselgur. La filtración se realizó para retener humedad y eliminar los jabones y compuestos oscuros formados.

El catalizador metóxido de sodio se preparó por la evaporación del metanol de una solución comercial de metóxido de sodio al 30%. El producto seco se trituró en mortero de vidrio. Para facilitar la dispersión del catalizador, éste se pre-mezcló con la porción de muestra que se retiró, tal como se ha mencionado antes, adicionándose entonces el resto, con agitación (Gioielli & Baruffaldi, 1987; 1988; D'Agostini *et al.*, 2001; Sotero Solis *et al.*, 2001).

2.3. Preparación de ésteres metílicos de los ácidos grasos

Los ácidos grasos de las muestras fueron transformados en ésteres metílicos, según la técnica descrita por Hartman & Lago (1973), y se analizaron por cromatografía de gases.

2.4. Composición de los ácidos grasos

El análisis de la composición de los ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases Varian modelo 3400 CX, equipado con detector de ionización de llama y "Workstation Star Chromatography", utilizando una columna capilar de sílica fundida CP WAX 52CB (Chrompack) con 30 metros de longitud, 0,25 mm de diámetro interno, conteniendo 0,25 %m de polietilenglicol. Las condiciones fueron: inyección split, razón de 50:1; temperatura de la columna: 150°C durante 5 minutos, programada hasta 215°C, incrementándose a razón de 3°C por minuto; gas de

arraste: helio, flujo de 1,5 mL/min; gás make-up: helio 30 mL/min; temperatura del inyector: 250°C; temperatura del detector: 280°C. La composición cualitativa se determinó por comparación de los tiempos de retención de los picos con los respectivos patrones de los ácidos grasos. La composición cuantitativa se realizó por normalización de áreas, siendo expresada como porcentaje en masa.

2.5. Consistencia

La medida de la consistencia se efectuó por medio de la prueba de penetración con cono acrílico de ángulo de 45°, en el analizador de textura TA-XT2, de Stable Micro Systems, controlado por microcomputador.

Las muestras se calentaron a la temperatura de 60-70°C en horno de microondas hasta fusión completa de los cristales, siendo acondicionadas en matraces de 250 mL. El acondicionamiento se efectuó durante 24 horas mediante refrigeración a 5-8°C y luego durante 24 horas en estufa a temperatura controlada de 5, 10, 15, 20, y 25°C.

Las pruebas se realizaron en las siguientes condiciones:

- Determinación de la fuerza de compresión;
- Distancia: 10.0 mm;
- Velocidad: 2.0 mm/s;
- Tiempo de penetración: 5 s;
- Por triplicado: en tres puntos diferentes para cada muestra.

Para realizar la conversión de los datos de penetración en un parámetro independiente del peso y del tipo de cono, se utilizó la ecuación propuesta por Haighton (1959), para el cálculo del "yield value":

$$C = K \times W / p^{1/6}$$

Donde: C = "yield value", en g/cm²

K = factor que depende del ángulo del cono (para ángulo de 45°, K es igual a 4700)

W = peso total del sistema, en g (para penetrómetro de cono)

p = profundidad de penetración, en 0.1 mm.

Considerando las condiciones de las pruebas de compresión realizados con el analizador de textura, la ecuación tomó la siguiente forma:

$$C = 4700 \times W / 100^{1/6}$$

Donde: C = "yield value", en g/cm²

W = fuerza en compresión en g, para un tiempo igual a 5 segundos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla I muestra la composición de los ácidos grasos de la grasa de palmiste, del aceite de pescado y de las respectivas mezclas binarias. Los resul-

tados indican que la composición de los ácidos grasos de la grasa de palmiste y aceite de pescado, en general, están de acuerdo con los límites encontrados en la literatura y dentro de las especificaciones comerciales de los fabricantes (Timms, 1985; Gunstone *et al.*, 1994; Ong *et al.*, 1995; Sonntag, 1979; Zeitoun, 1993). Se observa que la grasa de palmiste contiene gran cantidad de ácido láurico (45%), mientras que el aceite de pescado presenta ácidos grasos poliinsaturados como el EPA y DHA, con porcentajes de 17% y 10%, respectivamente.

Los resultados presentados en la tabla II, verifican que la composición de los ácidos grasos de las mezclas y de los correspondientes lípidos estructurados es muy semejante a los presentados en la tabla I. Esto confirma que la interesterificación química no promueve alteración en la composición de los ácidos grasos de las muestras. Se obtuvo lípidos estructurados conteniendo de 5.0 a 23.4% de ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga.

La necesidad adicional de ácidos grasos de cadena larga n-3 (DHA y EPA) en la dieta está en discusión y se recomienda por muchos organismos. Según la Fundación de Nutrición Británica (FNB), las dietas teniendo como base el aceite de pescado, pueden disminuir los niveles de colesterol del plasma humano. Además de eso, estas dietas son más efectivas que las compuestas por ácidos grasos derivados de aceites vegetales, porque los ácidos EPA y DHA son más rápidamente incorporados al plasma y membrana lipídica y, también, producen efectos más rápidos en comparación con el ácido oleico 18:1(n-9) y el ácido linolénico 18:2(n-6) (Sargent & Henderson, 1995).

La obtención y caracterización de lípidos estructurados conteniendo aceite de pescado y ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 (Jennings & Akoh, 2001; Osorio *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2000; Akoh & Moussata, 2001; Haraldsson *et al.*, 2000; Drusschky & Pscheidl, 2000; Yankah & Akoh, 2000) han sido realizadas principalmente por vía enzimática utilizando como materias primas aceite de pescado refinado tales como el aceite de caballa, de menhaden y triacilglicerol purificados de aceite de pescado. Estos componentes se interesterificaron con aceites de canola y de colza, y con triacilglicerol de cadena media y tricaprilina. También se utilizaron ácidos grasos libres, como los ácidos caprílico, cáprico, eicosapentaenóico, docosaexaenóico y ácidos grasos libres de aceite de girasol. Los autores obtuvieron lípidos estructurados conteniendo de 29 a 52% de ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga. Estos productos se analizaron en cuanto a su composición en ácidos grasos, composición en triacilglicerol, ácidos grasos presentes en la posición sn-2, migración acil proveniente de la interesterificación, estabilidad oxidativa, índices de yodo, de saponificación y de peróxidos, y contenido de ácidos

Tabla I
Composición de los ácidos grasos de las grasas individuales y de las mezclas binarias

Ácido graso (%)	Muestra (n°) *					
	1 (X ₁)	2	3	4	5	6 (X ₂)
	(100: 0)	(80: 20)	(60: 40)	(40: 60)	(20: 80)	(0: 100)
6:0	0.20	0.24	-	-	-	-
8:0	3.13	3.19	3.20	1.45	0.71	-
10:0	3.18	3.10	2.97	1.43	0.71	-
12:0	45.51	42.00	37.58	20.00	10.24	0.17
14:0	15.64	14.68	14.01	11.20	9.51	9.02
15:0	-	-	-	0.30	0.39	0.56
16:0	9.48	10.10	11.18	13.80	14.77	17.44
16:1	0.09	1.64	3.23	5.35	7.13	9.53
16:2n-7	-	0.21	0.44	0.71	0.95	1.30
16:2n-4	-	-	-	0.19	0.40	0.51
17:0	-	-	-	0.26	0.34	0.44
17:1	-	2.27	0.54	1.01	1.35	1.90
16:4	-	0.38	0.80	1.26	1.76	2.28
18:0	2.55	2.36	2.26	2.92	3.02	3.20
18:1n-9	16.90	13.74	12.50	14.40	13.59	13.10
18:2n-6	2.64	2.14	1.57	1.71	1.44	1.11
18:2n-4	-	-	-	0.24	0.31	0.40
18:3n-6	-	-	-	0.15	0.20	0.26
18:3n-3	0.13	-	-	0.37	0.50	0.64
18:4n-3	-	0.39	0.76	1.37	1.80	2.30
20:0	0.13	-	-	0.24	0.28	0.30
20:1	0.13	0.21	-	0.57	0.73	0.85
20:2	-	-	-	-	0.20	0.20
20:3	-	-	-	-	0.13	-
20:4n-6	-	0.16	-	0.57	0.76	0.92
20:5n-3	-	2.90	5.36	10.50	14.44	17.00
22:0	-	-	-	0.39	0.13	0.62
22:1n-11	-	-	-	-	0.60	-
22:2	-	-	-	0.42	0.64	0.64
22:5n-3	-	0.35	0.61	1.30	1.75	2.05
22:6n-3	-	1.61	2.99	6.30	8.40	10.00
ni	0.29	0.33	0.00	1.59	2.85	3.26

* media de tres determinaciones.

X₁= Grasa de palmiste

X₂= Aceite de pescado

grasos libres. En este trabajo se procuró obtener lípidos estructurados que presentasen características físicas provenientes del estado sólido, pues la demanda para aceite es solamente 1/3 de la producción total, mientras que 2/3 de los aceites líquidos producidos son consumidos en el estado semi-sólido, después de algún tipo de modificación. Esto ocurre porque, con excepción de los aceites para ensalada y fritura, todos los productos grasos se someten a alguna forma de cristalización antes del embalaje (Seher, 1976).

La consistencia es una de las propiedades físicas más importantes de las grasas, pues se encuentra directamente asociada a sus diversas aplicaciones. Esta propiedad puede ser considerada como un aspecto funcional relevante de las grasas plásticas, que son mezclas de cristales de grasa sólida y aceite líquido. Los cristales de grasa forman una red tridimensional, que comunica plasticidad al material (Demman, 1983; Deman & Beers, 1988).

La Tabla III presenta los datos de la consistencia de las muestras, antes y después de la interesterificación, calculada como "yield value" en g/cm², en función de la temperatura. Las grasas se comportan como sólidos rígidos hasta que el "stress" de deformación excede el "yield value", y comienzan a fluir como un líquido viscoso (Deman & Beers, 1988).

Los resultados muestran que la consistencia de las muestras disminuyen por efecto de la interesterificación, con excepción de la muestra 5, que contenía 80% de aceite de pescado. El aumento de la consistencia de la muestra 5 interesterificada puede ser justificado debido a la formación de una mayor cantidad de triacilgliceroles trisaturados y disaturados de cadena larga conteniendo ácidos grasos palmítico y esteárico. Para el aceite de pescado interesterificado, a pesar de haber presentado elevado aumento en el punto de fusión, no fue posible determinar la consistencia, incluso a temperaturas bajas, por haberse presentado como un líquido viscoso.

Tabla II
Composición de los ácidos grasos de los lípidos estructurados de las mezclas binarias después de la interesterificación química

Ácido graso (%)	Muestra (n°) *			
	2 (80:20)	3 (60:40)	4 (40:60)	5 (20:80)
6:0		-	-	-
8:0	3.04	2.18	1.67	0.76
10:0	2.89	2.11	1.55	0.69
12:0	40.62	29.60	21.31	10.02
14:0	15.01	13.09	11.65	9.69
15:0	-	0.21	0.31	0.41
16:0	10.72	12.38	13.80	15.83
ni	-	-	0.16	0.20
16:1	1.77	3.58	5.40	7.26
ni	-	0.61	1.09	1.83
17:0	-	0.19	0.26	0.36
17:1	-	0.59	0.84	1.12
16:4	0.38	0.79	1.30	1.60
18:0	2.60	2.82	2.92	3.19
18:1n-9	14.91	14.09	12.70	11.78
ni	0.63	1.25	1.94	2.68
18:2n-6	2.32	2.08	1.73	1.46
ni	-	-	0.23	0.32
18:3n-6	0.14	0.14	0.15	0.21
ni	-	-	-	0.14
18:3n-3	0.24	0.24	0.35	0.51
18:4n-3	-	0.86	1.26	1.72
ni	-	-	0.11	0.16
20:0	-	0.20	0.24	0.30
20:1	-	0.42	0.59	0.80
ni	-	-	0.16	0.39
20:2	-	-	-	0.12
20:3	-	0.36	0.60	0.77
20:4n-6	-	-	-	0.56
20:5n-3	2.97	6.60	9.50	13.61
22:0	-	0.27	0.38	0.56
22:1n-11	-	-	-	0.14
22:2	-	0.25	0.36	0.53
ni	-	0.12	0.16	0.27
22:5n-3	0.38	0.72	1.20	1.77
22:6n-3	1.64	3.80	5.31	8.01
ni	-	0.16	0.21	0.23

* media de tres determinaciones.

Es posible comparar las muestras en función de la propiedad subjetiva de esparcimiento, usando criterios pre-establecidos. Productos con "yield value" en el rango de 200 a 800 g/cm² son los más satisfactorios desde el punto de vista de esparcimiento. Según la clasificación de los productos grasos en función del "yield value", propuesta por Haighton (1959), la grasa de palmiste demostró ser muy dura hasta la temperatura de 25°C, tornándose súbitamente muy blanda, con fluidez a la temperatura de 30°C. Esto evidencia la baja plasticidad de esta grasa. Con la adición del aceite de pescado, las mezclas con grasa de palmiste se hicieron más plásticas a temperaturas cada vez menores.

El efecto de la temperatura en la consistencia está relacionada con la disminución en el contenido de grasa sólida y, consecuentemente, en la alteración de la red cristalina del producto. La red cristalina consiste de una disposición tridimensional de partículas entrelazadas, ordenadas como cadenas ramificadas e interligadas, formadas por cristales

separados o agregados pre-formados (Demant & Beers, 1988).

Las Figuras 1 y 2 presentan las curvas de consistencia de las muestras en función de la proporción de los componentes, antes y después de la interesterificación, respectivamente. Estas figuras muestran la formación del efecto eutéctico debido a la interacción entre los componentes de las mezclas.

La Tabla IV muestra los coeficientes (β) calculados por regresión múltiple a partir de los resultados experimentales de la consistencia, antes y después de la interesterificación, respectivamente. Los coeficientes no significativos ($p > 0,05$) fueron eliminados. La consistencia dependió de la grasa de palmiste y de la interacción con el aceite de pescado. Antes y después de la interesterificación, el aceite de pescado, siendo el componente líquido, no contribuyó estadísticamente para la consistencia a cualquier temperatura. Los coeficientes negativos para la interacción entre la grasa de palmiste y el aceite de pescado demostraron un efecto antagónico, característico de

Tabla III
Consistencia de las muestras en función de la temperatura, antes y después de la interesterificación

Temperatura (°C)	Consistencia (g/cm ³)					
	Muestra (n°)					
	1 (x ₁) (100: 0)	2 (80: 20)	3 (60: 40)	4 (40: 60)	5 (20: 80)	6 (x ₂) (0:100)
Antes de la interesterificación						
5	26109	14753	6857	3324	859	0
10	19619	10544	4088	1690	367	0
15	12654	7253	3342	1187	125	0
20	7592	3795	1303	247	0	0
25	3651	1751	575	75	0	0
Después de la interesterificación						
5	17603	9582	3200	1356	1371	0
10	12569	7451	1998	1233	1059	0
15	9819	4729	1542	1020	867	0
20	3998	1911	904	480	346	0
25	244	100	0	0	0	0

X₁= Grasa de palmiste
 X₂= Aceite de pescado

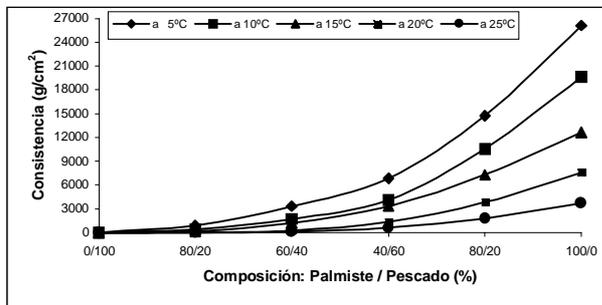


Figura 1

Consistencia de la grasa de palmiste, del aceite de pescado y sus mezclas, antes de la interesterificación

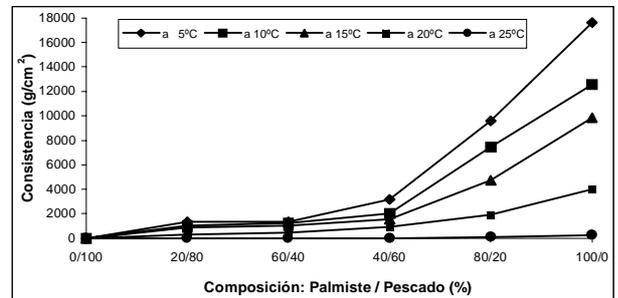


Figura 2

Consistencia de la grasa de palmiste, del aceite de pescado y sus mezclas, después de la interesterificación

las interacciones eutécticas entre las grasas. El efecto eutéctico disminuyó después de la interesterificación. Esto se puede explicar por la formación de triacilglicérolos mixtos que disminuyen la incompatibilidad existente entre la grasa de palmiste y el aceite de pescado (Hoffmann, 1989). El sistema eutéctico es el más frecuentemente encontrado en mezclas de grasas, siendo ejemplos las mezclas PPP/StStSt, POST/POP, StOSt/StStO, EEE/StOSt, POST/PStO y PPP/StOSt, donde P = palmítico, St esteárico, O = oléico y E = elaidico. Estos sistemas tienden a ocurrir cuando los componentes difieren en volumen molecular y forma polimórfica, pero no acentuadamente en el punto de fusión. En el sistema eutéctico, la solubilidad en el estado sólido no es completa (Timms, 1984). El

aceite de pescado y la grasa de palmiste difieren en tamaño de cadena carbónica y, consecuentemente, en los pesos moleculares de los ácidos grasos que prevalecen en su composición, además de presentar formas polimórficas también diferentes (la grasa de palmiste cristaliza en la forma β , mientras que el aceite de pescado cristaliza en la forma β'). De esa forma, el empaquetamiento molecular en la red cristalina se dificulta, ocasionando el ablandamiento que es característico del efecto eutéctico (German & Simoneau, 1998; Timms, 1995; Young, 1985).

4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron lípidos estructurados conteniendo de 5.0 a 23.4% de ácidos grasos poliinsaturados n-3

Tabla IV
Coefficientes calculados por regresión múltiple a partir de los resultados experimentales antes y después de la interesterificación

Consistencia	Coefficientes			R ²
	β_1	β_2	β_{12}	
Antes de la interesterificación				
5°C	25621	0	-3.31 X 10 ⁴	0.996
10°C	19224	0	-2.86 X 10 ⁴	0.994
15°C	12543	0	-1.69 X 10 ⁴	0.999
20°C	7420	0	-1.25 X 10 ⁴	0.993
25°C	3551	0	-0.62 X 10 ⁴	0.991
Después de la interesterificación				
5°C	17213	0	-2.66 X 10 ⁴	0.983
10°C	12443	0	-1.87 X 10 ⁴	0.976
15°C	9347	0	-1.48 X 10 ⁴	0.967
20°C	3792	0	-0.54 X 10 ⁴	0.976
25°C	232	0	-0.05 X 10 ⁴	0.955

de cadena larga y que presentaron un comportamiento físico plástico, aumentando sus características de aplicación. La consistencia dependió de la grasa de palmiste, antes y después de la interesterificación. El aceite de pescado, siendo el componente líquido, no contribuyó estadísticamente para esta propiedad. Los coeficientes relativos de las interacciones significativas entre las muestras fueron siempre negativos, demostrando efecto antagonico para la consistencia, característico de interacciones eutécticas entre las grasas.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación de Amparo a la Pesquisa del Estado de San Paulo – FAPESP, al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico – CNPq y a la Coordinación de Aperfeccionamiento del Personal de Nivel Superior – CAPES, por la ayuda financiera y por las becas concedidas a los autores.

BIBLIOGRAFIA

- Akoh, C.C. y Moussata, C.O. (2001). Characterization and oxidative stability of enzymatically produced fish and canola oil-based structured lipids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **78**, 25-30.
- Bell, S.J., Bradley, D., Forse, R.A. y Bilstrian, B. (1997). The new dietary fats in health and disease. *J. Am. Dietary Assoc.* **97**, 280-286.
- Carnielli, V.P., Luijendijk, I.H.T., VAN, G.J.B., Sulkers, E.J., Boerlage, A.A., Degen, H.J. y Sauer, P.J. (1995). Feeding premature newborn infants palmitic acid in

amounts and stereochemical position similar to that of human milk: effects on fat mineral balance. *J. Am. Clin. Nutr.* **61**, 1037-1042.

- D'Agostini, D., Ferraz, R.C., Gioielli, L.A. y Sotero Solis, V.E. (2001). Lípidos estructurados obtenidos por interesterificación de las mezclas binarias y ternarias de las grasas de palma, semilla de palma y triglicéridos de cadena media. *Grasas Aceites*, **52**, 214-221.
- Demam, J.M. (1983). Consistency of fats: a review. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **60**, 82-87.
- Demam, J.M. y Beers, A.M. (1988). Fat crystal networks: structure and rheological properties. *J. Texture Stud.*, **18**, 303-318.
- Druschky, K. y PscheidL, E. (2000). Different effects of chemically defined structured lipids containing omega-3 or omega-6 fatty acids on nitrogen retention and protein metabolism in endotoxemic rats. *Nutr. Res.* **20**, 1183-1192.
- German, J. B. y Simoneau, C. (1998). Phase transitions of edible fats and triglycerides: theory and applications en *Phase/state transitions in foods*, p.187-216, Rao, M. A. y Hartel, R. W. (Eds.), Marcel Dekker, New York.
- Gioielli, L.A. y Baruffaldi, R. (1987). Interesterificação de gordura de babaçu e azeite de dendê: Influência nos pontos de fusão e de amolecimento e no índice de gordura sólida. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo*, **23**, 41-51.
- Gioielli, L.A. y Baruffaldi, R. (1988). Acompanhamento da reação de interesterificação de gordura de babaçu e azeite de dendê. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo*, **24**, 29-38.
- Goldberg, I. (1994). Functional foods: designer foods, pharmafoods, nutraceuticals. Chapman & Hall, New York.
- Gunstone, F.D., Harwood, J.L. y Padley, F.B. (1994). The lipid handbook. 2 ed. Chapman & Hall, London.

- Haighton, A.J. (1959). The measurement of the hardness of margarine and fats with cone penetrometers. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **36**, 345-348.
- Haraldsson, G.G., Halldorsson, A. y Kulas, E. (2000). Chemoenzymatic synthesis of structured triacylglycerols containing eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **77**, 1139-1145.
- Hare, L. B. (1974). Mixture designs applied to food formulation. *Food Technol.* **28**, 50-62.
- Hartman, L. y Lago, R.C.A. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab. Prac.* **22**, 475-477.
- Hoffmann, G. (1989). The chemistry and technology of edible oils and fats and their high fat products. Academic Press, London.
- Jennings, B.H. y Akoh, C.C. (2001). Lipase Catalyzed Modification of Fish Oil to Incorporate Capric Acid. *Food Chemistry*, **72**, 273-278.
- Ong, A.S.H., Choo, Y.M. y Ooi, C. K. (1995). Developments in palm oil en *Developments in oils and fats*, p.153-191, Hamilton, R.J. (Ed.), Blackie, London.
- Osorio, N.M., Ferreira, D.S. y Gusmão, J.H. (2001). Response surface modeling of the production of omega-3 polyunsaturated fatty acids-enriched fats by a commercial immobilized lipase. *J. Mol. Catal. B-Enzym.* **11**, 677-686.
- Sandstrom, R., Hyltander, A., Korner, U., y Laundholm, K. (1993). Structured triglycerides to postoperative patients: a safety and tolerance study. *J. Parent. Enteral Nutr.* **17**, 153-157.
- Sargent, J. R. y Henderson, R. J. (1995). Marine (n-3) polyunsaturated fatty acids en *Developments in oils and fats*, p.32-35, Hamilton, R.J. (Ed.), Blackie, London.
- Seher, A. (1976). Hydrogenation and transesterification en *Lipids technology*, v.2, p.527-533, Paoletti, R., Jacini, G. y Porcellati, R. (Eds.), Raven Press, New York.
- Sonntag, N.O.V. (1979). Sources, utilization and classification of oils and fats en *Bailey's industrial oil and fat products*, v.1, 4. ed. p. 445-448, Huy, Y.H. (Ed.), Wiley-Interscience, New York.
- Sotero Solis, V.E., Gioielli, L.A. y Polakiewicz, B. (2001). Hidrogenación y interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). *Grasas Aceites*, **52**, 192-197.
- Timms, R.E. (1984). Phase behaviour of fats and their mixtures. *Prog. Lipid Res.* **23**, 1-38.
- Timms, R.E. (1985). Physical properties of oils and mixtures of oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **62**, 241-248.
- Timms, R.E. (1995). Crystallization of fats en *Developments in oils and fats*, p.204-223, Hamilton, R.J. (Ed.), Blackie, London.
- Ulrich, H., Pastores, M.S., Katz, D.P., y Kvetan, V. (1996). Parenteral use of medium chain triglycerides: A reappraisal. *Nutrition*, **12**, 231-238.
- Yankah, V.V. y Akoh, C.C. (2000). Batch enzymatic synthesis, characterization and oxidative stability of DHA-containing structured lipids. *J. Food Lipids*, **7**, 247-261.
- Young, F.V.K. (1985). Interchangeability of fats and oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **62**, 372-376.
- Zeitoun, M. A., Neff, W. E., y List, G. R. (1993). Mounts, T. L. Physical properties of interesterified fat blends. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* Champaign, **70**, 467-471.
- Zhou, D.Q., Xu, X.B. y Mu, L.H. (2000). Lipase-catalyzed production of structured lipids via acidolysis of fish oil with caprylic acid. *J. Food Lipids*, **7**, 263-274.

Recibido: Diciembre 2001
Aceptado: Noviembre 2002