

## Hydrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*)

Por Víctor Sotero Solís, Luiz Antonio Gioielli\* y Bronislaw Polakiewicz

Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica. Facultad de Ciencias Farmacéuticas. Universidad de São Paulo, USP. Caixa Postal 66083, CEP 05315-970. São Paulo, SP. – Brasil.

### RESUMEN

#### Hydrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*bertholletia excelsa*).

El aceite de castaña de Brasil (ACB) fue hidrogenado, en un reactor Parr de 1 L, catalizador a base de Ni, y bajo las siguientes condiciones de proceso: 175°C, 3 atm, 60 min (GH1), 150°C, 1 atm, 30 min (GH2) y 125°C, 1 atm, 30 min (GH3). Con las grasas resultantes se prepararon mezclas en diferentes proporciones de ACB con GH1 y GH2. Estas fueron interesterificadas a escala de laboratorio con 0.75% de metóxido de sodio, 60 min, 60-65°C. En la hidrogenación la selectividad linoleica (SI) fue 3.87 (GH1), 17.46 (GH2) y 8.45 (GH3) y la selectividad linolénica (SIn) fue 2.3 para las tres reacciones. A los parámetros de las propiedades físicas de los productos interesterificados, se aplicó un modelo de regresión múltiple. Los resultados mostraron que la consistencia y el contenido en grasa sólida dependían de la grasa hidrogenada, e indicaron que las interacciones fueron en general, significativas para las mezclas interesterificadas de ACB/GH1 y GH1/GH2 en cuanto a la consistencia, pero no en las otras propiedades físicas.

**PALABRAS-CLAVE:** Aceite – Castaña de Brasil – Hidrogenación - Interesterificación.

### SUMMARY

#### Hydrogenation and interesterification of Brazil nut oil (*Bertholletia excelsa*).

Brazil nut oil (ACB) was hydrogenated in a 1L Parr reactor, with Ni as catalyst, at the following process conditions: 175°C, 3 atm, 60 min (GH1), 150°C, 1 atm, 30 min (GH2) and 125°C, 1 atm, 30 min (GH3). Different proportions of blends with ACB and GH1 and GH2 were prepared. These mixtures were interesterified at laboratory scale (0.75% of sodium methoxide, 60 min, 60-65°C). Linoleic selectivity (SI) was 3.87 (GH1), 17.46 (GH2) and 17.46 (GH3). Linolenic selectivity (SIn) was 2.3 for every reaction. It was observed different results for starting and interesterified blends for the physical properties, for these parameters and for the interesterified fats, were applied a multiple regression. Results showed that consistency and solid fat content (SFC) were dependent on the hydrogenated fats. Significant interactions were, in general, for the interesterified blends of ACB/GH1 and GH1/GH2, only for the consistency and not for the other properties.

**KEY-WORDS:** Brazil nut – Hydrogenation – Interesterification - Oil.

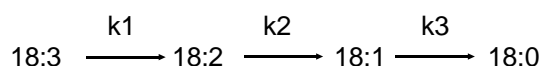
## 1. INTRODUCCIÓN

La hidrogenación de aceites consiste en la adición de hidrógeno a los dobles enlaces de las cade-

nas de los ácidos grasos que lo componen. Es un proceso muy importante en la industria de aceites y grasas porque permite la conversión de aceites en grasas semisólidas o plásticas e incrementa la estabilidad oxidativa de los mismos (Nawar, 1996).

El catalizador mas empleado se prepara a base de níquel, soportado en tierras naturales, tal como tierra de diatomea y suspendida en una grasa completamente hidrogenada, generalmente de soja o palma. En este caso, la concentración de níquel representa 20-25% de la masa total (Willis *et al.*, 1998).

Según Allen (1982) las reacciones de hidrogenación se pueden considerar de primer orden e irreversibles y se pueden expresar como:



Siendo  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  las constantes de velocidad para la hidrogenación del ácido linolénico, linoleico y oleico, respectivamente.

La relación  $k_2/k_3$  se denomina selectividad linoleica (SI), siendo deseable que sea alta, sobre 30, y en consecuencia se obtendrían compuestos monoenoicos, con pequeña formación de ácido esteárico. La relación  $k_1/k_2$  es la selectividad linolénica (SIn). Para una SIn alta se obtienen rendimientos altos de compuestos dienoicos (Allen, 1982; Hoffman 1989).

La interesterificación es un proceso que modifica la distribución natural de los ácidos grasos en las moléculas de los triglicéridos. La composición de los ácidos grasos permanece idéntica a la grasa o mezcla original, pero las propiedades físicas, como punto de fusión, contenido de grasa sólida y forma de cristalización, son modificados (Gioielli, 1998).

La interesterificación puede realizarse por simple calentamiento de los aceites y grasas a temperaturas que bordean los 300°C, pero la reacción a esta condición es lenta y normalmente acompañada de descomposición y polimerización de los triglicéridos. En la industria se utilizan catalizadores para disminuir la temperatura de reacción. Los catalizadores más usados son los metales alcalinos y sus derivados, siendo el metóxido de sodio el más empleado, debido a sus ventajas de costo, manipulación y tem-

peratura de reacción, que puede ser reducida para el rango de 30-90°C (Gioielli, 1998; Hurtová *et al.*, 1996).

La castaña de Brasil es una especie originaria de la Amazonia, prospera en terrenos inundables y con buen drenaje. Es un árbol gigantesco (30-50 m de altura), se la encuentra, con gran frecuencia, en la floresta amazónica, formando los llamados castañales. La semilla del fruto del árbol de la castaña de Brasil es comestible, prensada produce un aceite claro, de coloración y aroma agradables, rico en ácidos grasos insaturados, siendo utilizado en la culinaria amazónica. El rendimiento medio del aceite es de 67% (Flores Paytán, 1997).

Los objetivos del presente trabajo, fueron el de estudiar la hidrogenación del aceite de castaña de Brasil a diferentes condiciones de proceso y los productos de la interesterificación química de este aceite mezclado con sus grasas hidrogenadas.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó aceite de castaña de Brasil (ACB), extraído por prensado de sus semillas provenientes del estado de Pará (Brasil). Parte del aceite fue sometido a tres reacciones de hidrogenación, en un reactor Parr de 1 L de capacidad, con agitación y serpentín interno para enfriamiento, bajo las siguientes condiciones: 175°C, 3 atm, 60 min (GH1), 150°C, 1 atm, 30 min (GH2) y 125°C, 1 atm, 30 min. En todas las reacciones se utilizó 0.25% de catalizador a base de níquel, Pricatt 9920-06 (Unichema), en relación al peso del aceite y, velocidad de agitación de 545 rpm. El producto final de cada hidrogenación fue filtrado en forma sucesiva a 80°C, hasta que no presentó residuos de níquel.

Con el aceite crudo y las grasas hidrogenadas, se efectuaron mezclas siguiendo el esquema de la Tabla IV. Las muestras fueron sometidas a una reacción de interesterificación, utilizando 100 g de cada muestra en un balón de fondo redondo de 250 mL, manteniendo la temperatura a 60-65 °C, en un baño de agua controlada con termostato, por 60 min. El catalizador de metóxido de sodio fue adicionado en la proporción de 0.75% en peso con relación a la muestra. Al término de la reacción se le adicionó 3 mL de agua para inactivar el catalizador, luego 5 g de tierra de diatomea y sulfato de sodio y finalmente se filtró a 60°C. Se realizó el análisis de ácidos grasos del ACB y sus grasas hidrogenadas, utilizando la técnica de la cromatografía gaseosa (AOCS, 1990). A los productos de la hidrogenación e interesterificación, se les sometió a los análisis de consistencia, utilizando el cono acrílico de ángulo de 45° (Haighton, 1995), contenido de grasa sólida utilizando la resonancia magnética nuclear de baja resolución (AOCS, 1996), viscosidad (Institute of Petroleum, 1974) y punto de fusión de capilar abierto (AOCS, 1990).

A los productos interesterificados de las mezclas, según la Tabla IV, se les aplicó un modelo de regresión múltiple, de tipo cuadrático (Hare, 1974), representada por la siguiente ecuación:

$$y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3$$

Donde:

y = respuesta

$\beta$  = coeficientes generados por regresión múltiple (Tabla VII)

x = proporción de los componentes

Se utilizó el programa Statgraphics, versión 2.6, que generó los coeficientes para el modelo de las muestras interesterificadas, así como sus niveles de significancia, coeficientes de determinación y análisis de varianza. Los diagramas triangulares fueron realizados utilizando el programa Mixplot (Barros Neto *et al.* 1990).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se observa la variación en la concentración de los ácidos grasos del aceite original (ACB) con respecto a los hidrogenados. La concentración de los ácidos grasos varió de acuerdo a la intensidad de la reacción, así se tiene que el ácido esteárico se incrementó de 11.6 a 56.7% en GH1, a 16.3% en GH2 y a 15.3% en GH3. El ácido oleico disminuyó en GH1 a 25.9%, y se incrementó en GH2 y GH3 a 59.9 y 53.8%, respectivamente. El bajo índice de iodo de GH1 (23.0) indica una alta saturación en comparación con los de GH2 (65.2) y GH3 (67.9), característica de éstas últimas de los productos plásticos útiles para la práctica industrial (Allen, 1982). Los índices de saponificación de las grasas hidrogenadas no presentan mayores diferencias con el de ACB, lo que indica que la hidrogenación provoca pequeñas alteraciones en el peso molecular medio de los triglicéridos.

De acuerdo con los resultados de las selectividades (Tabla II), se observa que las hidrogenaciones GH2 y GH3 no fueron muy selectivas para SI (17.46 y 8.45, respectivamente) con ataque preferencial al ácido linoleico, aumentando el nivel de ácido oleico y retardando la formación de ácido esteárico. Frezza *et al.* (1995) obtuvieron valores de 11.07 a 63.58, en la hidrogenación de aceite de soja con el mismo catalizador. El ACB utilizado en estas reacciones fue crudo, y probablemente contenía venenos del catalizador, disminuyendo la selectividad y la actividad del mismo. La selectividad linolenica (SIn), no presentó ninguna variación entre las tres reacciones, y el valor de 2.3 es considerado característico para este catalizador (Frezza *et al.*, 1995). Comparando las reacciones GH2 y GH3, se observó que el incremento de temperatura resultó en un incremento de SI y de la velocidad de reacción. El aumento de temperatura disminuye el hidrógeno disuelto próximo a la superficie del catalizador, aumentando la selectividad SI, la iso-

Tabla I  
Composición de los ácidos grasos y características físico-químicas del aceite de la castaña de Brasil y sus productos resultantes de la hidrogenación a diferentes condiciones

Acido graso	ACB (%)	GH1 (%)	GH2 (%)	GH3 (%)
16:0	15.2	16.8	15.1	18.30
16:1	0.3	—	0.3	0.1
17:1	0.1	—	0.2	—
18:0	11.6	56.7	16.3	15.3
18:1	34.5	25.9	59.9	53.8
18:2	37.8	0.4	7.9	12.5
18:3	0.1	—	—	—
20:0	0.3	0.2	0.3	0.1
22:0	0.1	—	—	—
IS	192.5	189.1	187.5	192.8
II	95.4	23.0	65.2	67.9
PF (°C)	3.0	59.9	37.8	36.3
μ (cSt)	25.8	32.24	26.79	27.05

GH1 : Grasa hidrogenada a 175°C, 3 atm y 60 min

GH2 : Grasa hidrogenada a 150°C, 1 atm y 30 min

GH3 : Grasa hidrogenada a 125°C, 1 atm y 30 min

IS : Índice de saponificación (mg KOH/g óleo)

II: Índice de yodo

PF: Punto de fusión

μ: Viscosidad a 60°C

Tabla II  
Efecto de las condiciones del proceso en las reacciones de hidrogenación del aceite de castaña de Brasil

Reacción	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Selectividad SI	Selectividad Sin	Velocidad (l/min)
GH1	60	175	3	3.87	2.3	1.21
GH2	30	150	1	17.46	2.3	1.01
GH3	30	125	1	8.45	2.3	0.92

Tabla III  
Consistencia (kgf/cm<sup>2</sup>) de los productos de la hidrogenación del aceite de castaña de Brasil, en función de la temperatura

Reacción	Consistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )						
	Temperatura (°C)						
	10	15	20	25	30	35	40
GH1	67.2	48.4	42.5	44.2	33.5	27.2	24.8
GH2	3.6	1.7	1.1	0.3	0	—	—
GH3	4.8	1.1	0.8	0.2	0.2	0.1	0

merización y la velocidad de reacción (Allen, 1982; Hoffmann, 1989). Asimismo se observó que a mayor tiempo de reacción, temperatura y presión, la SI presentó un decremento, lo que corresponde a la reacción GH1, comparándola con las reacciones GH2 y GH3, realizadas a condiciones más moderadas. Por otro lado, la velocidad de hidrogenación fue superior.

Considerando los criterios de consistencia establecidos por Deman et al. (1983), es posible comparar las muestras en función de la propiedad subjetiva del esparcimiento, e indica que el esparcimiento ideal de una margarina o mantequilla, está en el rango de 0.12 a 0.50 kgf/cm<sup>2</sup>. La Tabla III muestra que la grasa de GH1 es muy dura, y solo podría ser utilizada en mezclas o interesterificaciones, en cambio las grasas de las reacciones GH2 y GH3, se presentan como satisfactoriamente plásticas y de buen esparcimiento en las temperaturas de 25-45°C.

Observando el perfil de contenido de grasa sólida en la figura 1, de las grasas hidrogenadas en el rango de 10-40°C, se observa que la grasa GH1 presenta elevado porcentaje de sólidos, debido a su alto grado de hidrogenación, en comparación con las grasas GH2 y GH3, las cuales presentan un buen derretimiento y con las que se podría elaborar margarinas y grasas vegetales para panificación (Petrauskaitė et al., 1998).

De acuerdo a los resultados del contenido de grasa sólida (SFC) y de consistencia (C) de los productos hidrogenados, se observa que presentan una correlación lineal, siendo R: 0.722, 0.974 y 0.972 para GH1, GH2 y GH3, respectivamente, y presentaron las siguientes ecuaciones, obtenidas por regresión lineal simple, significativas a p < 0.05:

$$SFC_{GH1} = 44.28 + 0.0012.C,$$

$$SFC_{GH2} = 5.99 + 0.011.C, \text{ y}$$

$$SFC_{GH3} = 5.28 + 0.0061.C$$

El coeficiente lineal de la recta representa el contenido de grasa sólida de la muestra cuando la consistencia es igual a cero. Para las grasas más plásticas (GH2 y GH3), este coeficiente varió de 5.28 a 5.99%. Esto demuestra que, cuando la concentración de sólidos en la grasa es muy baja, el material se presenta como un líquido viscoso, y no como una grasa plástica, que sería lo esperado. Cuando la proporción de grasa en el estado sólido es mayor que 6%, el aceite es inmovilizado por la red cristalina, tornando la grasa en plástica (Larsson, 1994).

Después de la interesterificación, observando la Tabla V, y comparando con las muestras originales (Tabla I), se tiene que el punto de fusión se incrementa para las muestras n° 1 y 5 y decrece para las muestras n° 3, 4, 6 y 7, en cambio permanece inalterada para la n° 2. La viscosidad disminuyó para todas las muestras interesterificadas. La consistencia de las muestras interesterificadas, en el rango de temperatura de 10-40°C, se incrementó para las n° 1, 4, 5 y 6 y disminuyó para las nos 2, 3 y 7.

**Tabla IV**  
**Planificación experimental de las mezclas interesterificadas**

Muestras (n°)	Componentes (p/p)		
	X1	X2	X3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3

- 1: Aceite crudo (X1)
- 2: Grasa hidrogenada, 175 °C, 3 atm, 60 min (X2)
- 3: Grasa hidrogenada, 150 °C, 1 atm, 30 min (X3)

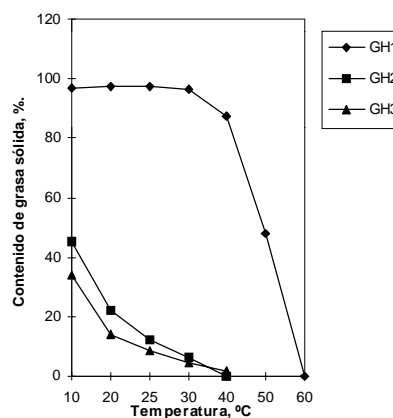
**Tabla V**  
**Puntos de fusión, viscosidad y consistencia de los productos interesterificados de las mezclas del aceite de la castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas**

Muestras (n°)	PF (°C)	μ a 60°C (cSt)	Consistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )			
			10°C	20°C	30°C	40°C
1	25.7	20.4	0.2	0	0	0
2	60.0	30.2	39.5	39.1	36.5	6.7
3	30.7	20.8	1.9	0.8	0	0
4	54.0	24.7	13.3	8.2	5.4	0.9
5	28.0	20.3	1.2	0.1	0	0
6	52.2	28.1	25.8	11.7	6.5	1.3
7	43.7	26.1	13.7	3.4	1.0	0

PF : Punto de fusión  
μ: Viscosidad

**Tabla VI**  
**Composición de los triglicéridos de los productos interesterificados de las mezclas del aceite de castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas, calculados según la teoría 1,2,3-randon**

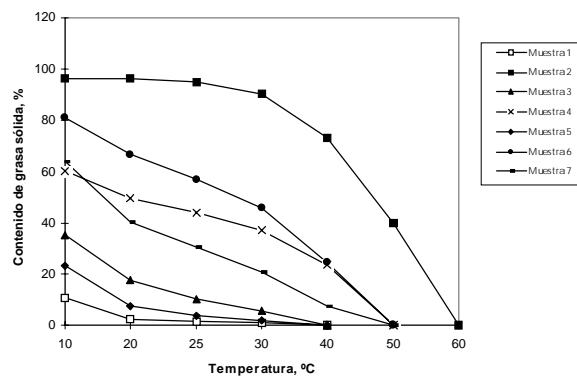
Muestra (n°)	Saturados (S)	Insaturados (I)	SSS	SSI	SII	III
1	27,3	72,7	2,0	16,3	43,3	38,4
2	73,7	26,3	4,0	42,9	15,3	1,8
3	31,7	68,3	3,2	20,6	44,4	31,8
4	50,5	49,5	12,9	37,9	37,1	12,1
5	29,5	70,5	2,6	18,4	44,0	35,0
6	52,7	47,3	14,6	39,4	35,4	10,6
7	44,2	55,8	8,6	32,7	41,3	17,4



**Figura 1**  
Perfil del contenido de grasa sólida de las grasas hidrogenadas del aceite de castaña de Brasil.

Observando el perfil de grasa sólida de los productos interesterificados (Figura 2), en el rango de temperatura de 10 - 40 °C, y comparándolos con los obtenidos por las mezclas de estas antes de la interesterificación se observa un incremento en las muestras n°1 y 5, disminuyendo en las n° 3, 4, 6 y 7.

Las variaciones en las propiedades físicas observadas, se deben a las alteraciones en la composición de los triglicéridos saturados e insaturados. La muestra n° 1, que corresponde a ACB, es la que aumentó considerablemente en todas las propiedades físicas, probablemente debido a la formación de triglicéridos trisaturados (Hoffman, 1989). El mismo efecto observó List et al. (1997), en la interesterificación del aceite de soja y, Marangoni y Rousseau (1998) utilizando aceite de palma. Considerando la consistencia y los perfiles de grasa sólida de las muestras nos 1, 3 y 5, estas podrían ser aprovechadas directamente como base oleosa en la prepara-



**Figura 2**  
Perfil del contenido de grasa sólida de los productos de interesterificación del aceite de castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas.

ción de ciertos tipos de margarinas y la no 3, además para grasa vegetal para pastelería (Deman et al. 1983; Petrauskaite, 1998).

Las propiedades funcionales de productos grasos pueden ser relacionadas a los triglicéridos que lo componen. Los trisaturados (SSS), con puntos de fusión 54-65°C, y algunos disaturados-monoin saturados (SSI), con puntos de fusión 27-42°C, son los responsables por la estructura del producto. Estos últimos también son importantes para las propiedades orales próximos a la temperatura corporal. Los monosaturados-diinsaturados (SII), con puntos de fusión 1-23°C, son importantes para las propiedades orales y están relacionados con la variación de la temperatura del medio ambiente. Los triinsaturados (III), con puntos de fusión -14 a 1°C, son importantes para la consistencia del producto, además de ser factores nutricionales, conteniendo los ácidos grasos poliinsaturados (Hoffmann, 1989). En la Tabla VI, se presenta la probable composición de los ácidos grasos saturados e insaturados esterificados en el glicerol, calculados según la teoría de distribución 1,2,3-random (Hustedt, 1976). Se observó además que tanto el punto de fusión (PF) como el contenido de grasa sólida (SFC) a 20°C, presentaron una correlación lineal con el contenido de SSS + SSI de las mezclas interesterificadas, siendo R: 0.954 y 0.990, respectivamente, significativos a  $p < 0.05$ , cuyas ecuaciones fueron las siguientes:

$$\text{PF} = 18.16 + 0.57 \cdot (\text{SSS} + \text{SSI}), \text{ y}$$

$$\text{SFC}_{20^\circ\text{C}} = -20.57 + 1.45 \cdot (\text{SSS} + \text{SSI})$$

En relación con los coeficientes calculados de la regresión múltiple (Tabla VII), para los datos experimentales de las propiedades físicas analizadas de las mezclas interesterificadas, se observa que las muestras 1 y 3, por ser menos duras, no contribuyen estadísticamente para la consistencia. Del mismo modo, las interacciones entre las muestras 1-3 no son significativas en cuanto a la consistencia. Las interacciones significativas tuvieron lugar entre las muestras 1-2 y 2-3 para la consistencia. El contenido de grasa sólida mostró dependencia de la muestra GH1 en todo el rango medido, y de la muestra GH2 a bajas temperaturas. El punto de fusión y la viscosidad a 60°C fueron dependientes del ACB, GH1 y GH2. Las interacciones binarias no fueron significativas tanto para el contenido de grasa sólida cuanto para el punto de fusión y la viscosidad.

Los modelos estadísticos están representados en las figuras n° 3 (contenido de grasa sólida a 20°C) y 4 (punto de fusión), en diagramas triangulares, donde son indicadas curvas de nivel (líneas uniendo puntos de respuesta de igual valor). Los vértices X1, X2 y X3 corresponden a los productos interesterificados del ACB, grasa hidrogenada GH1 y grasa hidrogenada GH2, respectivamente. Los puntos sobre los lados de los triángulos equiláteros, representan los resultados de las mezclas binarias interesterificadas y en la región interna se encuentran las respuestas correspondientes a las mezclas ternarias interesterificadas. Con estos diagramas se pueden optimizar formulaciones de grasas, que se adecuen a la formulación industrial o comercial requerida.

Tabla VII

**Coeficientes calculados por regresión múltiple a partir de los resultados experimentales para los productos interesterificados del aceite de castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas**

Coeficiente							
Consistencia, a	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_{12}$	$\beta_{13}$	$\beta_{23}$	R2
10°C	0	39.51	0	-25.72	0	20.95	0.9999
15°C	0	48.97	0	-58.25	0	-14.75	0.9999
20°C	0	19.13	0	-46.79	0	-34.36	0.9996
25°C	0	36.32	0	-50.30	0	-32.43	0.9992
30°C	0	36.49	0	-51.65	0	-47.33	0.9998
35°C	0	30.02	0	-45.46	0	-46.06	0.9998
40°C	0	16.91	0	-28.98	0	-27.26	0.9980
<b>Contenido de grasa sólida, a</b>							
10°C	0	96.16	34.76	0	0	0	0.9989
20°C	0	96.31	17.71	0	0	0	0.9999
25°C	0	95.39	0	0	0	0	0.9992
30°C	0	90.63	0	0	0	0	0.9979
40°C	0	73.59	0	0	0	0	0.9967
PF (°C)	25.90	60.20	30.90	0	0	0	0.9996
$\mu$ (cSt)	20.09	30.09	20.69	0	0	0	0.9996

PF : Punto de fusión  
 $\mu$ : Viscosidad

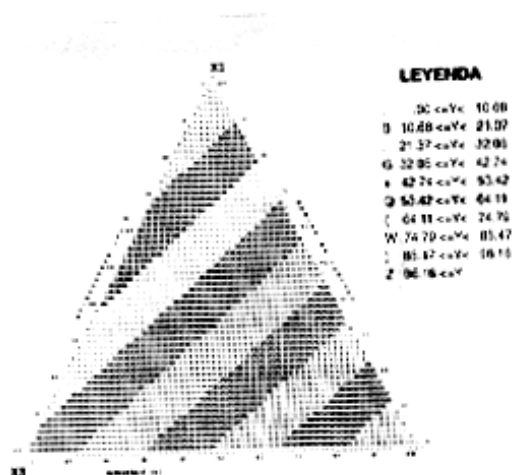


Figura 3

Diagrama triangular del contenido de grasa sólida de los productos interesterificados del aceite de castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas a 20°C.

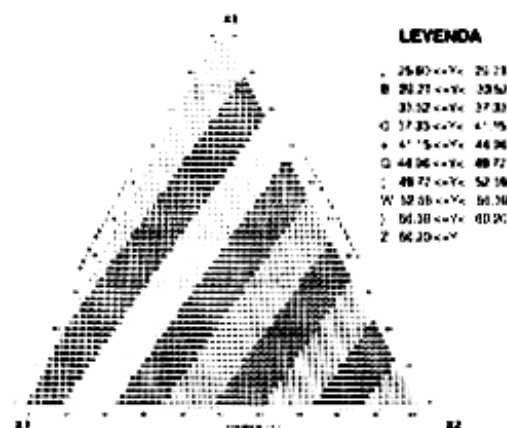


Figura 4

Diagrama triangular del punto de fusión de los productos interesterificados del aceite de castaña de Brasil y sus grasas hidrogenadas

## AGRADECIMIENTOS

Al CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, de Brasil) y al CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, de Brasil) por las becas concedidas a los autores. Asimismo a la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, de Brasil) por el auxilio financiero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.R. (1982). Hydrogenation. In: Bailey's industrial oil and fat products. 4<sup>th</sup> ed. v.2. D. Swern, (ed), Wiley Interscience, New York, p 1-95.
- Allen, R.R. (1983). Basic program for the determination of SI and Sln. *J.Am.Oil Chem. Soc.*, Champaign, 60, 1896-1897.
- American Oil Chemists' Society (1990). Official methods and recommended practices of the AOCS. 4<sup>th</sup> ed. Champaign. a) Method Cd 1c-62, b) Method Cc 3-25.
- American Oil Chemists' Society (1996). Official methods and recommended practices of the AOCS. 4<sup>th</sup> ed. Champaign. Method Cd 16b-93.
- Barros Neto, B., Scarminio, I.S. y Bruns, R.E. (1990). Planejamento e otimização de experimentos. Campinas. UNICAMP, 2<sup>a</sup> ed., p.187-216.
- Deman, J.M., Deman, I. y Blackman, B. (1983). Melting point determination of fat products. *J.Am.Oil Chem. Soc.*, Champaign, 61, 195-200.
- Flores Paytán, S. (1997). Cultivo de frutales nativos amazónicos. Manual del extensionista. IIAP/UNDP/FAO. Mirigraf. S.R.L., Lima, p. 63-69.
- Frezza, M.E., Gioielli, L.A. y Polakiewicz, B. (1995). Avaliação da seletividade de catalisadores comerciais na hidrogenação de óleo de soja. In: Congresso e exposição latinoamericana sobre processamento de óleos e gorduras. Campinas. Anais. Sociedade Brasileira de Óleos e Gorduras, p. 255-258.
- Gioielli, L.A. (1998). Interesterificação de óleos e gorduras. *Rev. Eng. Aliment.* 4, 22 - 24.

- Haighton, A.J. (1959). The measurement of the hardness of margarine and fats with cone penetrometers. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 36, 345-348.
- Hare, L.B. (1974). Mixture designs applied to food formulation. *Food Technol.* 28, 50-62.
- Hoffmann, G. (1989). The chemistry and technology of edible oils and fats and their high fat products». London. Academic Press, p.201-277
- Hurtová, S., Schmidt, S., Zemanovic, J., Simon, P., y Sekretar, S. (1996). Random interesterification of fat blends with alkali catalysts. *Fett/Lipids*, 98, 60-65.
- Hustedt, H.H. (1976). Interesterification of edible oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 53, 390-392.
- Institute of Petroleum (1979). IP Standards for petroleum and its products. 38 ed. London, Heyden, v. 11, p. 71.1-71.15.
- Larsson, K. (1994). Lipids. In: Fennema, O (ed). Food Chemistry, 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, New York, p. 225-321.
- List, E.R., Mounts T.L., Orthoefer, F. y Neil, W.E. (1997). Effect of interesterification on the structure and physical properties of high stearic acid soybean oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 74, 327-329.
- Marangoni, A.G. y Rousseau, D. (1998). The influence of chemical interesterification on physicochemical properties of complex fat systems 1. Melting and crystallization. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75, 1265-1271.
- Nawar, W. (1996). In: Fennema, O. (ed). *Food Chemistry*. 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, New York, p.225-321.
- Petrauskaitė, V., De Greyt, W.F., Kellens, M.J. y Huyhebaert, D. (1998). Chemical interesterification of vegetable oil blends: optimization of process parameters. *OCL* 5, 65-69.
- Sotero Solis, V., Gioielli, L.A. y Polackiewicz, B. (2000). Mezclas binarias y ternarias del aceite y grasa hidrogenada de la castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). *Grasas y Aceites*, 51, 405-411.
- Willis, N.W., Lencki, W.R. y Marangoni, G.A. (1998). Strategies in the production of nutritionally functional fats and oils. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 639-674.

Recibido: Marzo 2000  
Aceptado: Enero 2001