

INVESTIGACIÓN

Efecto de la lipofilización sobre las propiedades funcionales de la harina de palmiste (*Elaeis guineensis*)

Por **Maria Lamus Uvarova** y **Daniel Barrera-Arellano***

Laboratório de Óleos e Gorduras-Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA)-
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Caixa Postal 6091
CEP 13081-970, Campinas, SP, Brasil. E-mail: muvarova@hotmail.com, daniel@fea.unicamp.br

RESUMEN

Efecto de la lipofilización sobre las propiedades funcionales de la harina de palmiste (*Elaeis guineensis*).

Se estudiaron las propiedades funcionales de las proteínas presentes en la harina de palmiste, obtenida a partir de almendras con y sin testa. La remoción de la testa con HCl 4N permitió disminuir la concentración de polifenoles, lo que significó obtener una harina de mejor color (crema claro) y textura. Se estudió la lipofilización de las proteínas de la harina de palmiste para evaluar los cambios en las propiedades funcionales y compararlos con las propiedades de las harinas no modificadas. Las propiedades medidas fueron: solubilidad, capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (CRAC), capacidad emulsionante (CE), actividad emulsionante (AE), estabilidad de la emulsión (EE), expansión de la espuma (EEsp) y estabilidad de la espuma (EsEsp). La lipofilización de la harina sin testa se realizó en dos proporciones de proteína: cloruro de ácido palmítico, 1:0,5 y 1:1, p/v. La solubilidad y la CE disminuyeron; sin embargo, las otras propiedades se mantuvieron constantes (CRA) o bien aumentaron notablemente. La lipofilización con baja concentración de ácidos grasos (relación proteína: cloruro de 1:0,5) generó productos con mayores valores en sus propiedades funcionales.

PALABRAS-CLAVE: Harina de palmiste - Lipofilización - Modificación química - Propiedades funcionales - Proteínas - Solubilidad.

SUMMARY

Effect of lipophilization on functional properties of palm kernel flour (*Elaeis guineensis*).

Functional properties of proteins present in palm kernel flour were studied, obtained from almonds with and without testa. Removal of testa with HCl permitted a decrease of the polyphenol concentration, besides conferring the flour a light cream color. Lipophilization of palm kernel proteins was studied in order to evaluate the changes on functional properties and compare them to the properties for the non-modified flour. Properties measured were solubility, water retention capacity (WRC), oil retention capacity (ORC), emulsion capacity (EC), emulsion activity (EA), emulsion stability (ES), foam expansion (FE) and foam stability (FS). Lipophilization of the flour without testa was tested in two protein:palmitoyl chloride ratios: 1:0.5 and 1:1, w/v. Solubility and EC decreased, however, the other properties were constant (WRC) or increased markedly. Lipophilization with a lower concentration of fatty acids (1:0.5 protein:palmitoyl chloride ratio) showed higher values for all functional properties.

KEY-WORDS: Chemical modification - Functional properties - Lipophilization - Palm kernel flour - Proteins - Solubility.

1. INTRODUCCIÓN

La torta de palmiste es un subproducto de la industria de aceite de palma. Posterior a la extracción del aceite, la torta generalmente se utiliza para alimentación animal y siempre en proporciones menores que otras tortas de oleaginosas (Cornelius, 1966, 1983; Tang y Teoh, 1985).

La harina de palmiste proviene de la extracción con solvente de la torta de palmiste. Ambas son mal toleradas por los animales porque son extraídas junto con la testa, que posee compuestos fenólicos que son fácilmente oxidados en quinonas, las cuales interactúan con los grupos tioles y/o grupos amina formando complejos insolubles (Sreedhara y Kurup, 1998).

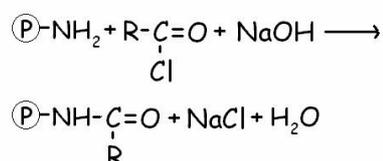
Actualmente, las aplicaciones de las proteínas de palmiste han sido poco estudiadas, aunque la producción global de aceite de palma aumenta considerablemente año tras año, y puede representar, consecuentemente, una materia prima disponible a bajo costo. Aún más interesante podría ser el uso de las almendras enteras de palmiste sin testa, en la producción de harinas con mejores características sensoriales y tecnológicas.

Balogun (1982) concentró proteínas de la torta de palmiste, lo cual aumentó su digestibilidad en comparación a la torta original, con un alto potencial de mejoramiento para la alimentación animal. La remoción de la testa ha sido estudiada por Sreedhara et al. (1992) que evaluó su valor nutricional para posible uso en alimentación humana.

La valorización de la harina de palmiste solo será posible si sus propiedades funcionales y tecnológicas fueran mejoradas, ya que sus proteínas poseen poco interés en el ámbito industrial. Una tecnología disponible para modificar las propiedades funcionales de las proteínas es la lipofilización. Esta modificación química altera las características hidrofílicas/hidrofóbicas mediante la incorporación de grupos lipofílicos en las moléculas, mejorando la afinidad de las proteínas con compuestos o sistemas hidrofóbicos.

La lipofilización de las proteínas con grupos hidrofóbicos puede ser realizada con ésteres de N-hidroxisuccinamida (Haque et al., 1982), anhídridos succínico o acético (Messinger et al., 1987) o cloruros de ácidos grasos (Roussel-Philippe et al., 2000). Esta reacción ha sido aplicada a diversas proteínas vegetales, como las del trigo (Barber y Warthesen, 1982; Roussel-Philippe et al., 2000), soja (Franzen y Kinsella, 1976; Haque y Kito, 1982; Aoki et al., 1981), algodón (Choi et al., 1983) y girasol (Schwenke et al., 1986), entre otras.

En la reacción de lipofilización, el cloruro de ácido graso reacciona con los grupos amina libres, en medio alcalino, resultando en la adición de ácidos grasos en la molécula proteica (Roussel-Phillipe et al., 2000).



El objetivo de este trabajo fue evaluar, como primera etapa, la influencia de la testa en las propiedades funcionales de la harina de palmiste. Posteriormente, se estudiaron los efectos de la lipofilización sobre las propiedades funcionales, como la solubilidad, capacidad de retención de agua y aceite y las propiedades superficiales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas:

Almendras enteras de palmiste (*Elaeis guineensis*), cedidas por Agropalma, S.A. (Brasil), cosecha 2002. Cloruro de ácido palmítico de AZKO Chemicals (Francia).

Preparación de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST):

Para la preparación de la harina de palmiste con testa (HPCT) se partió de las almendras, que fueron molidas en molino de cuchillos y desengrasadas en extractor soxhlet con hexano durante 8 h. La harina fue secada a 60°C y posteriormente molida en molino (Foss Tecator, Knifetec 1095 Sample Mill) durante 15 s, y tamizada por malla de 0,485 mm.

Para preparar la harina de palmiste sin testa se partió de las almendras de palmiste. Las almendras se limpiaron y se separaron manualmente de aquellas que se encontraban quebradas y con fibras externas dañadas, seguidas de secado a 40°C en horno con aire circulante, durante 1 h. La remoción de la testa se realizó según el método de Sreedhara et al. (1992). Una muestra de almendras se trató con HCl 4N a una temperatura de 95°C durante 8 min (relación de almendras/ácido de 1:1,5 p/v) bajo agi-

tación constante. Las almendras tratadas se lavaron con agua para retirar el ácido residual. En esta etapa, la testa estaba blanda y se retiró manualmente. Las almendras se almacenaron en congelador y posteriormente fueron molidas. La extracción de la fracción lipídica se hizo en extractor soxhlet al igual que antes, obteniéndose la harina de palmiste sin testa (HPST). La harina fue molida nuevamente y tamizada por malla de 0,485 mm.

Debido a sus características y propiedades más adecuadas, la harina de palmiste sin testa fue lipofilizada.

Métodos analíticos:

Humedad, ceniza y nitrógeno fueron determinados por triplicado, según los métodos de AOCS (1997). La proteína bruta fue calculada multiplicando por el factor 6,25 (Sreedhara y Karup, 1998).

La composición de aminoácidos fue determinada según el método de Spackman et al., (1958). Los compuestos fenólicos fueron determinados en HPST y HPCT según el método de Sodini y Canella (1977). Muestras (0,5 g) por duplicado fueron extraídas por reflujo con 100 mL de etanol/agua (80:20, v/v) a pH 4,3 durante 4 h. Las muestras fueron enfriadas, y centrifugadas (Heraeus Sepatech, Suprafuge 22, rotor HF 22.50) a 12500 g durante 10 min. Se midió la absorbancia (700 nm) en el sobrenadante. Los resultados fueron expresados en términos de ácido tánico (ppm). Proteínas, polifenoles y contenido de ceniza se expresaron sobre la materia seca.

Reacción de lipofilización:

La HPST se lipofilizó siguiendo el proceso de Roussel-Philippe et al. (2000) como sigue: la harina se dispersó en agua (relación harina/agua de 1:5 p/v) y el pH se ajustó a 9 con NaOH 4N a temperatura ambiente (30°C) y bajo agitación magnética constante. La reacción se llevó a cabo por adición de cloruro de ácido palmítico, gota a gota, manteniendo el pH en 9. Las relaciones de proteína de HPST y cloruro de ácido palmítico estudiadas fueron 1:1 y 1:0,5 (p/p). Después de 30 min, el pH de la dispersión se ajustó a 7. Una alícuota fue retirada para la determinación de ácidos grasos libres y totales. El resto de la dispersión se llevó a pl (pH 4,3) con HCl 6N y se centrifugó (Heraeus Sepatech, Suprafuge 22, rotor HF 12.500) a 18000 g durante 20 min. Los residuos fueron lavados dos veces con agua acidificada a pH 4,3 y centrifugados bajo las condiciones anteriores. Las respectivas tortas lipofilizadas fueron secadas en horno con aire circulante a 40°C durante 24 h, molidas, tamizadas (0,485 mm), y almacenadas en congelador a 4°C hasta su utilización.

Determinación de los ácidos grasos unidos covalentemente (AGC):

Los ácidos grasos presentes en las proteínas de las harinas lipofilizadas se determinaron según el método de AOAC 922.06 (1990). Para la determinación de los ácidos grasos totales (AGT), 2 g de harina lipofilizada fueron hidrolizados con HCl 6N, filtrados en papel S&S 589 y lavados. El papel de filtro, con la muestra, se secó en estufa a 105°C durante 1 h, y posteriormente se sometió a extracción con éter etílico.

La determinación de los ácidos grasos libres (AGL) se hizo por extracción con éter etílico a partir de 1,5 g de harina lipofilizada. Los ácidos grasos unidos covalentemente (AGC) a la proteína fueron calculados por la diferencia entre los AGT y los AGL. Las mediciones fueron realizadas por triplicado.

Determinación de las propiedades funcionales:

Solubilidad (Nitrogen Solubility Index, NSI): El NSI de la HPCT y la HPST se determinó a diferentes valores de pH y en los productos lipofilizados, a pH 7, según el método de Rahma y Narasinga (1979). En breve, muestras de 3 g fueron dispersadas en 30 mL de agua a temperatura ambiente (30°C). El pH de las dispersiones fue ajustado con NaOH 0,5N o HCl 0,5N. Éstas permanecieron en agitación magnética constante, siendo posteriormente centrifugadas a 12500 g durante 20 min. Se tomaron alícuotas de 5 mL para determinar su contenido de nitrógeno (micro-Kjeldahl). El NSI se expresó como nitrógeno soluble en la alícuota con relación al nitrógeno total. Las mediciones fueron realizadas por duplicado.

Capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (CRAC): Muestras de 2 g fueron completadas con 15 mL de agua (CRA) ó 10 mL de aceite de soja (CRAC) en un tubo para centrifuga de 50 mL, previamente pesado. El tubo fue agitado en Vortex durante 2 min y centrifugado (rotor HF 22.50) a 750 g durante 20 min, según el método de Rahma y Narasinga (1983). El tubo fue pesado después del descarte del sobrenadante, y la CRA y la CRAC fueron expresados como gramos de agua o aceite retenidos por gramo de muestra seca. El procedimiento fue repetido 5 veces. Todas las mediciones de la CRA fueron hechas a pH 7.

Propiedades superficiales: La actividad emulsionante (AE) y la estabilidad de la emulsión (EE) se determinaron según el método de Yasumatsu et al. (1972) modificado como sigue: La AE se estimó suspendiendo 1 g de muestra en 15 mL de agua en tubo para centrifuga graduado, seguido de agitación utilizando un homogenizador Ultraturax (IKA-WERK) a 20000 rpm durante 30 s. Inmediatamente después, la dispersión fue emulsionada con 15 mL de aceite de soja con Ultraturax durante 90 s. Los tubos fueron centrifugados a 750 g durante 5 min. La AE se definió como la altura de la capa emulsionada/altura total x 100. La EE se determinó calentando la emul-

sión a 80°C durante 30 min, enfriando con agua y centrifugando a 750 g durante 5 min. El resultado fue expresado de la misma manera que la AE. Los resultados obtenidos son el promedio de cuatro repeticiones.

La capacidad emulsionante (CE) se realizó según el método de Swift et al. (1961) modificado. Las muestras (1% de proteínas) se ajustaron a pH 4,3 y 7 para las HPST y HPCT y a pH 7 para las harinas lipofilizadas, con NaOH 1N o HCl 1N, durante 30 min (recipientes de Ø=7 cm). Los recipientes fueron enfriados en baño de hielo y la dispersión fue agitada con Ultraturax a 20000 rpm durante 30 s. En ese instante, se adicionó aceite de soja con una bureta graduada a una velocidad de 1,4 mL/s, mientras dos electrodos fueron conectados a un amperímetro para la medición de la resistencia (KΩ). El punto de inversión se detectó por el amperímetro cuando la lectura de la resistencia es infinita (inversión de una emulsión de aceite en agua a una emulsión de agua en aceite). La CE se expresó en mL de aceite emulsionado por gramo de muestra, siendo realizadas 10 repeticiones.

La expansión (ExEsp) y la estabilidad (EsEsp) de las espumas se determinaron según el método de Puski (1975) modificado. Una dispersión de 1% de proteínas fue agitada con Ultraturax a 20000 rpm durante 90 s. El volumen de espuma se registró y su expansión se expresó como volumen de la espuma/volumen antes de la agitación x 100. La estabilidad de la espuma (EsEsp) se registró después de 30 y 120 min de reposo de la muestra.

Análisis estadístico:

Los experimentos de las determinaciones de las propiedades funcionales fueron conducidos de forma aleatoria. Se utilizó el programa STATISTICA 5.0 (StatSoft, Inc.) aplicando análisis de varianza y el test de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (p0,05).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se presenta la composición centesimal de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST).

La remoción de la testa no modifica significativamente la composición centesimal de la harina de palmiste (únicamente la concentración de polifenoles y taninos), resultando una harina de color crema clara y mejor textura. La coloración de la HPCT fue marrón oscura, debido a la testa. La remoción de la testa en las harinas disminuyó aproximadamente el 65% de los constituyentes fenólicos con relación a la HPCT. Sin embargo, el contenido de proteína fue constante. Sreedhara y Karup (1998) encontraron un aumento (8%) de proteínas debido a la retirada de la

Tabla I

Composición centesimal de las harinas de palmiste sin testa (HPST) y con testa (HPCT)

Componentes	HPCT	HPST
Sólidos totales (%)	89,3±0,8	88,8±0,5
Lípidos residuales (%)*	<0.1	<0.1
Proteínas (%)*	21,0±0,8	21,7±0,6
Ceniza (%)*	3,5±0,5	3,3±0,7
Carbohidratos (%) (por diferencia)	64,6	63,6
Polifenoles (ppm)	52,8	18,5

*Datos expresados en base a materia seca.

testa. Los taninos son conocidos por su afinidad por las proteínas y forman parte del mecanismo de defensa contra los insectos (Barry y Duncan, 1985; Yu et al., 1995). La harina de palmiste sin testa fue la escogida para ser lipofilizada debido a sus mejores características, como mejor color y menor concentración de polifenoles.

El proceso de lipofilización de la harina de palmiste (HPST), en las relaciones proteína: cloruro de ácido palmítico de 1:1 y 1:0,5 permitió recuperar, respectivamente, el 87,7 y 85,4% (en el pl) de las proteínas originales, debido principalmente a los efectos de dilución. Se observó que la cantidad de ácidos grasos unidos a las proteínas de las harinas

lipofilizadas (Tabla II) fue mayor que la cantidad de moles de lisina presentes en la proteína de la harina de palmiste (254,69 %moles lisina/g de proteína). En la HPST obtenida mediante la relación 1:1, la cantidad de ácidos grasos unidos covalentemente (AGC) a las proteínas fue 3 veces mayor que la cantidad de lisina presente; mientras que en la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5, fue 1,7 veces mayor. Estos resultados sugieren que el cloruro de ácido palmítico, además de reaccionar con la lisina, también puede reaccionar con otros sitios nucleofílicos, como residuos libres de hidroxilo en la treonina, serina y tirosina, y residuos sulfidrilos en la cisteína. Roussel-Philippe (2001) describió una diferencia sig-

Tabla II

Efecto de la relación proteína:cloruro de ácido palmítico en la composición química, rendimiento y relación de lipofilización de las harinas HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1

Componentes	HPST;1:0,5	HPST;1:1
Sólidos totales* (%)	98,3±1,2	94,8±1,4
Proteínas* (%)	18,5±0,8	19,1±0,3
Cenizas* (%)	0,9±0,2	0,9±0,2
Rendimiento* (%)	88,3	74,9
AGL (mg/g de harina)	76,6	132,3
AGT (mg/g de harina)	98,8	172,9
AGC (mg/g de harina)	22,1	40,6
Relación de lipofilización		
moles C16/moles Lys	1,7	3,0

* Datos expresados en base a materia seca.

AGL: Ácidos grasos libres

AGT: Ácidos grasos totales

AGC: Ácidos grasos covalentes

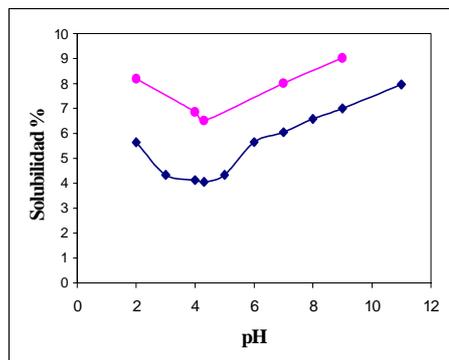


Figura 1
Curvas de solubilidad de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST).

nificativa (4,5 y 6 veces mayor) entre la cantidad de ácidos grasos ligados covalentemente (AGC) y la cantidad de lisina presente en las harinas de maíz y de girasol (lipofilizados en proporción proteína: cloruro de ácido palmítico de 1:1), respectivamente.

La solubilidad es una propiedad físico-química fundamental que depende del peso molecular, naturaleza y concentración de iones, pH y temperatura, y se manifiesta en un equilibrio entre las interacciones solvente-proteína y proteína-proteína (Kinsella et al., 1985; Sgarbieri, 1996). Las condiciones que afectan el equilibrio en favor de las interacciones proteína-proteína disminuyen la solubilidad, y las condiciones que favorecen las interacciones proteína-solvente la incrementan. Las fuerzas que participan en estas interacciones son electrostáticas, hidrofóbicas y de puentes de hidrógeno (Kinsella et al., 1985). La solubilidad también es afectada por las condiciones apli-

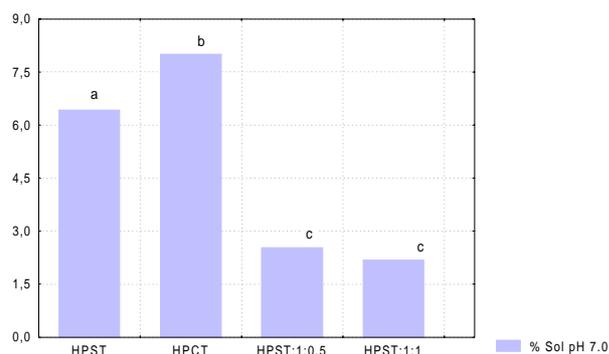


Figura 2
Efecto de la remoción de la testa y de la lipofilización sobre la solubilidad proteica de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST) y de las harinas lipofilizadas HPST obtenidas mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1 a pH 7,0 [columnas acompañadas por letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)].

cadadas en el procesamiento, como calentamiento, uso de solventes, pH, tamaño de partícula, etc.

En la Figura 1, se presenta la curva de solubilidad de las HPST y HPCT. Como se puede observar, el proceso de remoción de la testa ocasiona una reducción de la solubilidad (menos de 10% a valores de pH alcalinos) y un pH isoeléctrico mal definido, debido probablemente al uso de soluciones ácidas, altas temperaturas, tamaño de partícula, etc. Balogun (1982) ha descrito una reducción en la solubilidad y un aumento de la digestibilidad en aislados proteicos de palmiste, al retirar la testa.

El efecto de la lipofilización sobre la solubilidad se muestra en la Figura 2. A pH 7, tanto la HPST obtenida mediante la relación 1:1, como la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5, mostraron una disminución de su solubilidad. Es difícil afirmar que exista una desnaturalización asociada a la lipofilización de las proteínas de la harina de palmiste o de las proteínas en general, pero es evidente que esta transformación afecta directamente su comportamiento funcional. En la lipofilización de lactoglobulina con ácido esteárico, Akita y Nakai (1990a) observaron una correlación entre la disminución de la solubilidad y la cantidad de ácidos grasos unidos.

Las proteínas, en presencia de solventes orgánicos y a pH alcalinos, sufren una reorganización, en la cual los grupos hidrofóbicos (ácidos grasos) son expuestos, mientras que los residuos hidrofílicos pasan a ocupar el interior de la molécula proteica. Las interacciones entre los residuos hidrofóbicos aumentan, provocando un estado de alta agregación y, consecuentemente, la precipitación de las proteínas (Akita y Nakai, 1990a).

Las propiedades superficiales están relacionadas con la capacidad de las proteínas de disminuir la tensión superficial entre los componentes hidrofílicos del medio y dependen principalmente de la composición y conformación de las proteínas presentes (Kinsella, 1976). Las propiedades emulsionantes son mínimas en el pH isoeléctrico de las proteínas y tienden a aumentar con el aumento del pH. Los respectivos datos son presentados en la Tabla III.

La capacidad emulsionante a pH 7 mostró una disminución del 44% en la HPST frente a la HPCT, probablemente debido al tratamiento ácido y altas temperaturas aplicadas para retirar la testa. En el punto isoeléctrico, la CE fue menor que a pH 7. La desnaturalización y/o factores que afectan la solubilidad o la conformación nativa, como temperatura, pH y efectos iónicos, intervienen directamente en la flexibilidad de las proteínas (Graham y Phillips, 1975; MacRitchie, 1978; Tornberg, 1978 a,b).

En las harinas lipofilizadas, la capacidad emulsionante a pH 7 disminuyó frente a las harinas no modificadas (Tabla III), posiblemente debido a la disminución de la solubilidad que presentaron los productos lipofilizados y a efectos estéricos que im-

Tabla III

Efecto de la remoción de la testa y de la lipofilización sobre la actividad emulsionante (AE), estabilidad de la emulsión (EE), capacidad emulsionante (CE), expansión de la espuma (ExEsp) y estabilidad de la espuma (EsEsp) de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST) y de las harinas lipofilizadas HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1 a pH 4,3 y 7,0 [columnas acompañadas por superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)]

Muestras	pH	AE (%)	EE (%)	CE (ml aceite/g muestra)	ExEsp (%)	EsEsp (%)	
						30 min	120 min
HPST	4,3	0,0	0,0	55,20±3,2	15,8±0,6	15,8±0,6	13,7±0,9
	7,0	3,5±0,1 ^a	10,7±0,6 ^w	86,64±4,1 ^a	39,8±2,9 ^a	13,3±0,4 ^l	9,7±0,8 ^w
HPCT	4,3	0,0	0,0	75,3±4,2	13,0±1,3	12,7±0,9	10,6±0,9
	7,0	4,1±0,1 ^a	5,0±0,1 ^x	125,0±3,3 ^b	20,3±0,1 ^b	16,1±1,2 ^m	14,4±1,1 ^x
HPST;1:0.5.	4,3	0,0	0,0	-	169,2±0,9	146,1±0,8	146,±0,8
	7,0	38,6±0,9 ^b	44,7±0,4 ^y	27,1±1,4 ^c	162,1±0,6 ^c	144,8±0,4 ⁿ	144,8±0,4 ^y
HPST;1:1	4,3	0,0	0,0	-	89,9±1,2	89,9±1,2	89,9±1,2
	7,0	35,5±0,2 ^c	25,6±1,7 ^z	29,1±2,9 ^c	103,8±0,6 ^d	99,0±1,5 ^o	99,0±1,5 ^z

piden la apertura de los segmentos polares en el medio acuoso. La reducción de la CE en las harinas obtenidas mediante la relación 1:0,5 y 1:1, fueron del 68% y 66%, respectivamente, frente a la HPCT sin lipofilizar.

La AE y EE son más dependientes del carácter hidrofóbico a nivel superficial de las proteínas. La lipofilización aumentó la AE y la EE en la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 más de 1000% y

300%, respectivamente, en comparación con la muestra de HPST sin lipofilizar. Esta HPST mostró mayor AE (7,5%) y EE (43%) que la HPST obtenida mediante la relación 1:1 (Figura 3). La relación agua y aceite estudiada en la AE y EE fue de 1. Este comportamiento ha sido descrito por Kito (1987) en la lipofilización de S1-caseína. La AE fue mayor cuando la incorporación de los ácidos grasos fue menor a una relación agua/aceite entre 0,5 y 2,0. Kato y Nakai (1980) demostraron una alta correlación entre la hidrofobicidad molecular y las propiedades superficiales de las proteínas. Al incorporar ácidos grasos, la tensión superficial disminuye y la capa superficial de las proteínas sobre las gotas de aceite aumenta. En el punto isoelectrónico, las harinas originales y las lipofilizadas no mostraron ninguna actividad emulsionante.

Para que una proteína tenga buenas propiedades espumantes, debe por lo menos cumplir con dos funciones: reducir la tensión superficial (e interfacial) entre el líquido y la burbuja de aire; y con un grado de desnaturación superficial, acentuar las interacciones proteína-proteína que permitan la formación de una película cohesiva (Kinsella, 1976). La expansión de la espuma (a pH 7) en la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 representó un aumento superior al 300% con relación a la harina no modificada. La lipofilización probablemente causó la disminución de la espesura de la capa interfacial, favoreciendo la formación de la espuma y su estabilidad a través del tiempo (Figura 4). La estabilidad de la espuma

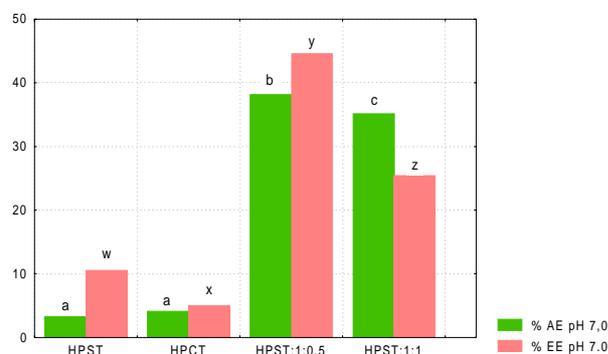


Figura 3

Efecto de la remoción de la testa y de la lipofilización sobre la actividad emulsionante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE) de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST) y de las harinas lipofilizadas HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1 a pH 7,0 [columnas acompañadas por letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)].

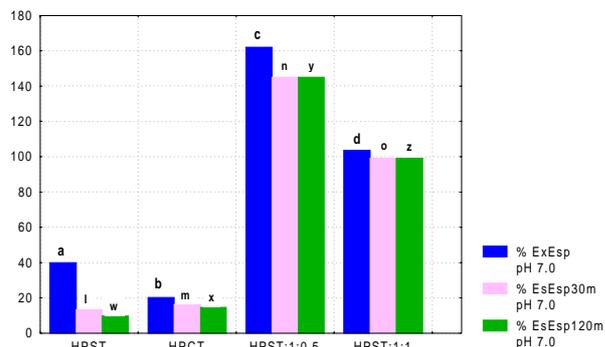


Figura 4

Efecto de la remoción de la testa y de la lipofilización sobre la expansión (ExEsp) y estabilidad de la espuma (EsEsp) de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST) y de las harinas lipofilizadas HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1 a pH 7,0 [columnas acompañadas por letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)].

(EsEsp) de las harinas de palmiste lipofilizadas mostró variaciones no significativas en el transcurso del tiempo (30 y 120 min). En el pH isoelectrico, la ExEsp de la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 fue mayor que a pH 7, debido al aumento de las interacciones proteína-proteína y de la cohesión intermolecular, que reducen al máximo la tensión superficial. En la Figura 4, se muestra que a medida que aumentó el grado de incorporación de ácidos grasos, disminuyeron la ExEsp y la EsEsp, y que en general las propiedades superficiales fueron beneficiadas por la lipofilización, como consecuencia del aumento de las interacciones hidrofóbicas, con excepción de la CE.

La CRA no mostró cambios importantes entre las harinas con y sin testa y sus lipofilizados (Tabla IV). La CRA fue mayor en la HPST en comparación con

las demás muestras, probablemente debido al proceso de remoción de la testa. Huffman et al. (1975) describieron que diferentes variedades de harinas de girasol presentaban un aumento de la CRA cuando disminuía la solubilidad, probablemente por fenómenos de desnaturalización.

La CRAC de las harinas originales fue similar y muy baja. Sin embargo, la lipofilización aumentó estos valores. El aumento de la CRAC fue proporcional al aumento de ácidos grasos incorporados que fue de 1,5 y 2,8 veces en la HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1, respectivamente, en comparación a la harina sin testa no lipofilizada. Roussel-Philippe (2001) demostró un aumento de 2,5 veces en la CRAC en la harina de girasol lipofilizada y 1,5 veces en la harina de maíz lipofilizada obtenidas mediante una relación proteína:cloruro de ácido palmítico de 1:1.

La remoción de la testa permitió obtener una torta de bajo contenido en polifenoles, de propiedades más adecuadas para la obtención de productos de alto valor añadido.

La lipofilización ocasionó un aumento general de las propiedades funcionales, destacándose la AE, EE, ExEsp y EsEsp. No obstante, la solubilidad, la CRA y la CE disminuyeron significativamente. Los mayores valores fueron obtenidos cuando se utilizó una relación proteína: cloruro de ácido menor (1:0,5). La influencia de otros componentes en la materia prima vegetal, como los carbohidratos y fibras, no ha sido estudiada en este trabajo. Por lo tanto, es imposible conocer su contribución en las propiedades funcionales de las proteínas de la harina de palmiste.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, y al Conselho Nacional de

Tabla IV

Efecto de la remoción de la testa y de la lipofilización sobre la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de retención de aceite (CRAC) de las harinas de palmiste con testa (HPCT) y sin testa (HPST) y de las harinas lipofilizadas HPST obtenida mediante la relación 1:0,5 y HPST obtenida mediante la relación 1:1 [columnas acompañadas por superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)]

Muestras	CRA g/g muestra a pH 7,0	CRAC g/g muestra
HPST	1,47±0,8 ^a	0,15±0,3 ^a
HPCT	1,27±0,5 ^b	0,15±0,4 ^a
HPST;1:0,5	1,21±0,2 ^c	0,24±0,2 ^b
HPST;1:1	1,29±0,2 ^d	0,44±0,4 ^c

Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, por el auxilio financiero y por la beca concedida a M. L. Uvarova.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Akita, E.M., Nakai, S. 1990. Lipophilization of β -lactoglobulin: Effect on hydrophobicity, conformation and surface functional properties. *J. Food Sci.* **55**, 711-717.
- AOAC 1990. Official Methods of Analysis, 15th Ed.. K. Helrich Editor. Association of Official Analytical Chemist Inc., Washington, DC.
- AOCS 1997. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society. 5th Ed. Ed. Firestone D., AOCS Press, Champ, IL.
- Aoki, H., Taneyama, O., Orimo, N., Kitagawa, I. 1981. Effect of lipophilization of soy protein on its emulsion stabilizing properties. *J. Food Sci.* **46**, 1192-1195.
- Balogun, O.O. 1982. Extraction of nitrogen from palm kernel meal and evaluation of digestibility of protein isolate from the meal by the in vitro method. *J. Agric. Food Chem.* **30**, 1163-1166.
- Barber, J.K., Warthesen, J.J. 1982. Some functional properties of acetylated wheat gluten. *J. Agric. Food Chem.* **30**, 930-934.
- Barry, T.N., Duncan, S.J. 1985. The role of condensed tannins in the nutritional values of *Lotus pedunculatus* for sheep. *Br. J. Nutr.* **54**, 211-217.
- Choi, Y.R., Lusas, E.W., Rhee, K.C. 1983. Molecular structure and functionalities of protein isolates prepared from defatted cottonseed flour succinylated at various levels. *J. Food Sci.* **48**, 1275-1280.
- Cornelius, J.A. 1966. Some technical aspects influencing the quality of palm kernels. *J. Sci. Food Agric.* **17**, 57-61.
- Cornelius, J.A. 1983. Processing of oil palm fruit and its products. Tropical Products Institute, Grays Inn Road, London, UK, 22-34.
- Franzen, K.L., Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. *J. Agric. Food Chem.* **24**, 788-795.
- Graham, D. E., Phillips, M.S. 1975. The conformation of proteins at interfaces and their role in stabilizing emulsion. En: Proc. Symp. Theory and Practice of emulsion technology, Brunel University. Smith, A.L., Ed., Academic Press, London.
- Haque, Z., Matoba, T., Kito, M. 1982. Incorporation of fatty acid into food protein: palmitoyl soybean glycinin. *J. Agric. Food Chem.* **30**, 481-486.
- Haque, Z., Kito, M. 1982. Lipophilization of soybean glycinin: covalent attachment to long chain fatty acids. *Agric. Biol. Chem.* **46**, 597-599.
- Huffman, V.L., Lee, C.K., Burns, E.E. 1975. Selected functional properties of sunflower meal. *J. Food Sci.* **40**, 70-74.
- Kato, A., Nakai, S. 1980. Hydrophobicity determined by a fluorescence probe method and its correlation with surface properties of proteins. *Biochim. Biophys. Acta* **624**, 13.
- Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of proteins in food: a Survey. *CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* **7**, 219-280.
- Kinsella, J.E., Domodaran, S., German, B. 1985. Physicochemical and functional properties of oilseed protein with emphasis on soy proteins. En: New Protein Foods, vol. 5, 107-179. Academic Press Inc., Orlando.
- Kito, M. 1987. Chemical and physical lipophilization of proteins. *JAOCS* **64**, 1676-1681.
- MacRitchie, F. 1978. Differences in baking quality between wheat flours. *J. Food Sci.* **13**, 187-194.
- Messinger, J.K., Rupnow, J.H., Zeece, M.G., Anderson, R.L. 1987. Effect of partial proteolysis and succinylation on functionality of corn germ protein isolates. *J. Food Sci.* **52**, 1620-1624.
- Puski, G. 1975. Modification of functional properties of soy proteins by proteolytic enzyme treatment. *Cereal Chem.* **52**, 655-664.
- Rahma, E.H., Narasinga, M.S. 1979. Characterization of sunflower proteins. *J. Food Sci.* **44**, 579-582.
- Rahma, E.H., Narasinga, M.S. 1983. Effect of acetylation and succinylation of cottonseed flour units functional properties. *J. Agric. Food Chem.* **31**, 352-355.
- Roussel-Philippe, C. 2001. Lipofilização das proteínas de milho, girassol e babaçu. Proyecto de pos-doctorado. Proyecto FAPESP, No. 2000/10418-2. UNICAMP. Lab. Óleos e Gorduras.
- Roussel-Philippe, C., Pina, M., Graille, J. 2000. Chemical lipophilization of soy protein isolates and wheat gluten. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2**, 97-101.
- Schwenke, K.D., Linow, K.J., Zirwer, D. 1986. Modification of the oligomeric structure of 11S globulin from sunflowers (*Helianthus annuus* L.) and rape (*Brassica napus* L.) seeds by succinylation. *Nahrung* **30**, 263-270.
- Sgarbieri, V.C. 1996. Proteínas em alimentos protéicos, p. 265-266. Livraria Varela., São Paulo.
- Sodini, G., Canella, M. 1977. Acidic Butanol removal of color-forming phenols from sunflower meal. *J. Agric. Food Chem.* **25**, 822-825.
- Spackman, D.H., Stein, W.H., Moore, S. 1958. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. Analytical Chemistry. Washington, 30, p 1190-1206.
- Sreedhara, N., Arumughan, C., Narayanan, C.S. 1992. Dehulling of palm kernel of oil palm (*Elaeis guineensis*) to obtain superior-grade palm kernel flour and oil. *JAOCS* **69**, 1015-1018.
- Sreedhara, N., Karup, P.A. 1998. Effect of hydrochloric acid treatment of palm kernel for dehulling on the nutritional quality of kernel protein. *J. Sci. Food Agric.* **77**, 435-400.
- Swift, C.E., Lockett, C., Fryar, A.J. 1961. Comminuted meat emulsions - the capacity of meats for emulsifying fat. *Food Technol.* **15**, 468-473.
- Tang, T.S., Teoh, P.K. 1985. Palm kernel oil extraction the Malaysian experience. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **62**, 254-258.
- Tornberg, E. 1978a. Functional characterization of protein stabilized emulsions-creaming stability. *J. Food Sci.* **43**, 1559-1568.
- Tornberg, E. 1978b. Functional characterization of protein stabilized emulsions-emulsifying behavior of proteins in a valve homogenizer. *J. Sci. Food Agric.* **29**, 867-879.
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., Ishii, K. 1972. Whippening and emulsifying properties of soybean products. *Agr. Biol. Chem.* **36**, 719-727.
- Yu, F., Barry, T.N., McNabb, W.C., Mouhan, P.J., Wilson, G.F. 1995. Effect of bound condensed tannin from cottonseed upon in situ protein solubility and dry matter digestion in the rumen. *J. Sci. Food Agric.* **69**, 311-320.