

Influencia de la relación proteína de altramuz/tensioactivo en las propiedades de flujo y texturales de emulsiones aceite en agua

Por A. Raymundo¹, J. Empis¹, I. Sousa¹, C. Gallegos² y J.M^a. Franco^{2*}

¹ Instituto Superior de Agronomía. Universidade Técnica de Lisboa. Tapada da Ajuda.
1349 - 017 Lisboa. Portugal.

² Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Huelva. 21819 La Rábida.
Huelva. Spain.

RESUMEN

Influencia de la relación proteína de altramuz/tensioactivo en las propiedades de flujo y texturales de emulsiones aceite en agua.

En el presente trabajo se ha estudiado la influencia que ejerce la proporción proteína de altramuz/emulsionante de bajo peso molecular en el comportamiento viscoso y en las propiedades texturales de emulsiones alimentarias aceite en agua con el fin de investigar un posible efecto sinérgico entre ambos tipos de emulsionantes. Con este propósito, se efectuaron medidas de tamaño de gota, flujo viscoso y propiedades texturales en emulsiones estabilizadas por proteína de altramuz y tensioactivos de diferente HLB (Tween 20 y tres estearatos de sacarosa). De los resultados experimentales, se concluye que las emulsiones estabilizadas por ambos tipos de emulsionantes muestran valores de la viscosidad en estado estacionario y de las propiedades texturales estudiadas inferiores a los encontrados en la emulsión estabilizada únicamente con proteína de altramuz, a pesar de poseer esta última un mayor tamaño medio de gota. La dependencia de los parámetros de flujo y texturales con la composición de la mezcla de emulsionantes empleada puede explicarse atendiendo al comportamiento de fases que presentan los emulsionantes de bajo peso molecular, así como a la estructura de la película interfacial y las interacciones entre ambos tipos de emulsionantes.

PALABRAS-CLAVE: Emulsión – Flujo viscoso – Proteína de altramuz – Reología – Tensioactivo – Textura.

SUMMARY

Effect of the lupin protein/surfactant ratio on the flow and textural properties of oil-in-water emulsions.

The influence of different surfactant/lupin protein ratio on the shear-flow and texture properties of oil-in-water emulsions was investigated in this work in order to find a synergistic effect between both types of emulsifiers. With this aim, texture, steady-shear flow and droplet size measurements were carried out. Different surfactants (Tween 20 and three sucrose esters) showing different phase behaviour in water solution were studied. From the experimental results it can be concluded that emulsions stabilised by mixtures of both, low- and high-molecular-weight emulsifiers, show lower values of steady-state viscosity and textural parameters than those found when lupin protein was the only emulsifier used, in spite of a higher average droplet size. The evolution of emulsion textural and flow parameters with the composition of the mixture used as emulsifier can be explained on the basis of the phase behaviour of the low-molecular-weight

emulsifier, modifications on the composition at the interface and hydrophobic interactions between both type of emulsifiers.

KEY-WORDS: Emulsion – Lupin protein – Rheology – Shear-flow – Surfactant - Texture.

1. INTRODUCCIÓN

La existencia de un efecto sinérgico positivo en la estabilización de emulsiones aceite en agua, como resultado de la adición de un emulsionante de bajo peso molecular a las tradicionales proteínas, ha sido ampliamente contrastada en diferentes tipos de sistemas (Nakamura *et al.*, 1988; Clark *et al.*, 1992; Franco *et al.*, 1995; Hong y Dickinson, 1996; Dickinson y Yamamoto, 1996, Franco *et al.*, 1997). Este efecto positivo se ha atribuido a la existencia de diversos tipos de interacciones entre ambos tipos de emulsionantes, que modifican las propiedades viscoelásticas de las emulsiones y conducen a un aumento de su estabilidad. Sin embargo, el efecto contrario ha sido detectado en determinadas emulsiones estabilizadas por mezclas proteína/tensioactivo, dependiendo de la naturaleza del tensioactivo empleado y de su proporción en la mezcla emulsionante total. Este comportamiento reológico complejo puede relacionarse con el desplazamiento que sufre la proteína situada en la interfase, que es sustituida parcialmente por las moléculas de tensioactivo de bajo peso molecular, lo que produce un descenso en la viscoelasticidad de la capa interfacial (Dickinson y Hong, 1995, Dickinson *et al.*, 1996, Dickinson y Hong, 1997). La pérdida de viscoelasticidad interfacial cuando se usan ambos tipos de emulsionantes es, además, debida a que las moléculas de proteína poseen bajas velocidades de difusión en comparación con la de emulsionantes de menor peso molecular, tanto más cuanto mayor es la viscosidad del medio continuo.

El uso de proteínas vegetales en emulsiones alimentarias presenta una serie de ventajas en comparación con la adición de la tradicional yema de huevo. Así, no contribuyen a un aumento del colesterol en la emulsión y su coagulación ocurre a tem-

peraturas más altas (80-90°C). Entre dichas proteínas se encuentran las procedentes del altramuz, cuyo uso como emulsionante puede revalorizar esta planta leguminosa. En trabajos previos se ha comprobado que las emulsiones estabilizadas con dicha proteína presentan características similares a las encontradas en emulsiones con emulsionantes tradicionales (Franco *et al.*, 1998a; Raymundo *et al.*, 1998a). El estudio sistemático llevado a cabo con estas emulsiones debe incluir también la posible optimización de mezclas de emulsionantes de alto y bajo peso molecular, como se ha descrito previamente. Consecuentemente, el objetivo de este trabajo ha sido el de estudiar la influencia de la relación proteína/emulsionante de bajo peso molecular sobre los parámetros de flujo y texturales de emulsiones estabilizadas por mezclas de proteína de altramuz y diferentes emulsionantes de bajo peso molecular.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han preparado emulsiones alimentarias con un contenido fijo de aceite (65% p/p) utilizando como emulsionantes un aislado de proteína de altramuz (L9020, Mittex Alangenbau GmbH, Alemania) y cuatro tensioactivos de bajo peso molecular. Se utilizaron estearatos de sacarosa de HLB 7 y 15 (SS7 y SS15 respectivamente, de la firma Mitsubishi Food Corp., Japón), un laurato de sacarosa de HLB 15 (SL15, Mitsubishi Food Corp., Japón) y un monolaurato de sorbitano polietoxilado de grado de etoxila-

ción 20 (Tween 20), de Aldrich-Sigma (Reino Unido). La información técnica del aislado proteico utilizado se muestra en la Tabla I. La cantidad total de emulsionante se ha mantenido constante e igual a 6% p/p en todos los casos. Se han estudiado proporciones de ambos tipos de emulsionante de 0/6, 1.5/4.5, 3/3, 4.5/1.5 y 6/0. Los diferentes tensioactivos y el aislado proteico que se han utilizado como emulsionantes se dispersaron, por ese orden y bajo condiciones de agitación, en agua destilada a 60°C con el fin de favorecer la disolución y, por otra parte, conseguir cierto grado de desnaturalización que, como se ha comprobado (Raymundo *et al.*, 1998a), favorece la estabilización de las emulsiones al aumentar su hidrofobicidad.

La emulsificación se llevó a cabo en un homogeneizador del tipo «rotor-estator» Ultra Turrax T-25 de Ika (Alemania) a temperatura ambiente. Ocasionalmente, debido a la intensa agitación aplicada, se alcanzan temperaturas de hasta 50°C. Las variables mecánicas de procesamiento se seleccionaron (14250 rpm durante 5 min) según el criterio de mínimo tamaño medio de gota encontrado en emulsiones estabilizadas con proteína de altramuz (Franco *et al.*, 1998a).

Las medidas de tamaño de gota se realizaron en un analizador de partículas, Malvern Mastersizer-X (Malvern, Reino Unido). Los valores de tamaño medio de Sauter, que son inversamente proporcional a la superficie específica de las gotas, se ha obtenido de la siguiente manera (Spro, 1967):

$$d_{sv} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (1)$$

donde n_i es el número de gotas de un determinado diámetro d_i .

Se han efectuado medidas de flujo viscoso aplicando rampas de esfuerzos entre 1 y 500 Pa en un reómetro de esfuerzo controlado (RS-75) de Haake (Alemania) usándose una geometría de platos paralelos serrados (diámetro: 20 mm, distancia entre platos: 1 mm) con el fin de eliminar fenómenos de deslizamiento en las paredes (Franco *et al.*, 1998b). En cada punto de la curva de flujo se ha aplicado el esfuerzo correspondiente hasta que la pendiente de la evolución de la velocidad de cizalla con el tiempo sea de 0.01%, de forma que puede considerarse que, prácticamente, se ha alcanzado el estado estacionario.

Las medidas de textura se obtuvieron a partir de un análisis de perfiles texturales llevado a cabo en un texturómetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, Reino Unido). Los ensayos de penetración se realizaron con probetas cilíndricas de 38 mm de diámetro y 5 mm de altura, en una celda de 5000 g y 2 mm/s de velocidad de penetración. De la evolución de la fuerza registrada en función del tiempo se calcularon parámetros tales

Tabla I

Información técnica del aislado proteico utilizado

Composición media en base seca			
proteína	89.9 %		
lípidos	0.8 %		
cenizas	3.6 %		
alcaloides	0.02 % max		
Contenido medio de aminoácidos (% mol)			
Glicina	3.7	Fenilalanina	4.0
Alanina	2.8	Triptófano	0.1
Valina	3.7	Prolina	0.1
Leucina	7.7	Metionina	0.6
Isoleucina	4.3	Cisteína	3.2
Serina	5.6	Lisina	4.0
Treonina	3.4	Histidina	2.9
Tirosina	4.5	Arginina	10.7
Ác. aspártico	10.7	Ác- glutámico	28.0

como la adhesividad y la firmeza. La firmeza se define como el valor máximo registrado de la fuerza, considerado como la máxima resistencia a la penetración del cilindro. Por otra parte, la adhesividad se define como la resistencia del material durante el receso de la probeta, registrándose como el área negativa bajo la curva del texturograma. Un análisis más detallado de los perfiles texturales se ha realizado en estudios previos (Raymundo *et al.*, 1998b). Todas las medidas se llevaron a cabo a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, obteniéndose al menos tres replicados de cada ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Tamaño de gota

En la Tabla II se muestran los valores del diámetro de Sauter obtenidos en emulsiones que contienen diferentes mezclas proteína/tensioactivo. Como puede observarse, los valores mayores del diámetro medio de Sauter corresponden a la emulsión estabilizada únicamente por proteína de altramuz. Valores inferiores se obtienen, sin embargo, cuando se incluye un emulsionante de bajo peso molecular en la formulación. Teniendo en cuenta los errores de preparación y medida sobre el diámetro de Sauter ($\pm 0.1 \mu\text{m}$), puede concluirse que las emulsiones preparadas utilizando proteína o SS15 como únicos emulsionantes poseen tamaños medios de gota significativamente mayores que los del resto de emulsiones ($p < 0.05$). Por el contrario, los menores tamaños de gota se obtienen cuando se usa únicamente Tween 20 o SL15 en la formulación, aunque con valores similares a los de emulsiones preparadas con mezclas de estos emulsionantes y la proteína. Un comportamiento diferente se observa cuando se analiza la evolución del tamaño de gota con la proporción de emulsionantes en emulsiones estabilizadas por mezclas SS15/proteína. Así, se produce inicialmente una reducción del diámetro de Sauter cuando se añade SS15 a la pro-

teína, tamaño que permanece casi constante para todas las proporciones proteína/SS15 estudiadas. Sin embargo, un importante aumento de este tamaño medio se observa cuando se preparan emulsiones utilizando SS15 como único emulsionante.

Las diferencias encontradas deben relacionarse con el comportamiento del tensioactivo en agua. Así, en el intervalo de concentraciones empleado, el Tween 20 es altamente soluble en agua (Courthaudon *et al.*, 1991). De forma similar, el SL15 forma una fase micelar de baja viscosidad (Berjano *et al.*, 1993). Por el contrario, el SS15, por encima de 43°C y 10% p/p, que corresponde aproximadamente a un 4.5% p/p en la emulsión, forma una fase líquido-cristalina laminar (Calahorra *et al.*, 1992), mientras que, como se ha comprobado previamente (Madiedo, 1996), el SS7 forma una estructura tipo gel en agua. El desarrollo de estas estructuras, debidas en parte a las elevadas temperaturas que pueden alcanzarse durante el proceso de emulsificación, actúa como barrera hidrodinámica a la ruptura consecutiva de las gotas durante la manufactura de la emulsión, dando lugar, consecuentemente, a tamaños mayores de gota. Sin embargo, la adición de proteína al sistema SS15/agua modifica la estructura líquido-cristalina favoreciendo un descenso del tamaño de gota. Por otra parte, el tamaño de gota obtenido depende también de la tensión interfacial del emulsionante, menor para emulsionantes de bajo peso molecular, aunque, no obstante, debe también tenerse en cuenta la menor velocidad de transferencia desde la fase continua hacia la interfase de las especies macromoleculares.

b) Flujo viscoso

Las curvas de flujo en estado estacionario muestran en todos los casos un descenso de viscosidad con la velocidad de cizalla, con una tendencia a alcanzar una viscosidad límite, η_0 , a muy bajas velocidades de cizalla. La Figura 1 muestra las curvas de flujo de las distintas emulsiones estudiadas. El comportamiento descrito puede ajustarse ($r^2 > 0.95$) a un modelo de Carreau generalizado (Barnes *et al.*, 1989):

$$(\eta - \eta_\infty) / (\eta_0 - \eta_\infty) = 1 / (1 + (\dot{\gamma} / \dot{\gamma}_c)^2)^s \quad (2)$$

donde $\dot{\gamma}_c$ es la velocidad de cizalla crítica a partir de la cual se observa un descenso de viscosidad con la velocidad de cizalla, «s» es un parámetro relacionado con la pendiente de esta zona de pseudoplasticidad y η_∞ es el valor de la viscosidad límite a altas velocidades de cizalla que, en este caso, se incluye como simple parámetro de ajuste al no encontrarse una tendencia bien definida a alcanzarse este valor. Los valores de estos parámetros se muestran en la Tabla III.

Tabla II

Valores del diámetro medio de Sauter para las diferentes emulsiones estudiadas

	d_{sv} (μm)			
	Tween20	SL15	SS7	SS15
0%P 100%S	1.9	1.8	2.3	2.7
25%P 75%S	1.9	2.0	2.3	2.3
50%P 50%S	2.0	1.9	2.2	2.3
75%P 25%S	2.2	1.9	2.3	2.3
100%P 0%S	3.1	3.1	3.1	3.1

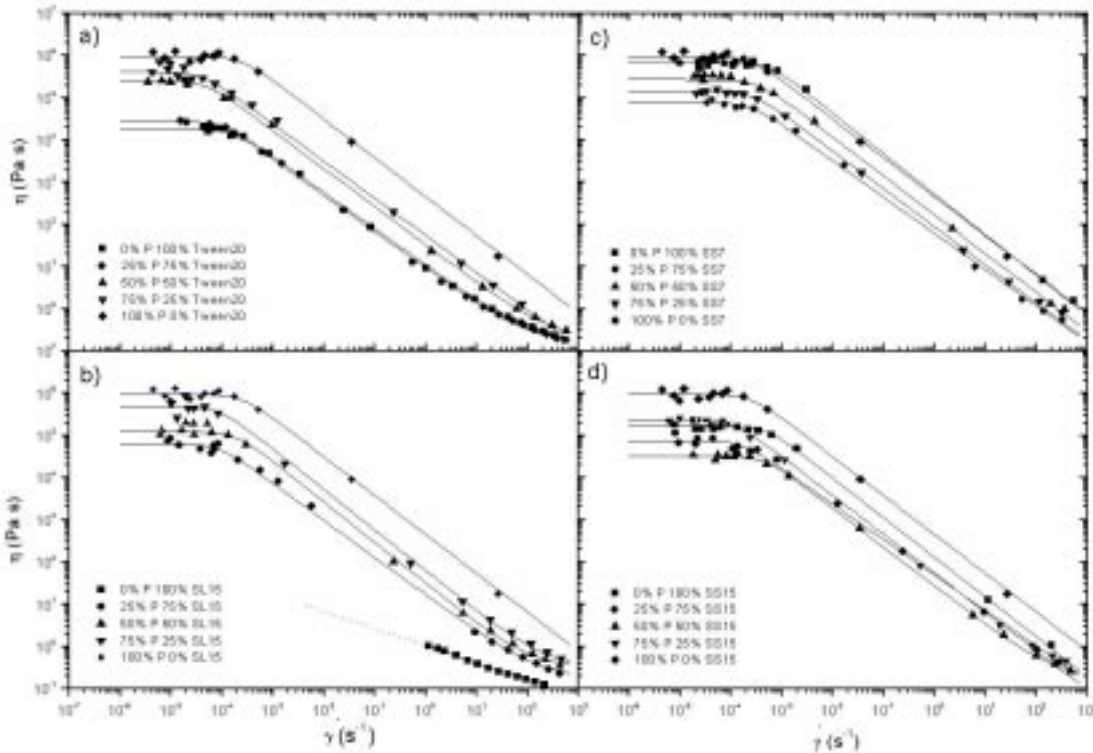


Figura 1

Influencia de la relación en masa proteína de altramuz /tensoactivo sobre las curvas de flujo estacionario de emulsiones estabilizadas por mezclas a) proteína/Tween 20, b) proteína/laurato de sacarosa de HLB 15, c) proteína/estearato de sacarosa de HLB 7 y d) proteína/estearato de sacarosa de HLB 15.

Tabla III
Valores de los parámetros del modelo de Carreau para las diferentes emulsiones estudiadas

	η_0 (Pas)	η_∞ (Pas)	γ_c (s ⁻¹)	s
0%P, 100% Tween20	$1.8 \cdot 10^4$	0.15	$9.71 \cdot 10^{-5}$	0.42
25%P, 75% Tween20	$2.4 \cdot 10^4$	0.15	$2.22 \cdot 10^{-4}$	0.43
50%P, 50% Tween20	$2.4 \cdot 10^5$	0.20	$6.99 \cdot 10^{-5}$	0.45
75%P, 25% Tween20	$4.0 \cdot 10^5$	—	$1.13 \cdot 10^{-4}$	0.47
100%P, 0% Tween20	$8.7 \cdot 10^5$	—	$1.93 \cdot 10^{-3}$	0.46
0%P, 100% SL15	—	0.08	—	0.40
25%P, 75% SL15	$3.5 \cdot 10^4$	0.18	$8.53 \cdot 10^{-5}$	0.44
50%P, 50% SL15	$1.3 \cdot 10^5$	0.32	$1.84 \cdot 10^{-4}$	0.48
75%P, 25% SL15	$4.5 \cdot 10^5$	0.32	$9.45 \cdot 10^{-5}$	0.48
100%P, 0% SL15	$8.7 \cdot 10^5$	—	$1.93 \cdot 10^{-3}$	0.46
0%P, 100% SS7	$7.3 \cdot 10^5$	—	$6.35 \cdot 10^{-4}$	0.48
25%P, 75% SS7	$7.6 \cdot 10^4$	—	$2.63 \cdot 10^{-4}$	0.44
50%P, 50% SS7	$2.6 \cdot 10^5$	—	$3.18 \cdot 10^{-4}$	0.46
75%P, 25% SS7	$1.4 \cdot 10^5$	—	$3.26 \cdot 10^{-4}$	0.45
100%P, 0% SS7	$8.7 \cdot 10^5$	—	$1.93 \cdot 10^{-3}$	0.46
0%P, 100% SS15	$1.1 \cdot 10^5$	0.19	$1.20 \cdot 10^{-3}$	0.48
25%P, 75% SS15	$6.3 \cdot 10^4$	—	$1.81 \cdot 10^{-4}$	0.45
50%P, 50% SS15	$2.8 \cdot 10^4$	—	$4.64 \cdot 10^{-4}$	0.44
75%P, 25% SS15	$2.4 \cdot 10^5$	—	$7.60 \cdot 10^{-4}$	0.46
100%P, 0% SS15	$8.7 \cdot 10^5$	—	$1.93 \cdot 10^{-3}$	0.46

La viscosidad límite a bajas velocidades de cizalla y la velocidad de cizalla crítica están significativamente influenciadas tanto por el tipo de tensoactivo utilizado como por la relación en masa proteína/tensoactivo. Como puede observarse en la Figura 2 y en la Tabla III, los valores de dicha viscosidad límite aumentan con las relaciones en masa proteína/Tween 20 y proteína/SL15 mientras que pasa por un mínimo en emulsiones estabilizadas por mezclas proteína/SS15. Una variación peculiar se observa en el caso de emulsiones que contienen proteína de altramuz y SS7 como mezcla emulsionante, puesto que usando una mezcla 3:3 de ambos tipos de emulsionantes, se encuentran valores de η_0 significativamente superiores al de emulsiones que contienen mezclas en otras proporciones.

Por otra parte, las emulsiones estabilizadas con SS7 o SS15 muestran valores de la velocidad de cizalla crítica más altos que las emulsiones estabilizadas por mezclas de uno de dichos emulsionantes y proteína de altramuz. Esto indica que la microestructura de emulsiones que contienen mezclas de ambos tipos de emulsionantes es menos resistente a la cizalla que la de emulsiones estabilizadas únicamente por uno de ellos. Una influencia similar a la encontrada en la evolución de η_0 con la relación tensoactivo/proteína se ha observado al estudiar algu-

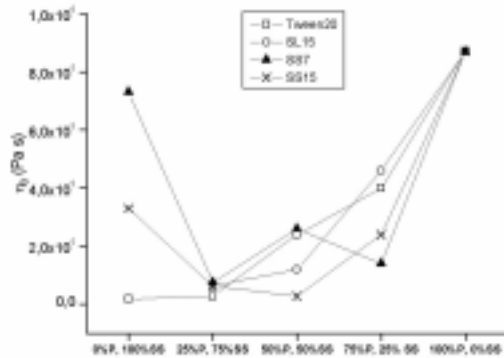


Figura 2

Evolución de la viscosidad límite a bajas velocidades de cizalla (η_0) con la relación en masa proteína de altramuz /tensoactivo (P/S).

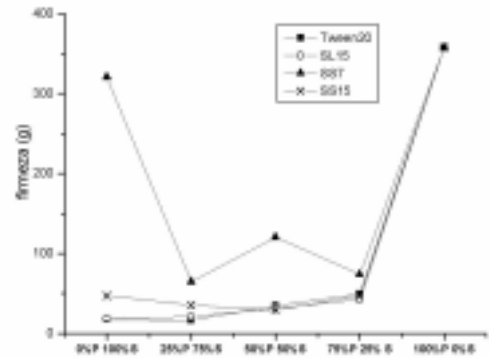


Figura 3

Evolución de la firmeza con la relación en masa proteína de altramuz/tensoactivo (P/S). (Error relativo medio: 3.2%).

nos parámetros viscoelásticos de estas emulsiones (Raymundo *et al.*, 1999). Así, el efecto predominante sobre la reología de estas emulsiones puede atribuirse a la disminución de la viscoelasticidad interfacial al reducir la concentración de proteína, a pesar de que el tamaño medio de gota se reduce al incorporar un emulsionante de bajo peso molecular. Sin embargo, los elevados valores de viscosidad encontrados en las emulsiones estabilizadas por SS7 y SS15 están relacionados con la elevada viscosidad de la fase continua inducida por estos tensoactivos. Finalmente, el comportamiento peculiar encontrado en la emulsión estabilizada por una mezcla 3:3 de proteína y SS7 debe explicarse mediante las interacciones de tipo hidrofóbico que se dan entre ambos tipos de moléculas, tal como ha sido propuesto por Dickinson y Hong (1997), al ser éste el tensoactivo de mayor hidrofobicidad de los estudiados.

c) Parámetros texturales

Las Figuras 3 y 4 recogen la evolución de la firmeza y la adhesividad de las emulsiones en función de la relación en masa proteína/tensoactivo. Ambos parámetros texturales siguen aproximadamente la misma tendencia que la viscosidad límite, η_0 , es decir, un incremento con la relación proteína/Tween 20 y proteína/SL15, un mínimo a proporciones intermedias de proteína y SS15, mas pronunciado en la evolución de la adhesividad, y la anteriormente comentada evolución con la relación proteína/SS7. Esto indica que, como ha sido probado (Franco *et al.*, 1998a), existe una estrecha relación entre la reología y algunos parámetros texturales. Así, una relativamente buena correlación se ha encontrado entre el logaritmo de los parámetros texturales estudiados y el logaritmo de la viscosidad límite, η_0 (Figura 5), a pesar de que los parámetros correlacionados perte-

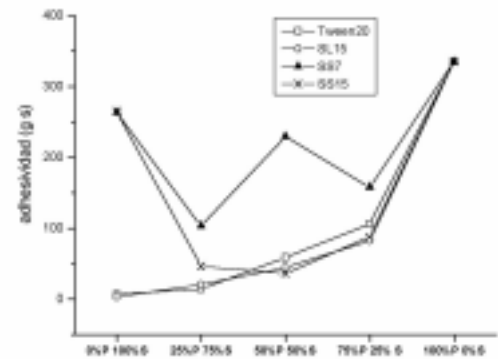


Figura 4

Evolución de la adhesividad con la relación en masa proteína de altramuz/tensoactivo (P/S). (Error relativo medio: 2.5%).

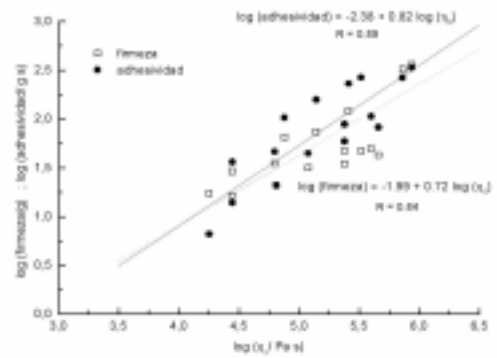


Figura 5

Correlación entre los parámetros texturales (firmeza y adhesividad) y la viscosidad límite a bajas velocidades de cizalla (η_0)

necen a emulsiones estabilizadas con emulsionantes de muy diversa naturaleza. Estos resultados indican que la viscosidad límite medida a bajas velocidades de cizalla puede ser una propiedad adecuada para predecir algunos parámetros de tipo sensorial como han sugerido Hill *et al.* (1995).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación entre España y Portugal financiado por unas Acciones Integradas (HP1997-00259) y una beca XXI BD/5754/95 de la JNICT (Portugal). Los autores agradecen la ayuda económica recibida.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnes, H.A., Hutton, J.F. and Walters, K. (1989). An Introduction to Rheology. Rheology Series 3. Elsevier. Amsterdam.
- Berjano, M., Guerrero, A., Muñoz, J. and Gallegos, C. (1993). Temperature-Dependence of Viscosity for Sucrose Laurate/Water Micellar Systems. *Colloid & Polym. Sci.* **271**, 600-606.
- Calahorra, C., Muñoz, J., Berjano, M., Guerrero, A. and Gallegos, C. (1992). Flow Behaviour of Sucrose Stearate/Water Systems. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **69**, 660-666.
- Clark, D.C., Wilde, P.J., Wilson, D.R. and Wunsteck, R.C. (1992). The Interaction of Sucrose Esters with -Casein from Bovine Milk. *Food Hydrocoll.* **6**, 173-186.
- Courthaudon, J.L., Dickinson, E., Matsumura, Y. and Clark, D.C. (1991). Competitive Adsorption of β -Lactoglobulin-Tween 20 at the Oil-Water Interface. *Colloids Surf.* **56**, 293-300.
- Dickinson, E. and Hong, S.T. (1995). Influence of Water-Soluble Nonionic Emulsifier on the Rheology of Heat-Set Protein Stabilized Emulsion Gels. *J. Agric. Food Chem.* **43**, 2560-2566.
- Dickinson, E. and Yamamoto, Y. (1996). Viscoelastic Properties of Heat-Set Whey Protein-Stabilized Emulsion Gels with Added Lecithin. *J. Food Sci.* **61**, 811-816.
- Dickinson, E. and Hong, S.T. (1997). Influence of Anionic Surfactant on the Rheology of Heat-Set β -Lactoglobulin-Stabilized Emulsion Gels. *Colloids Surf. A*, **127**, 1-10.
- Dickinson, E., Hong, S.T. and Yamamoto, Y. (1996). Rheology of Heat-Set Emulsion Gels containing β -Lactoglobulin and Small-Molecule Surfactants. *Neth. Milk Dairy J.* **50**, 199-202.
- Franco, J.M., Berjano, M., Guerrero, A., Muñoz, J. and Gallegos, C. (1995). Flow Behaviour and Stability of Light Mayonnaise containing a Mixture of Egg Yolk and Sucrose Stearate as Emulsifiers. *Food Hydrocoll.* **9**, 111-121.
- Franco, J.M., Berjano, M. and Gallegos, C. (1997). Linear Viscoelasticity of Salad Dressing Emulsions. *J. Agric. Food Chem.* **45**, 713-719.
- Franco, J.M., Raymundo, A., Sousa, I. and Gallegos, C. (1998a). Influence of Processing Variables on the Rheological and Textural Properties of Lupin Protein-Stabilized Emulsions. *J. Agric. Food Chem.* **46**, 3109-3115.
- Franco, J.M., Gallegos, C. and Barnes, H. A. (1998b). On Slip Effects in Steady-State Flow Measurements of Oil-In-Water Food Emulsions. *J. Food Eng.* **36**, 89-92.
- Hill, M.A., Mitchell, J.R., Sherman, P.A. (1995). The Relationship Between the Rheological and Sensory Properties of a Lemon Pie Filling. *J. Texture Stud.*, **26**, 457-470.
- Hong, S.T. and Dickinson, E. (1996). Rheology of Heat-Set Protein-Stabilized Emulsions Gels: Influence of Emulsifier-Protein Interactions, en *Gums and Stabilizers for the Food Industry*, G.O. Phillips, P.A. Williams and D.J. Wedlock, (eds.) Oxford University Press, Oxford, Vol. 8. p. 319.
- Madieto, J.M. (1996). PhD Thesis. University of Seville, Seville.
- Nakamura, R., Mizutani, R., Yano, M. and Hayakawa, S. (1988). Enhancement of Emulsifying Properties of Protein by Sonicating with Egg-Yolk Lecithin. *J. Agric. Food Chem.* **36**, 729-732.
- Raymundo, A., Franco, J.M., Gallegos, C., Empis, J. and Sousa, I. (1998a). Effect of thermal denaturation of lupin protein on its emulsifying properties. *Nahrung*, **42**, 220-224.
- Raymundo, A., Empis, J. and Sousa, I. (1998b). White Lupin protein isolate as a foaming agent. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, **207**, 91-96.
- Raymundo, A., Franco, J.M., Partal, P., Sousa, I. and Gallegos, C. (1999). Effect of the Lupin protein/surfactant ratio on linear viscoelasticity properties of oil-in-water emulsions. *Journal of Surfactants and Detergents*, **2**, 545-551.
- Spro, F.B. (1967). Distribution of Drop Sizes Produced in Turbulent Liquid-Liquid Dispersion. *Chem. Eng. Sci.* **22**, 435-442.

Recibido: Septiembre 2000
Aceptado: Febrero 2001