

# AFINIDAD

REVISTA DE QUÍMICA TEÓRICA Y APLICADA  
EDITADA POR LA ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS E INGENIEROS  
DEL INSTITUTO QUÍMICO DE SARRIÁ

## *Viscoelasticidad lineal y tamaños de gota de emulsiones O/W estabilizadas por proteínas vegetales*

Bengoechea, C.<sup>1</sup>, Cordobés, F.<sup>1</sup>, Puppo, M.C.<sup>2</sup>, Guerrero, A.<sup>1\*</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla. C/Profesor García González, 1, 41012 Sevilla, España

<sup>(2)</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos, Universidad Nacional de La Plata,  
47 y 116 (1900) La Plata, Argentina

---

*Linear Viscoelasticity and Droplet Size Distribution of O/W Emulsions Stabilised by Plant Proteins*

*Viscoelasticitat lineal i mides de gota d'emulsions O/W estabilitzades per proteïnes vegetals*

*Recibido: 23 de octubre de 2006; revisado: 18 de marzo de 2007; aceptado: 3 de mayo de 2007*

---

# Viscoelasticidad lineal y tamaños de gota de emulsiones O/W estabilizadas por proteínas vegetales

Bengoechea, C.<sup>1</sup>, Cordobés, F.<sup>1</sup>, Puppo, M.C.<sup>2</sup>, Guerrero, A.<sup>1\*</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla. C/Profesor García González, 1, 41012 Sevilla, España

<sup>(2)</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos, Universidad Nacional de La Plata, 47 y 116 (1900) La Plata, Argentina

---

*Linear Viscoelasticity and Droplet Size Distribution of O/W Emulsions Stabilised by Plant Proteins*

*Viscoelasticitat lineal i mides de gota d'emulsions O/W estabilitzades per proteïnes vegetals*

*Recibido: 23 de octubre de 2006; revisado: 18 de marzo de 2007; aceptado: 3 de mayo de 2007*

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado la viabilidad del uso de tres proteínas vegetales (gluten, soja y algarroba) como emulsionantes en emulsiones concentradas O/W (75 %p/p en aceite). Todas las emulsiones se han preparado mediante la utilización de un dispositivo rotor-estátor (Ultra-Turrax T50) y se ha estudiado la influencia que sobre las propiedades reológicas y la distribución de tamaños de gota, ejercen la composición (concentración de proteína y de aceite vegetal) y la velocidad de rotación del sistema emulsificador. Generalmente, un incremento de la concentración de proteína y de la velocidad de emulsificación conduce a un aumento en los valores de los parámetros reológicos ( $G'$  y  $G''$ ), acompañado de una evolución de la distribución de tamaños de gota hacia valores más pequeños, obteniéndose emulsiones más estructuradas y de mayor consistencia.

**Palabras-clave:** Reología. Gluten. Soja. Algarroba. Emulsión. Viscoelasticidad lineal.

## SUMMARY

This work deals with the viability of using three plant proteins (gluten, soybean and carob proteins) as emulsifiers in concentrated O/W emulsions (75 wt% oil). All the emulsions have been processed in a rotor-stator device (Ultra-Turrax T50), studying the influence of composition (protein and oil concentration) and rotor speed on the rheological properties and the droplet size distribution (DSD). Generally an increase in protein concentration and

rotor speed results in an enhancement of the rheological parameters ( $G'$ ,  $G''$ ) along with a evolution of the DSD to lower values, obtaining more structured and consistent emulsions.

**Key words:** Rheology. Gluten. Soybean. Carob. Emulsion. Linear Viscoelasticity.

## RESUM

En el present treball, s'estudia la viabilitat de l'ús de tres proteïnes vegetals (gluten, soja i garrofa) com emulsionants en emulsions concentrades O/W (75 %p/p en oli). Totes les emulsions es preparen mitjançant la utilització d'un dispositiu rotor-estator (Ultra-Turrax T50), i s'estudia la influència que tenen la composició (concentració de proteïna i d'oli vegetal) i la velocitat de rotació del sistema d'emulsió sobre les propietats reològiques i la distribució de mides de gota. En general, un increment de la concentració de proteïna i de la velocitat d'emulsió condueix a un augment en els valors dels paràmetres reològics ( $G'$  i  $G''$ ), i alhora a una evolució de la distribució de mides de gota cap a valors més petits, obtenint-se emulsions més estructurades i consistents.

**Mots clau:** Reologia. Gluten. Soja. Garrofa. Emulsió. Viscoelasticitat lineal.

---

\* aguerrero@us.es

## INTRODUCCIÓN

Muchas emulsiones de la industria alimentaria se encuentran estabilizadas por compuestos basados en mono y diglicéridos de ácidos grasos. Aún así, diversos autores han estudiado el poder emulsificante de diferentes proteínas vegetales (Tornberg, 1978, Elizalde *et al.*, 1996, Gallegos *et al.*, 2002). Dichas proteínas presentan la ventaja adicional de permitir la obtención de emulsiones de bajo contenido en colesterol y libres de riesgo de salmonella presente al utilizar un compuesto derivado del huevo. Además, existe un creciente interés hacia la utilización de proteínas poco empleadas, pero con un gran potencial como ingredientes de alimentos funcionales, lo que abriría una vía para el aprovechamiento de subproductos agrícolas.

El gluten de trigo se obtiene como subproducto de la industria del almidón, por medio de la molienda por vía húmeda. Una de las aplicaciones más extendidas del gluten de trigo se encuentra en la industria panadera, que aprovecha sus propiedades únicas para la formación de masa de pan [Singh (2005); Belton (1999)]; sin embargo, muchos investigadores han estudiado otras propiedades funcionales del gluten, como es su uso en la formación de emulsiones y espumas [Takeda y col. (2001); Wu (2001); Mimouni y col. (1999)], o de bioplásticos [Derksen y col. (1996)].

Las principales proteínas de reserva de la soja,  $\beta$ -conglucina y glicinina, poseen una variedad de propiedades funcionales aprovechables para los alimentos. Así, el aislado de proteína de soja actúa como un tensioactivo macromolecular a la hora de estabilizar emulsiones aceite en agua (O/W) en productos alimenticios, como sopas, salsas o blanqueantes de café. Las diferencias entre la  $\beta$ -conglucina y la glicinina a la hora de reducir la tensión interfacial, puede ser atribuida a sus características químicas y estructurales. Rivas y Sherman [1983a, 1983b, 1984a, 1984b] demostraron que la  $\beta$ -conglucina presenta mejores propiedades emulsionantes que la glicinina y que la proteína de soja obtenida por precipitación con ácido.

La harina de algarroba se obtiene como subproducto en la industria de la goma de garrofin. Esta harina contiene una menor cantidad de proteína que las obtenidas a partir de semillas de otras leguminosas como la soja. La mezcla de proteínas insolubles en agua que se aísla del germen de algarroba se denomina "caroubin" [Wang y col., 2001; Feillet y col., 1998], y suponen el 50% del peso total de la harina.

El hecho de que muchas proteínas puedan funcionar como agentes emulsionantes se debe a que son moléculas superficialmente activas, lo que les confiere habilidad para facilitar la formación de emulsiones aceite en agua (O/W), mejorando además su estabilidad y proporcionando propiedades físico-químicas deseables [McClements (2004)]. Las proteínas se adsorben en la superficie de las gotas de aceite recién formadas, creadas por la homogeneización de la mezcla aceite-agua-proteínas, facilitando la ruptura de las gotas al bajar la tensión interfacial y retrasando la coalescencia de las gotas al formar membranas protectoras alrededor de las mismas. La capacidad de las proteínas para generar interacciones repulsivas (estéricas y electrostáticas) entre las gotas de aceite y formar una membrana interfacial que sea resistente a la ruptura juega también un papel importante en la estabilización de las gotas frente a la floculación y la coalescencia durante un almacenamiento prolongado [Bos y van Vliet (2001); Wilde y col. (2004); Tcholakova y col. (2002)].

La reología es una herramienta muy útil para la caracterización de emulsiones [Tadros (2004)]. Así, mediante ensayos oscilatorios se puede obtener información sobre las propiedades elásticas y viscosas de las emulsiones, obteniéndose además parámetros tales como el módulo pla-

teau,  $G_N^0$ , o el esfuerzo crítico,  $\sigma_c$ , que informan sobre el grado de estructuración de la emulsión, y que pueden relacionarse con su microestructura.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar las propiedades reológicas de emulsiones concentradas O/W, utilizando proteínas de gluten y de soja como agente emulsionante. Asimismo, se observó la influencia que sobre la reología tienen diferentes variables, como la concentración de proteína presente en la emulsión final, la concentración de la fase oleosa y la velocidad de rotación del Ultra-Turrax T-50 (Staufen, Alemania) empleado en el proceso de emulsificación. Además, se estudió la posibilidad de utilización de otra proteína menos conocida (la de algarroba) para la formulación de emulsiones O/W estables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se prepararon diferentes emulsiones O/W con contenido en aceite vegetal variable entre 65 y 80 % (p/p). Como emulsionante se ha utilizado proteína vegetal en una concentración variable entre 0,25 y 3 % (p/p). El pH se ajustó a 2 mediante la adición de una disolución de ácido clorhídrico, 1M. Como agente conservante se ha utilizado una mezcla 1:1 sorbato/benzoato, de la que se añadieron unas gotas a las fase continua (agua + proteína). La formulación se completó con la cantidad correspondiente de agua destilada.

El gluten de trigo (83% de contenido proteico) fue suministrado por RIBA, S.A. (Glutenflor Supervital, Barcelona, España). El aislado de soja (SPI, 90% de contenido proteico) fue suministrado por Protein Technologies International (SUPRO 500E, Leper, Bélgica). La harina de algarroba fue suministrada por Alimcarat (Caratina, Mallorca, España). A partir de esta harina y mediante extracción alcalina se obtuvo un aislado de algarroba (CPI, 96% de contenido proteico) [Puppo *et al.*, 2006]. El aceite vegetal empleado como fase dispersa en las emulsiones es un aceite de girasol comercial.

La producción a escala de laboratorio de las emulsiones se ha llevado a cabo utilizando un homogeneizador "Ultra-Turrax T-50" de Ika (Staufen, Alemania). Las emulsiones se prepararon a una velocidad variable entre 4000 y 10 000 rpm durante aproximadamente 7 minutos. La temperatura de emulsificación fue 20 °C. Las emulsiones se almacenaron siempre a 4 °C.

Las propiedades viscoelásticas lineales se han estudiado mediante un reómetro Haake RS-150 (Karlsruhe, Alemania) utilizando un sensor placa-placa rugoso de 35 mm de diámetro (PP35). Las distribuciones de tamaño de gotas se han determinado usando un Mastersizer X Analyzer (Malvern Instrument LTD, Reino Unido). Los diámetros medios utilizados para describir los resultados de distribuciones de tamaños de gotas de fase dispersa han sido el diámetro medio del momento volumétrico ( $d_{4,3}$ ) y el diámetro medio del momento superficial o diámetro medio de Sauter ( $d_{3,2}$ ), que el programa informático calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$D[4,3] = \frac{\sum d^4}{\sum d^3}$$

$$D[3,2] = \frac{\sum d^3}{\sum d^2}$$

donde  $d$  es el diámetro de las diferentes gotas que conforman la fase oleosa.

Las medidas reológicas y de distribución de tamaño de gota se han realizado al día siguiente de la preparación de la emulsión. Se realizaron al menos dos replicados de cada ensayo, no encontrándose diferencias significativas en los valores de los parámetros viscoelásticos ( $p > 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Influencia de la concentración de proteína

Según McClements (2004), la estabilidad y reología de las emulsiones estabilizadas por proteínas pueden modificarse controlando, entre otras cosas, la concentración de proteína presente. Para estudiar la influencia de la concentración presente en la emulsión final de proteína sobre la reología y la distribución de tamaños de gota (DTG) de fase dispersa, se prepararon emulsiones con un 75 % (p/p) de aceite vegetal en un sistema rotor-estátor Ultra-Turrax UT-T50 a una velocidad de rotación de 6 000 r.p.m.. La concentración de proteína varía desde 0,125 a 3 % (p/p) en la emulsión final. En el caso del gluten, la concentración mínima que permitía la obtención de una emulsión estable era de 0,25%, probablemente debido a que a menores concentraciones existe defecto de proteína para cubrir toda la interfase aceite-agua. En el caso de la algarroba, no se prepararon emulsiones a concentraciones superiores al 1% ya que no se aseguraba la homogeneidad de la muestra durante el proceso de emulsificación a concentraciones más elevadas.

En la figura 1 aparecen las distribuciones de tamaños de gota para las emulsiones estabilizadas a diferentes concentraciones de proteína, mientras que en la tabla I aparecen recogidos los valores de los diámetros de Sauter y volumétricos para las emulsiones estudiadas. En el caso del gluten de trigo, una disminución en los tamaños de gota de fase dispersa tiene lugar cuando hay un aumento en la concentración proteica. Como puede observarse en la figura 1 y tabla I, un similar comportamiento se obtiene para las emulsiones preparadas con proteínas de soja y algarroba. Este efecto ha sido encontrado por otros autores anteriormente (Franco y col., 1997). Además se observa como tanto para las emulsiones de soja como para las de algarroba, las distribuciones son bimodales, lo cual es un comportamiento característico de emulsiones floculadas. En el caso del gluten, se observa una transición desde una distribución bimodal (1% e inferiores) hasta una monomodal (3%).

En la figura 2 están representados los barridos de esfuerzo para las emulsiones con diferente contenido en proteína. Los resultados obtenidos son típicos de dispersiones floculadas o 'geles particulados', donde la respuesta elástica es la predominante, con valores del módulo de almacenamiento,  $G'$ , superiores a los del módulo de pérdidas,  $G''$ , en el intervalo de esfuerzos estudiado. En esta figura se observa cómo el intervalo de viscoelasticidad lineal tiende a ser mayor en las emulsiones de mayor contenido en proteína, es decir, el esfuerzo crítico,  $\tau_c$ , y la deformación crítica,  $\gamma_c$ , valores en los que se produce la salida de la región viscoelástica lineal, aumentan en aquellas emul-

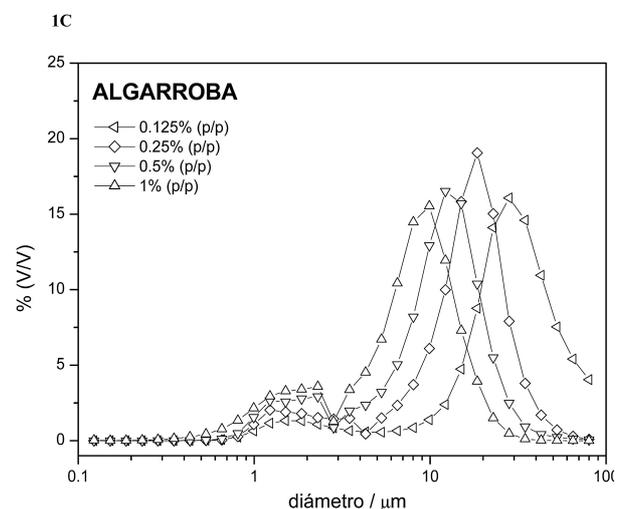
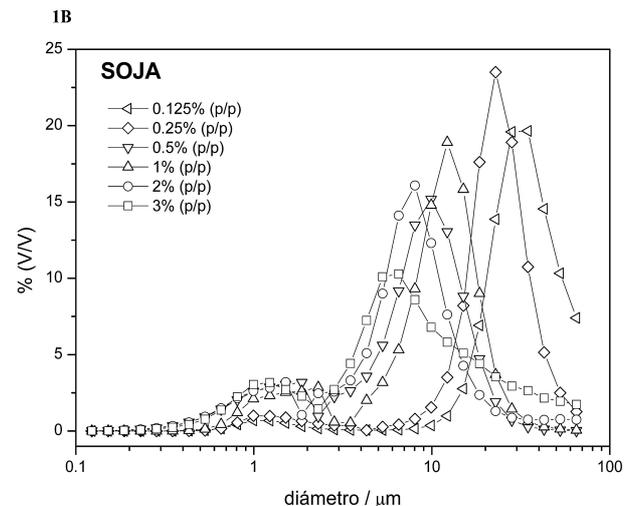
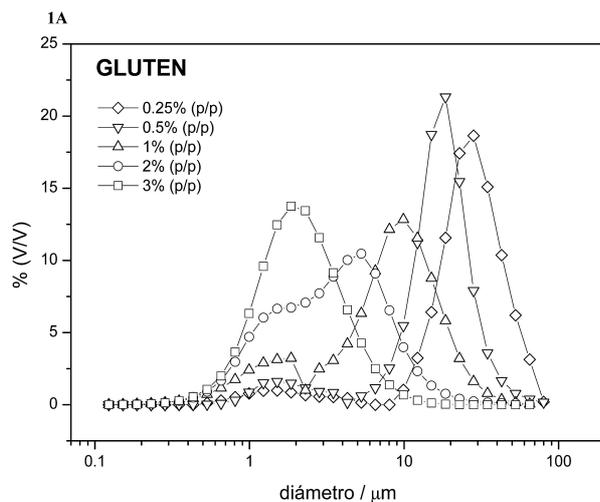


Figura 1. Curvas de distribución de tamaño de gota de emulsiones estabilizadas con una concentración variable de gluten (A), soja (B) o algarroba (C) y con una concentración de aceite de 75% (p/p).

**TABLA I**

Valores de parámetros característicos de viscoelasticidad y microestructura de emulsiones con concentración variable de gluten, soja o algarroba y una concentración fija de aceite, procesadas a 6 000 r.p.m.

	% Proteína	D32 (μm)	D43 (μm)	U	$\tau_c$ (Pa)	$\gamma_c$ (%)	$G_N^0$ (Pa)
Gluten	0,25	10,63	25,16	0,406	37,9	10,7	339,36
	0,5	7,98	15,92	0,404	54,6	12,0	434
	1	3,97	10,38	0,620	54,6	11,2	424,50
	2	2,35	4,37	0,685	233,6	12,6	1743,5
	3	1,91	2,83	0,574	621	15,2	3690
Soja	0,125	18,14	37,94	0,359	12,7	2,3	519,02
	0,25	12,94	27,44	0,348	18,3	3,5	550,02
	0,5	9,18	18,18	0,364	37,9	4,3	658,20
	1	5,80	12,34	0,460	54,6	6,0	999,25
	2	3,56	10,44	0,683	112,9	7,0	1637,25
	3	3,78	16,50	1,254	233,6	10,6	2294,75
Algarroba	0,125	10,81	28,18	0,490	26,7	4,4	713,4
	0,25	7,05	15,18	0,476	37,9	4,9	730,6
	0,5	5,16	10,67	0,491	78,5	7,4	1072,5
	1	3,47	7,36	0,508	233,6	12,4	2583,5

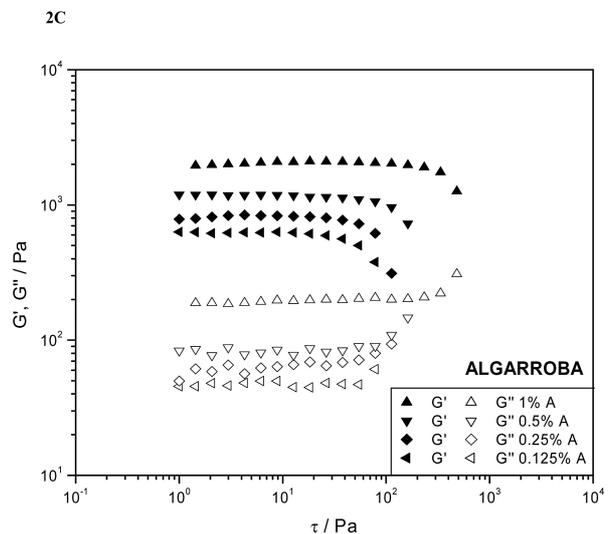
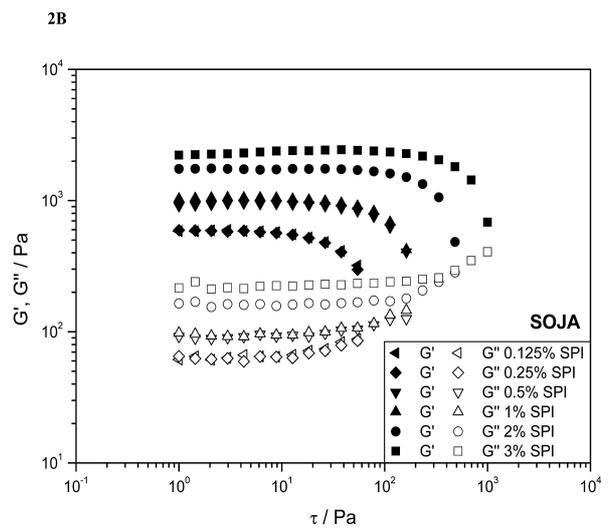
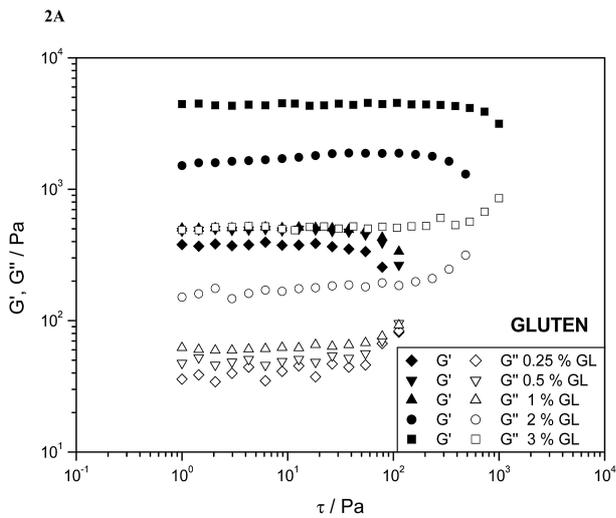


Figura 2. Barridos de esfuerzo a una frecuencia constante (6,28 rad/s) de emulsiones con una concentración variable de gluten (A), soja (B) o algarroba (C), procesadas a 6 000 r.p.m., y con una concentración de aceite de 75% (p/p).

siones de mayor contenido proteico. Dicho efecto puede comprobarse en la tabla I, en la que se presentan los valores de  $\tau_c$  y  $\gamma_c$  en función de la concentración de proteína. La evolución del espectro mecánico para las emulsiones estudiadas es cualitativamente similar. Así, aparece un mínimo en los valores del módulo de pérdidas ( $G''$ ), que se ha relacionado anteriormente con la formación de un entramado entre las proteínas que están adsorbidas en la interfase aceite/agua, lo que produce la formación de una red a lo largo de toda la estructura de la emulsión (Franco y col., 1995). El módulo plateau, se define como la extrapolación de la contribución del entramado al módulo de almacenamiento ( $G'$ ) a altas frecuencias (Baumgaertel y col., 1992). Se puede calcular de forma aproximada mediante la siguiente ecuación (Wu, 1989):

$$G_N^0 = [G']_{\text{an } \delta \rightarrow \text{mínimo}}$$

donde  $\tan \delta = G''(\omega)/G'(\omega)$ . El límite de confianza de los valores del módulo plateau obtenidos mediante la ecuación anterior es de  $\pm 4,3\%$  (Wu, 1989). En la tabla I aparecen los valores de  $G_N^0$  para las diferentes emulsiones: los mayores valores del módulo plateau corresponden a las emulsiones con mayor concentración de proteína, que son las emulsiones que presentaran una mayor estructuración.

En la figura 3, se observa cómo cuando aumenta la proporción de proteína en la emulsión se produce un aumento tanto de  $G'$  como de  $G''$  en el espectro mecánico. Estos resultados parecen demostrar que la adición de proteína favorece la formación de un entramado estructural extensivo, debido a las interacciones entre las moléculas de proteínas adsorbidas en la interfase agua/aceite de las diferentes gotas y/o entre ellas y las moléculas de proteínas libres que se encuentran desplazadas en la fase continua. Este aumento es progresivo en el caso de la soja y la algarroba, aunque para las emulsiones estabilizadas con gluten de trigo se observa un gran salto en los valores de los parámetros viscoelásticos al aumentar la concentración al 2 y 3%. Este salto podría asociarse con un cambio en la estructura de la emulsión, la cual pasaría a asemejarse más a una dispersión de aceite en una matriz gel que a una emulsión, lo cual justificaría también el paso de una distribución de gotas bimodal a una monomodal.

### Influencia de la concentración de aceite

En este caso, se seleccionó una concentración fija de proteínas de gluten y soja (1% (p/p)), y se prepararon emulsiones con una concentración de aceite de girasol variable (65, 70, 75, 80 % (p/p)) a 6 000 r.p.m. en el dispositivo homogeneizador. En todas las emulsiones se aprecian en

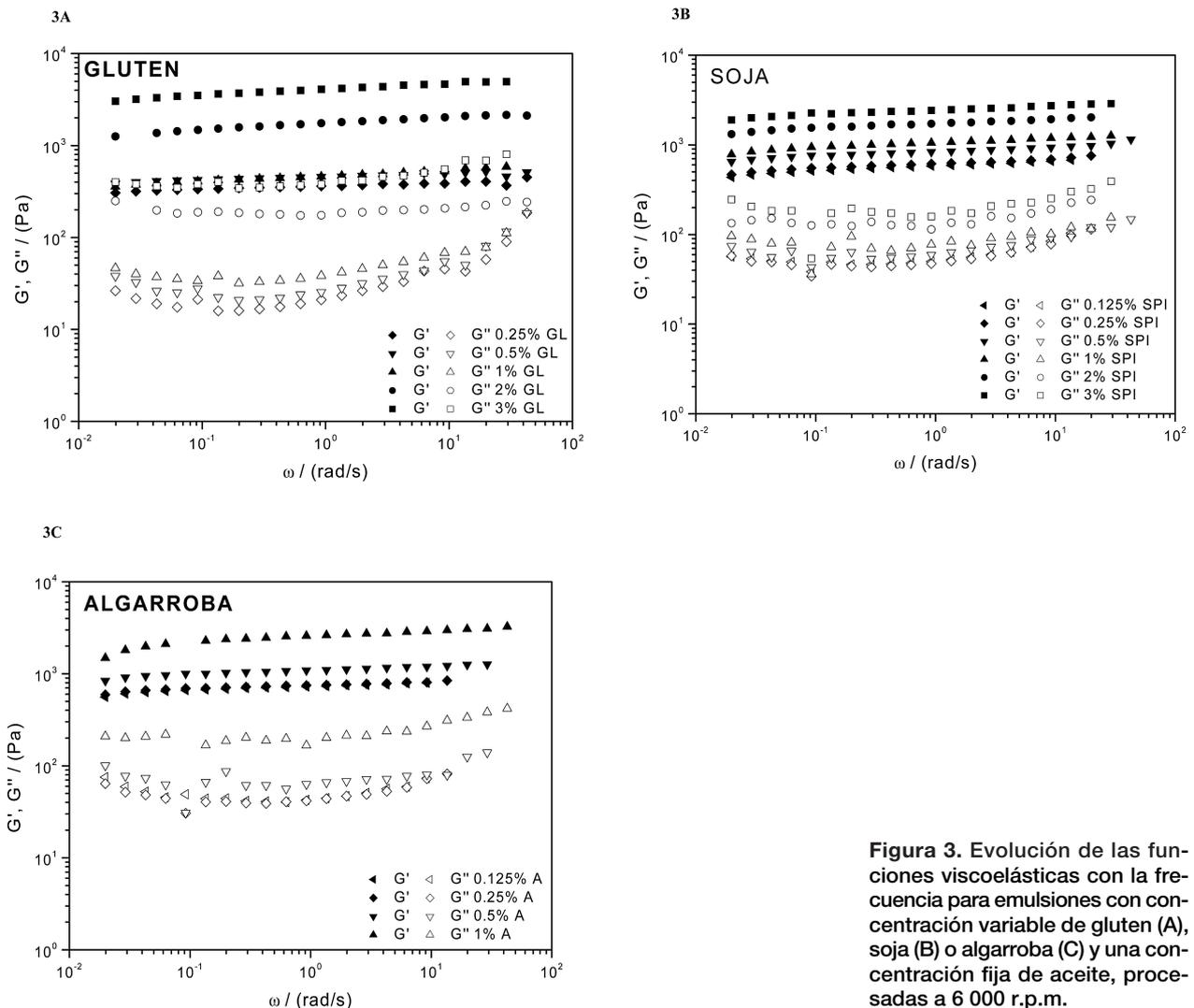


Figura 3. Evolución de las funciones viscoelásticas con la frecuencia para emulsiones con concentración variable de gluten (A), soja (B) o algarroba (C) y una concentración fija de aceite, procesadas a 6 000 r.p.m.

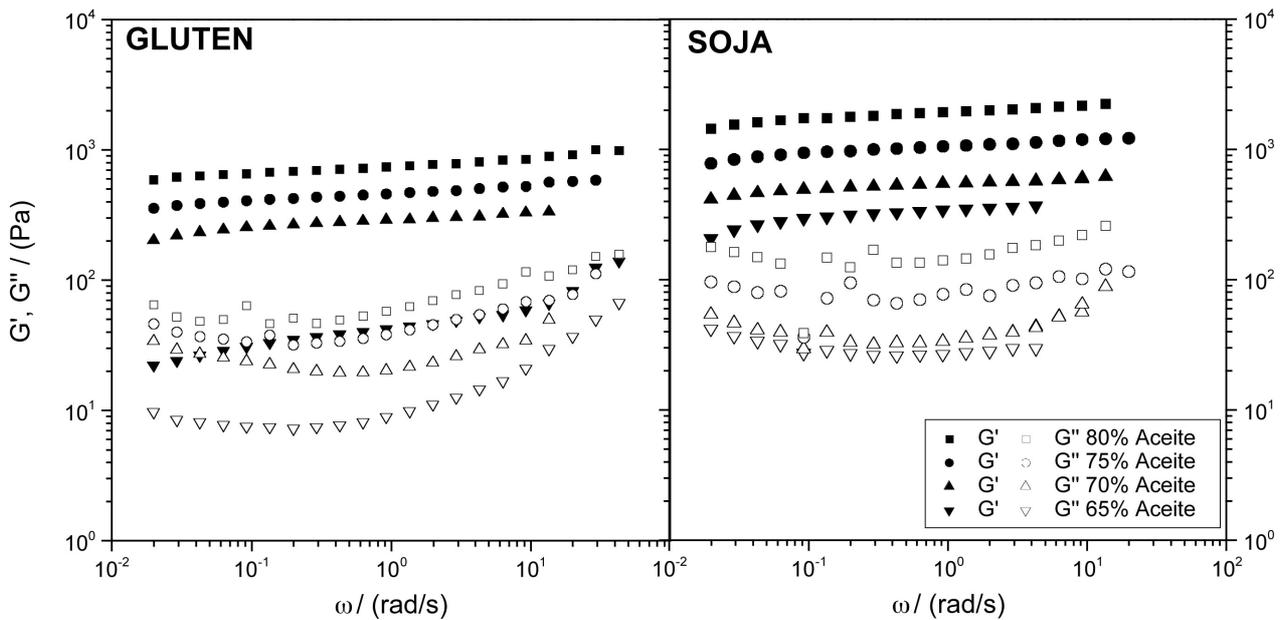


Figura 4. Evolución de las funciones viscoelásticas con la frecuencia para emulsiones que contienen 1% (p/p) de gluten o soja, y una concentración variable de aceite, procesadas a 6 000 r.p.m.

el intervalo de frecuencias estudiado dos regiones características: (i) una región plateau intermedia, en la que  $G''$  es prácticamente constante y la pendiente de  $G'$  disminuye con la frecuencia, y (ii) el principio de una región de transición a altas frecuencias caracterizada por un incremento de los valores de  $G''$  (Franco y col. 1997). Parece que conforme aumenta el volumen de fase dispersa, aumenta la viscoelasticidad y el entramado que se forma entre las proteínas se hace más fuerte (figura 4 y tabla II). En el caso del gluten, es posible observar en la emulsión del 65% de aceite cierta tendencia hacia una zona

terminal a bajas frecuencias, caracterizada por una tendencia a un punto de cruce entre ambas funciones viscoelásticas.

La influencia de la concentración de fase oleosa sobre la distribución de tamaños de gota no parece ser muy grande, no observándose grandes cambios a las diferentes concentraciones (figura 5). Por lo que respecta a los parámetros reológicos, el aumento de la concentración de fase oleosa produce un incremento en los valores de  $\tau_c$ ,  $\gamma_c$  y  $G_n^0$ , confirmando creación de un entramado estructural más fuerte (tabla II).

TABLA II

Valores de parámetros característicos de viscoelasticidad y microestructura para emulsiones que contienen 1% (p/p) de gluten o soja y una concentración variable de aceite, procesadas a 6 000 r.p.m.

	% Aceite	D32 ( $\mu\text{m}$ )	D43 ( $\mu\text{m}$ )	U	$\tau_c$ (Pa)	$\gamma_c$ (%)	$G_n^0$ (Pa)
Gluten	65	3,64	9,08	0,466	1,6	3,3	35
	70	3,99	9,76	0,504	18,3	7,4	278,45
	75	3,97	10,38	0,620	54,6	11,2	424,50
	80	4,33	11,22	0,643	112,9	14,8	672,50
Soja	65	6,16	12,82	0,410	2,9	1,25	335,85
	70	5,68	12,38	0,477	26,4	4,74	492
	75	5,80	12,34	0,460	54,6	6,00	999,25
	80	5,19	9,99	0,461	162,4	8,47	1745,5

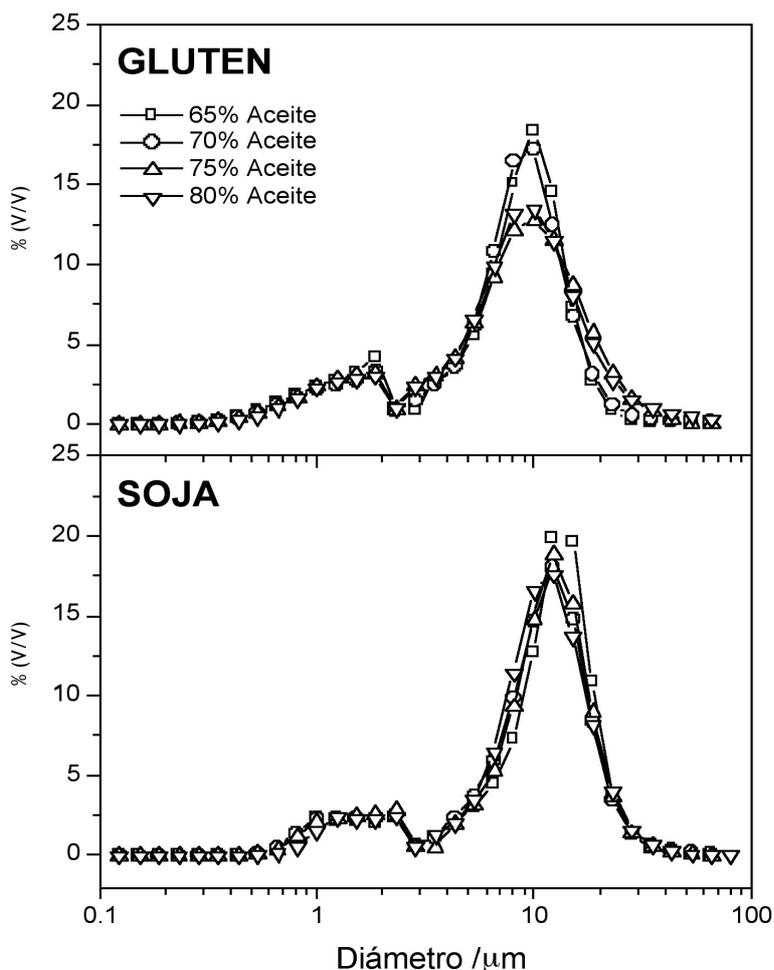


Figura 5. Curvas de distribución de tamaño de gota de emulsiones estabilizadas con 1% (p/p) de gluten o soja, y con una concentración variable de aceite.

#### Influencia de la velocidad de rotación durante la emulsificación

La velocidad de rotación y, por tanto, la energía suministrada, tiene una enorme influencia sobre las propiedades finales de la emulsión. Para estudiar este efecto en las emulsiones estabilizadas con proteínas de gluten y soja se prepararon emulsiones con una concentración de pro-

teína del 1% (p/p), una concentración de aceite de girasol de 75% (p/p) y una velocidad de rotación que variaba entre 4 000, 6 000, 8 000 y 10 000 r.p.m.

Al aumentar la energía suministrada durante la emulsificación, se obtienen emulsiones con unas propiedades viscoelásticas de mayor magnitud y distribuciones de tamaños de gota más estrechas y desplazadas a diámetros menores (figura 6 y figura 7).

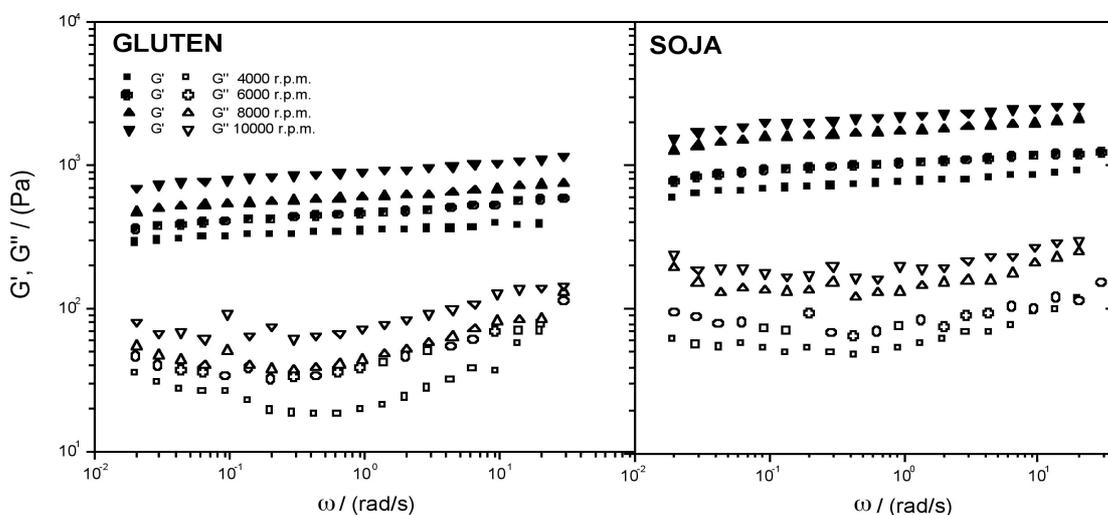


Figura 6. Barridos de frecuencia de emulsiones que contienen 75% (p/p) de aceite y 1% (p/p) de gluten (izq.) o de soja (dcha.), procesadas a diferentes velocidades (4 000, 6 000, 8 000, 10 000 r.p.m.).

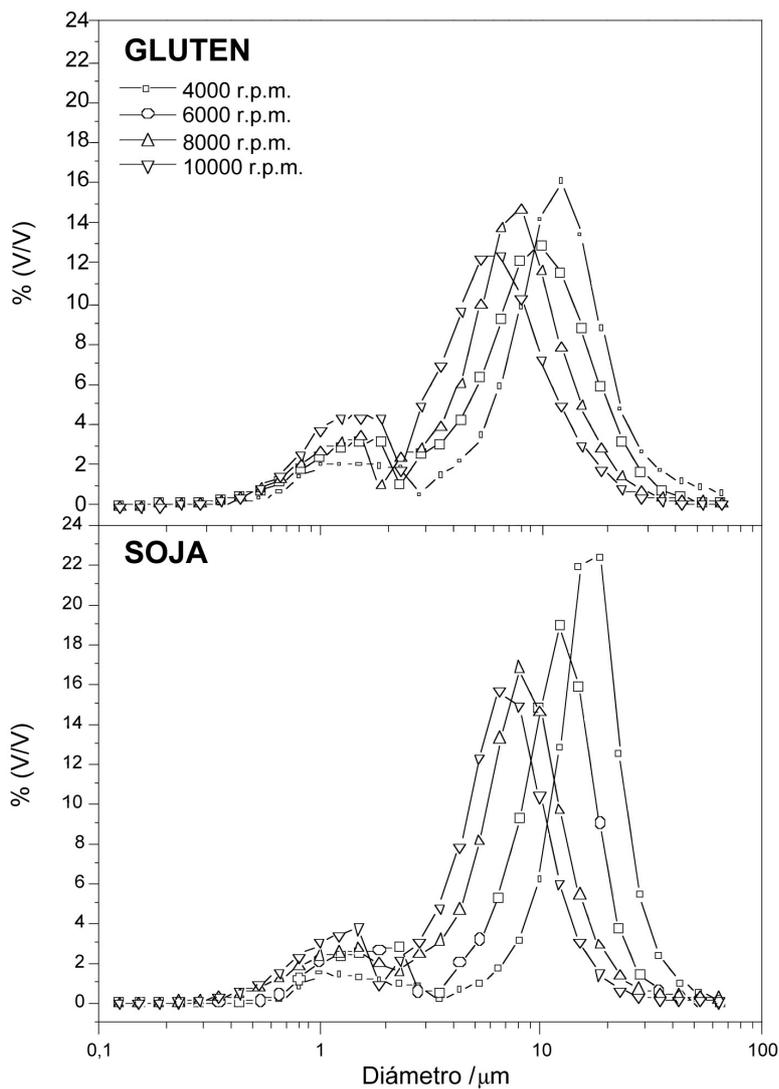


Figura 7. Curvas de distribución de tamaño de gota de emulsiones estabilizadas con 1% (p/p) de gluten (arriba) o de soja (abajo) y procesadas a diferentes velocidades.

Los valores de  $\tau_c$  y  $\gamma_c$  denotan un aumento del intervalo viscoelástico lineal de las emulsiones conforme aumenta la velocidad de rotación a la que han sido preparadas.

Asimismo, se produce un fuerte incremento en los valores de  $G_N^0$  lo que pone de manifiesto el aumento del grado de estructuración del sistema (tabla III).

**TABLA III**

Valores de parámetros característicos de viscoelasticidad y microestructura de emulsiones con concentración del 1% (p/p) de gluten o soja y del 75% (p/p) de aceite, procesadas a diferentes velocidades de rotación.

	N (r.p.m.)	D32 ( $\mu\text{m}$ )	D43 ( $\mu\text{m}$ )	U	$\tau_c$ (Pa)	$\gamma_c$ (%)	$G_N^0$ (Pa)
Gluten	4000	5,72	14,56	0,564	26,4	7,6	339,36
	6000	3,97	10,38	0,620	54,6	11,2	424,50
	8000	3,64	8,76	0,634	78,5	12,9	574,5
	10000	3,02	6,76	0,654	112,9	12,6	867,5
Soja	4000	9,04	18,36	0,374	37,9	5,84	735,05
	6000	5,80	12,34	0,46	54,6	6,00	999,25
	8000	3,96	9,46	0,552	112,9	6,13	1611
	10000	3,28	7,43	0,546	112,9	5,14	2061,5

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten comprobar la capacidad para ejercer de agente emulsificante del gluten de trigo, la soja y la algarroba. Las emulsiones tienen mayores valores en sus propiedades reológicas cuando en su composición aumenta la concentración de proteína, la concentración de la fase oleosa o la velocidad de rotación del dispositivo emulsificador. En el caso de las emulsiones estabilizadas con gluten, este efecto es más evidente para concentraciones de proteína superior al 1%, para las que hay un salto importante en sus propiedades viscoelásticas y hay un paso a una distribución monomodal. En cuanto al efecto de la concentración de aceite, se produce aumento de las propiedades reológicas al aumentar ésta, aunque la distribución de tamaños de gota no se ve alterada en gran medida. En las emulsiones preparadas a mayores velocidades de rotación se produce un aumento gradual de las propiedades viscoelásticas y una disminución de los tamaños de gota.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación AGL2002-01106, financiado por el MCYT de España, al cual se le agradece sinceramente la ayuda prestada.

## BIBLIOGRAFÍA

Tornberg, E.: «Functional characteristics of protein stabilized emulsions: emulsifying behaviour of proteins in a valve homogenizer», *J. Food Sci.*, 29, 1978, 867.

Elizalde, B.E.; Bartholomai, G.B.; Pilofof, A.M.R.: «The effect of pH on the relationship between hydrophilic/lipophilic characteristics and emulsification properties of soy proteins». *Lebens Wiss U Technol*, 29, 1996, 334.

Gallegos, C.; Franco, J.M.; Madiedo, J.M.; Raymundo, A.; Sousa, I.: «Nonlinear Viscoelasticity Modeling of Vegetable Protein-Stabilized Emulsions», *Engineering and food for the 21st century*, Welti-Chanes, J.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Aguilera, J.M. (eds.), CRC Press, 2002, cap. 25.

Singh, H.: «A study of changes in wheat protein during bread baking using SE-HPLC», *Food Chemistry* 90, 2005, 1-2, 247.

Belton, P.S.: «On the elasticity of wheat gluten», *J. Cereal Sci.* 1999, 29, 103.

Takeda, K.; Matsumura, Y.; Shimizu, M.: «Emulsifying and surface properties of wheat gluten under acidic conditions». *J Food Sci*, 2001, 66 (3), 393-399.

Wu Y.V.: «Emulsifying activity and emulsion stability of corn gluten meal». *J Sci Food Agr*, 2001, 81 (13), 1223-1227.

Mimouni, B.; Azanza, J.L.; Raymond, J.: «Influence of double enzymic hydrolyses on gluten functionality». *J Sci Food Agr*, 1999, 79, 1048-1053.

Derksen JTP; Cuperus FP; Kolster P. 1996: «Renewable resources in coatings technology: A review». *Proc Org Coat*, 27 (1-4), 45-53.

Rivas, H.J.; Sherman, P.: «Soy and meat proteins as food emulsion stabilizers. 1. Viscoelastic properties of corn oil-in-water emulsions incorporating soy or meat protein», *J. Text. Studies*, 1983a, 14, 251.

Rivas, H.J.; Sherman, P.: «Soy and meat proteins as food emulsion stabilizers. 2. Influence of emulsification temperature, NaCl and methanol on the viscoelastic properties of corn oil-in-water emulsions incorporating acid precipitated soy protein», *J. Text. Studies*, 1983b, 14, 267.

Rivas, H.J.; Sherman, P.: «Soy and meat proteins as food emulsion stabilizers. 3. The influence of soy and meat protein fractions on oil-in-water interfacial tension», *J. Dispers., Sci. Technol.*, 1984a, 5, 143.

Rivas, H.J.; Sherman, P.: «Soy and meta proteins as food emulsion stabilizers. 4. The stability and interfacial rheology of O/W emulsions stabilized by soy and meat proteins fractions», *Colloids Surfaces*, 1984b, 11, 155.

Wang, Y.; Belton, P.S.; Bridon, H.; Garanger, E.; Wellner, N.; Parker, M.L.; Grant, A.; Feillet, P.; Noel, T.R.: «Physicochemical Studies of Caroubin: A Gluten-like Protein», *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 3414.

Feillet, P.; Roulland, T. M.: «Caroubin: a gluten-like protein isolated from carob bean germ», *Cereal Chem.*, 1998, 75, 488.

Norde, W.: «Colloids and Interfaces in Life Sciences», Marcel Dekker, New York, NY (2003).

McClements, D.J.: «Protein-stabilised emulsions». *Curr Opin Colloid In*, 2004, 9, 305-313.

Bos, M.A., van Vliet, T.: «Interfacial rheological properties of adsorbed protein layers and surfactants: a review». *Adv Colloid Interfac*, 2001, 91, 437-471.

Wilde, P.; Mackie, A.; Husband, F.; Gunning, P.; Morris, V.: «Proteins and emulsifiers at liquid interfaces». *Adv Colloid Interfac*, 2004, 108-109, 63-71.

Tcholakova, S.; Denkov, N.D.; Ivanov, I.B.; Campbell B.: «Interrelation between drop size and protein adsorption at various emulsification conditions». *Langmuir*, 2002, 19, 5640-5648.

Tadros, T.: «Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of emulsions». *Adv Colloid Interfac*, 2004, 108-09, 227-258.

Puppo, M.C.; Villanueva, A.; Moreno, G.; Bengoechea, C.; Alaiz, M.; Millán, F.; Guerrero, A.: «Preparation and physicochemical characterization of a carob protein isolate», *submitted*, 2006.

Franco, J.M.; Berjano, M.; Gallegos, C.: «Linear viscoelasticity of salad dressing emulsions», *J. Agric. Food Chem.*, 1997, 45, 713.

Franco, J.M.; Guerrero, A.; Gallegos, C.: «Rheology and Processing of Salad Dressing Emulsions», *Rheol. Acta*, 1995, 34, 513.

Baumgaertel M.; De Rosa, M.E.; Machado, J.; Masse, M. y Winter, H.H.: «The relaxation time spectrum of nearly monodisperse polybutadiene melts», *Rheol. Acta*, 1992, 31, 75.

Wu, S.: «Chain structure and entanglement», *J Polym Sci*, 1989, 27, 723.