

# INVESTIGACIÓN

## Emulsiones tipo crema preparadas a base de leche de soja 2: Efecto de la agitación controlada sobre la reología de las cremas

Por **Andrés L. Márquez, Gonzalo G. Palazolo y Jorge R. Wagner(\*)**

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA),  
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.

Calle 47 s/n y 116, (1900), La Plata, Argentina

(\*) e-mail: jrwagner@biol.unlp.edu.ar

### RESUMEN

#### **Emulsiones tipo crema preparadas a base de leche de soja 2: Efecto de la agitación controlada sobre la reología de las cremas.**

La coalescencia parcial de las emulsiones o/w puede inducirse por agitación, debido a la presencia de cristales de grasa en las gotas. En este trabajo se estudió el efecto de la agitación sobre el comportamiento reológico de emulsiones tipo crema preparadas con leche de soja reconstituida (5% y 10%), aceite de girasol y grasa láctea de alto punto de fusión comparativamente con una nata comercial. Las cremas, inicialmente líquidas, aumentaron progresivamente la consistencia durante la agitación cuando el contenido de fase lipídica fue del 40%. Aunque se requirió un mayor tiempo de agitación en cremas con leche más concentrada (a igual proporción de fase lipídica) se registró un aumento más pronunciado de la viscoelasticidad. Por otra parte, al aumentar la concentración de grasa láctea en la fase lipídica se requirió un tiempo de agitación menor por verse favorecida la coalescencia parcial. Independientemente del contenido en grasa láctea, las emulsiones con fases lipídicas relativamente bajas (20%) no aumentaron su consistencia por agitación.

*PALABRAS-CLAVE: Agitación - Coalescencia parcial - Crema - Emulsiones - Leche de soja - Reología.*

### SUMMARY

#### **Cream-like emulsions prepared with soybean milk: Effect of controlled stirring on rheological behaviour.**

In o/w emulsions, partial coalescence can be induced by stirring, due to the presence of fat crystals in oil droplets. In this work, effect of stirring on rheological behaviour of cream-like emulsions prepared with reconstituted soybean milk, sunflower oil and milk fat (high melting fraction) was analysed. Commercial milk cream sample was used as control. During stirring, progressive increase of consistency of 40% lipid phase emulsions was observed. Although a high stirring time was required in emulsions prepared with more concentrated soybean milk, a pronounced enhance of its viscoelasticity was observed. On the other hand, when milk fat concentration was increased in lipid phase, it was required a low stirring time value as consequence of promoted partial coalescence. Independently of the milk fat content, in emulsions with relatively low lipid phase content (20%) an increase of consistency was not observed.

*KEY-WORDS: Cream - Emulsions - Partial coalescence - Rheology - Soybean milk - Stirring.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las emulsiones o/w, cuando no hay cristales de grasa presentes, los principales mecanismos de desestabilización (separación gravitacional, floculación y coalescencia) pueden minimizarse con la reducción del tamaño de gota (McClements, 1999). Sin embargo en muchas emulsiones de interés práctico parte de la fase lipídica puede cristalizar, principalmente a bajas temperaturas (Boode y Walstra, 1993). En estos sistemas, los mecanismos normales de desestabilización siguen siendo relevantes en emulsiones que contienen grasa cristalizada dentro de las gotas de fase lipídica. Sin embargo estas gotas semisólidas pueden también desestabilizarse por un mecanismo adicional, la coalescencia parcial. Este mecanismo es esencial en la elaboración y propiedades de muchos alimentos emulsionados como son la nata («crema de leche» en Argentina), las cremas heladas y la manteca (Vanapalli y Coupland, 2001). Debido a la cristalización parcial de la fase lipídica, los cristales de una gota pueden sobresalir y penetrar en la interfase de otra, uniéndose por interacciones hidrofóbicas y formando agregados. Dado que la coalescencia parcial requiere el contacto directo entre las gotas, depende marcadamente del trabajo mecánico aplicado (Boode y Walstra, 1993; Boode y col., 1993).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de la agitación controlada sobre la estabilidad frente al mecanismo de coalescencia parcial en emulsiones preparadas con leche de soja reconstituida, aceite de girasol refinado y grasa láctea. A fines comparativos se ha incluido el estudio sobre una nata comercial. Se evalúa el efecto de distintas condiciones de agitación y composición de las emulsiones sobre la coalescencia parcial y la relación entre el grado de evolución de este tipo de desestabilización con el comportamiento reológico de las cremas obtenidas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

La leche de soja en polvo (LS) fue cedida por Unilever Bestfoods Argentina S.A, el aceite de girasol refinado por Molinos Río de La Plata (Avellaneda, Argentina) y la fracción de alto punto de fusión de grasa láctea, GL (punto de fusión 47-48°C) provino de la Universidad de Wisconsin. La nata se adquirió en un comercio local, con un mínimo de 42% de materia grasa, según lo especificado en el rótulo. Todos los demás reactivos fueron de calidad analítica.

### 2.2. Preparación de las emulsiones

La leche de soja reconstituida (LSR) se preparó con agua destilada, a dos concentraciones de LS: 5 y 10% p/p, con agregado de 0,2% p/p goma xántica (X) y 0,03% v/v de azida sódica como preservante, resultando las leches LS5X y LS10X respectivamente. Con estas leches, aceite de girasol refinado y grasa láctea de alto punto de fusión (GL) se prepararon las siguientes emulsiones según sus características de estabilidad y formulación seleccionadas en un trabajo previo (Márquez y col., 2005):

**A:** LS5X, 40% FL (30% GL) (crema formulada con leche LS5X, con 40% v/v de una fase lipídica compuesta por 30% p/p de GL y el resto en aceite); **B:** LS5X, 40% FL (50% GL); **C:** LS10X, 40% FL (30% GL); **D:** LS10X, 20% FL (60% GL); y **CL:** Nata líquida comercial (crema de leche) usada como control.

Estas composiciones seleccionadas responden a la siguiente estrategia: la comparación entre **A** y **B** permite estudiar la influencia del contenido de GL (a la misma concentración de leche de soja e igual cantidad de fase lipídica); comparación entre **A** y **C**, influencia de la concentración de leche de soja utilizada (a igual cantidad y composición de fase lipídica); y comparación entre **C** y **D**, influencia de la cantidad de fase lipídica agregada (manteniendo el porcentaje de GL en la emulsión).

Estas emulsiones se prepararon con LSR y una mezcla de aceite de girasol refinado-GL (150 ml de volumen total) por homogeneización a 60°C empleando un equipo Ultraturrax T-25 a 20000 r.p.m. durante 3 minutos. Las emulsiones se almacenaron a 4°C durante un tiempo mínimo de 3 horas, presentando después del almacenamiento un comportamiento líquido.

Según el Código Alimentario Argentino (CAA, 2002), las muestras **A**, **B** y **C** simulan a las natas comunes (FL: 34,1-50,0%) y **D** a una nata liviana (FL: 18,0-34,0%) que no aumenta su consistencia por batido.

### 2.3. Contenido de grasa en estado sólido

El contenido porcentual de sólidos a 4°C en las emulsiones se determinó por el método RMN de pulsos (Bruker Minispec pc120). El valor de contenido de grasa sólida (CGS) se determinó por el método directo calculándose como:  $[(fS_{11}/(fS_{11} + S_{59}))] \cdot 100$  (%), donde  $S_{11}$  y  $S_{59}$  son las magnetizaciones a 11 y 59  $\mu$ s., respectivamente y  $f$  es un factor de extrapolación (Gribnau, 1992). Las mediciones se hicieron al menos por duplicado.

### 2.4. Ensayos de agitación controlada y microestructura de las emulsiones

Las emulsiones se sometieron a ensayos de agitación suave y controlada. En un vaso de vidrio (100 mm de altura y 50 mm de diámetro) adaptado a un agitador magnético (varilla girante de 40 mm de longitud), se colocó un volumen definido de las mismas (30 ml) (Figura 1). La velocidad de agitación fue controlada a 100 r.p.m y el tiempo de agitación final ( $t_f$ ) se definió como aquel en el cual el proceso se detiene por aumento de consistencia. La temperatura se controló a 15°C, mediante la adaptación del dispositivo de agitación a un baño termostático Lauda RK8 KP (Lauda-Königshofen, Alemania).

Para analizar la microestructura de las emulsiones, se utilizó un microscopio óptico con luz polarizada Leitz (Wetzlar, Alemania) conectado al baño termostático (15°C). Las micrografías se obtuvieron con un aumento de 400 X y 1000 X, mediante una cámara fotográfica (Zeiss MC80 DX, Alemania) adaptada al microscopio (Figura 1). Esto permitió la observación de las emulsiones inmediatamente después de ser sometidas a los tratamientos de agitación.

### 2.5. Comportamiento reológico de las emulsiones

*Reología de emulsiones agitadas:* Para estudiar el comportamiento reológico, se tomaron alícuotas a distintos tiempos de agitación ( $t \leq t_f$ ) desde el mo-

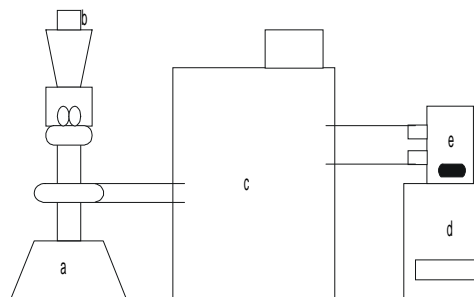


Figura 1

Representación esquemática del dispositivo de agitación y microscopio con control de temperatura: a) Microscopio óptico con luz polarizada; b) Cámara fotográfica; c) Baño termostático; d) Agitador magnético; e) Vaso de vidrio termostático y varilla de agitación

mento en que las cremas comenzaron a aumentar su consistencia. Dicho comportamiento se determinó con un reómetro dinámico de platos paralelos (Haake CV20 Rotovisco, Karlsruhe, Alemania) con una separación de 1 mm. Se efectuaron barridos de  $G'$  (módulo elástico o de almacenamiento) y  $G''$  (módulo viscoso o de pérdida) en función de la frecuencia de oscilación, a 5% de deformación, dentro del rango de viscoelasticidad lineal. Se determinaron los valores de  $\tan \delta = G''/G'$ , siendo  $\delta$  el ángulo de desfase. Las mediciones se llevaron a cabo al menos por triplicado y la temperatura fue controlada a 15°C durante todo el experimento.

**Determinación de viscosidad aparente:** Con las emulsiones sin agitación previa, se realizaron ensayos tipo Couette en un viscosímetro (Haake Rotovisco RV2, rotor NV, Karlsruhe, Alemania). Este método consiste en colocar un volumen (entre 9 y 10 ml) de la muestra entre dos cilindros concéntricos (5 mm de separación), de los cuales el exterior gira y el interior se mantiene fijo. La velocidad de cizalla ( $D$ ) se aumentó desde 0 a 86,5 s<sup>-1</sup> en un lapso de 30 s. (aceleración constante), manteniéndose a 86,5 s<sup>-1</sup> por 3 min. Este aumento de velocidad de cizalla correspondió a un aumento de la velocidad del rotor ( $n$ ) desde 0 a 16 min<sup>-1</sup>, siendo  $D = M.n$  y  $M$  (factor de cizalla) = 5,41 min.s<sup>-1</sup>. La temperatura se mantuvo constante a 15°C durante todo el experimento. La viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ , en cP) se calculó como  $\eta_{ap} = G.S/n$ , donde  $G$  es un factor del instrumento,  $S$  es el grado de la escala en la adquisición de los datos y  $n$  es la velocidad del rotor en min<sup>-1</sup>.

## 2.6. Distribución de tamaño de partícula

La distribución de tamaño de partícula de las emulsiones se realizó utilizando un analizador de partículas (Malvern Mastersizer 2S, Malvern Instruments Ltd., Reino Unido). Las distribuciones fueron expresadas como volumen diferencial en un rango de diámetros de 0,03 a 300  $\mu$ m. Los diámetros promedio  $d_{32}$  y  $d_{43}$  se obtuvieron a partir de la distribución en volumen a partir de las expresiones:

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{d_i}}, \quad d_{43} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

donde  $V_i$  es el volumen de aceite distribuido en partículas de diámetro  $d_i$ . Para evaluar la presencia de flóculos en las emulsiones, las correspondientes determinaciones se llevaron a cabo diluyendo previamente (1:1) una alícuota de las mismas con buffer Tris/HCl 50 mM pH 8,0 con 1% SDS (Anton, 2002).

Las medidas se llevaron a cabo al menos por duplicado.

## 2.7. Porcentaje de grasa desestabilizada

El porcentaje de grasa desestabilizada (% GD) de determinó de acuerdo al método descrito por Segall y Goff (2002), el cual es una modificación del de Goff y Jordan (1989). Las emulsiones fueron diluidas 1:1000 con agua destilada y la turbidez de la dilución a 540 nm a distintos tiempos de agitación ( $t \leq t_f$ ), Espectrofotómetro Beckman DU 650) fue utilizada como indicador de la formación de agregados inducida por este tratamiento. El % GD se calculó a partir de la expresión:

$$\% \text{ GD} = [(A_{540 \text{ in}} - A_{540 \text{ t}})/A_{540 \text{ t}}] \times 100$$

$A_{540 \text{ in}}$  y  $A_{540 \text{ t}}$  son los valores de turbidez de la emulsiones diluidas inicial y agitada a tiempo  $t$  ( $t \leq t_f$ ), respectivamente. Los ensayos se realizaron al menos por duplicado.

## 2.8. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por análisis de la varianza y las diferencias significativas con un 95% de confianza ( $p < 0,05$ ) fueron determinadas mediante el test de Fisher (Statgraphics Plus 2.1, Statistical Graphics Corporation, USA).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las emulsiones estudiadas presentaron inicialmente un comportamiento líquido. Durante la agitación magnética (100 min<sup>-1</sup>, 15°C), a excepción de la muestra **D** que permaneció líquida, se observó un progresivo aumento en la consistencia de las cremas. Tal comportamiento se atribuye al fenómeno conocido como coalescencia parcial, que puede ser inducido por la colisión de las gotas durante el proceso de agitación (Boode y Walstra, 1993; Boode y col., 1993; McClements, 1999; Mutoh y col., 2001). La presencia de cristales de GL en la interfase que rodea las gotas favorecería la unión de las mismas, dando lugar a la formación de una red de agregados (Goff, 1997). La Figura 2a muestra los tiempos necesarios para alcanzar una consistencia capaz de detener por sí misma la agitación magnética, observándose un aumento de  $t_f$  en el orden **B** < **A** < **C** < **CL**. Las cremas **A** y **C** tienen la misma cantidad y composición de fase lipídica, sin embargo el  $t_f$  requerido para **C** es mayor. Este resultado podría atribuirse a la suma de dos factores: 1) el menor diámetro promedio  $d_{43}$  de las gotas en **C** (Tabla I), lo cual disminuye la eficiencia de colisión (McClements, 1999) y 2) el mayor contenido de sólidos de leche de soja en la LSR utilizada para preparar esta

Tabla I

Tamaño medio de partícula ( $d_{43}$ ) de las emulsiones sin tratamiento de agitación. La medición se llevó a cabo en ausencia de agentes disociantes

Emulsión	$d_{43}$ ( $\mu\text{m}$ )
<b>A</b>	<b>18,3 <math>\pm</math> 0,5</b>
<b>B</b>	<b>9,4 <math>\pm</math> 1,2</b>
<b>C</b>	<b>4,9 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>D</b>	<b>3,9 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>CL</b>	<b>3,5 <math>\pm</math> 0,1</b>

emulsión, lo cual aumentaría la resistencia frente al movimiento de las gotas, disminuyendo así la frecuencia de colisión.

Por otra parte, aunque las cremas **A** y **B** fueron formuladas con una LSR de la misma concentración (5% p/p de LS), el  $d_{43}$  de **A** fue casi dos veces mayor al de **B** (Tabla I). Con este resultado se esperaría un menor  $t_f$  para **A** que para **B**. Sin embargo en la crema **B**, el mayor porcentaje de GL en la emulsión total favorecería la coalescencia parcial, lo cual se corresponde con su menor  $t_f$ . Con respecto a **CL**, esta muestra presentó el mayor CGS y el menor valor de  $d_{43}$  (Figura 2b, Tabla I). A pesar de contener un 42%

de materia grasa y un valor de CGS superior al 20%, el tiempo requerido para detener la agitación fue mayor a 30 minutos, lo que indica que la mayor estabilidad a la coalescencia parcial está dada por un diámetro pequeño de gota. En **D**, el hecho de que no aumente la consistencia se atribuyó no sólo al bajo valor de  $d_{43}$  (Tabla I) sino también a que el porcentaje de fase lipídica de esta emulsión fue sólo la mitad que en **A**, **B** y **C**. Según McClements (1999), un menor número de gotas por unidad de volumen está asociado a una disminución de la frecuencia de choque en condiciones de trabajo mecánico. Por consiguiente, es probable que en la emulsión **D**, no haya formación de agregados o haya una cantidad insuficiente para producir un aumento de la consistencia.

Para corroborar si el mecanismo por el cual las emulsiones aumentan su consistencia es la coalescencia parcial, se analizó en la crema **B** la variación de  $d_{43}$  y el porcentaje de grasa desestabilizada (% GD) con el tiempo de agitación ( $t \leq t_f$ ). Según Anton y col. (2002), cuando las mediciones de tamaño de gota se realizan en ausencia de SDS (1%),  $d_{43}$  representa tanto el tamaño de gotas individuales como de gotas agregadas. La Figura 3a muestra la distribución en volumen de tamaños de gota a diferentes tiempos de agitación (expresados como fracción de  $t_f$ ,  $t/t_f$ ), siendo en todos los casos multimodales y exhibiendo la aparición de gotas y/o agregados de mayor tamaño (entre 20 y 200  $\mu\text{m}$ ) con el aumento de  $t/t_f$ . Cuando la determinación de tamaño de gota de la emulsión inicial se llevó a cabo en presencia de SDS 1%, no se encontraron diferencias significativas en los valores de  $d_{43}$  ( $p < 0,05$ ). Esto sugiere la ausencia de flóculos estables en las condiciones de medida de tamaño de partícula (Anton, 2002). Cuando la emulsión **B** fue agitada a  $t = t_f$  el valor de  $d_{43}$  se incrementó respecto a  $t=0$  en aproximadamente 6 y 4 veces en ausencia y presencia de SDS, respectivamente. Este resultado indicaría la presencia tanto de flóculos (los cuales se separan en presencia de SDS) como de agregados formados por coalescencia par-

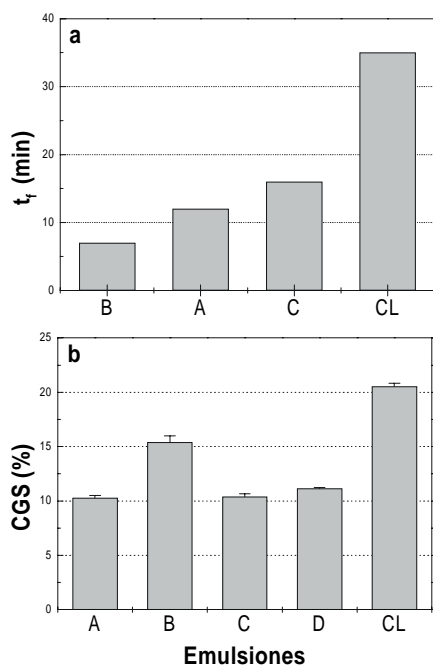


Figura 2

a) Tiempos finales de agitación ( $t_f$ ) y b) porcentaje de grasa sólida (% CGS) de las emulsiones. Descripción de las muestras: A) LS5X 40% fase lipídica (30% GL); B) LS5X 40% fase lipídica (50% GL); C) LS10X 40% fase lipídica (30% GL); D) LS10X 20% fase lipídica (60% GL); CL) Nata.

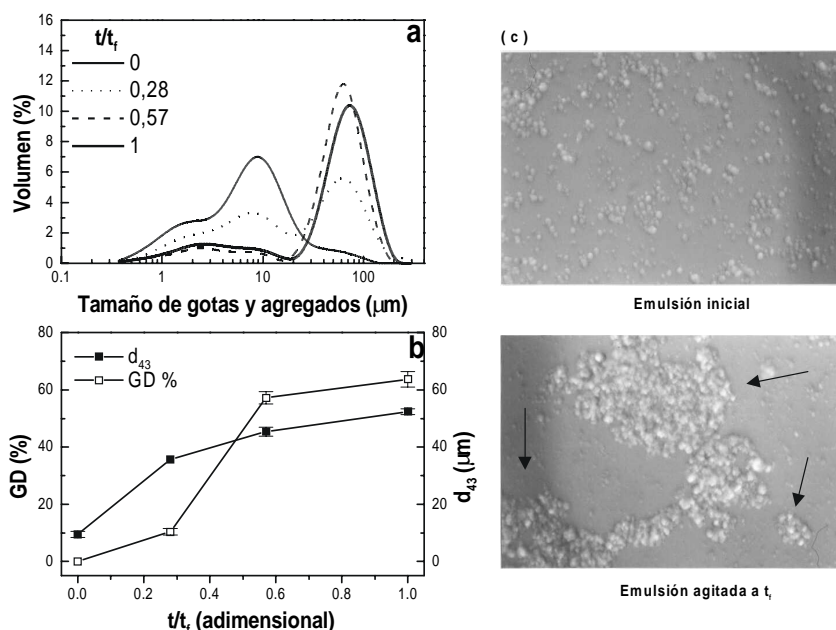


Figura 3

Variación de distintos parámetros de la emulsión B (LS5X 40% fase lipídica (50% GL) sometida a agitación controlada ( $15^{\circ}\text{C}$ , 100 r.p.m.): a) Distribución de tamaño de partícula (gotas y agregados) de la emulsión sometida a distintos tiempos de agitación ( $t \leq t_f$ ); b) Variación del diámetro promedio ( $d_{43}$ ) y porcentaje de grasa desestabilizada (% GD) con  $t/t_f$ ; c) Micrografías ópticas con luz polarizada de la emulsión no agitada y agitada a  $t_f$ . Las flechas muestran los agregados formados.

cial a través de cristales de grasa. El incremento del  $d_{43}$  fue concomitante con el de % GD (Figura 3b), lo cual corrobora que las gotas se unen formando agregados, evidenciados en la Figura 3c al comparar las micrografías ópticas de la emulsión **B** sin agitar y agitada a  $t_f$ . Cabe destacar que el CGS en las muestras no aumentó con la agitación ( $p < 0,05$ ) (datos no mostrados), lo cual sugiere que durante tal proceso habría sólo cambios en el tipo y ubicación de los cristales dentro de las gotas (Goff, 1997).

Sobre las emulsiones que aumentaron su consistencia (**A**, **B**, **C** y **CL**), se realizaron medidas del comportamiento reológico de alícuotas de las mismas con distintos tiempos de agitación. Se observó un aumento en los parámetros  $G'$  y  $G''$  con el tiempo de agitación, lo cual indica que el comportamiento reológico evoluciona hacia un sistema con mayor viscoelasticidad (Figuras 4a-b). A  $t/t_f$  cercanos a 1, los valores de  $G'$  y  $G''$  siguieron el orden **C** > **B** > **A** > **CL**. Los altos valores de  $G'$  y  $G''$  de la emulsión **C** pueden atribuirse a la agregación de gotas coalescidas parcialmente en un medio con un mayor contenido de sólidos de leche de soja. Las emulsiones **A** y **B** se prepararon con la misma cantidad y tipo de LSR; sin embargo, la muestra **B** alcanzó valores más elevados de viscoelasticidad que **A**, debido al mayor CGS de la primera.

Todas las muestras que aumentaron su consistencia evidenciaron valores de  $\tan \delta$  ( $G''/G'$ ) que tienden a ser mayores a 1 (Figura 4c), lo cual significa que la agitación confiere a las cremas un comporta-

miento con predominio viscoso sobre el elástico ( $G'' > G'$ ). A la frecuencia aplicada (1 Hz) y tendiendo a  $t_f$ , las curvas de  $\tan \delta$  están claramente en el orden **C** > **B** > **CL**. Al parecer, una LSR más concentrada produce un comportamiento más viscoso (**C** > **A**), mientras que con mayor contenido de GL, aunque aún con predominio viscoso, tiende a ser más elástico (**B** < **A**). Esto último podría atribuirse a que la presencia de GL favorece la formación de estructuras que otorgan características de sólido al sistema.

Como ensayo complementario, sobre las emulsiones líquidas iniciales (sin agitación) se estudiaron los cambios en la viscosidad aparente en el tiempo a velocidad de cizalla constante, para relacionarlos con la formación de agregados por coalescencia parcial y/o la floculación. Las emulsiones **A**, **B** y **C** aumentaron su viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ ), comportándose como un fluido reopéctico (Figura 5). En cambio, **D** y **CL** no aumentaron su viscosidad aparente en el lapso de tiempo estudiado, en las condiciones del ensayo. La  $\eta_{ap}$  de **CL** fue mayor a la de **D**, atribuyéndose probablemente al mayor contenido de fase lipídica en la primera. Para producir un aumento de  $\eta_{ap}$  en **CL** se necesitaron velocidades mayores a 64 r.p.m. en el mismo tiempo de ensayo (datos no mostrados). La necesidad de aumentar la velocidad del rotor para producir un efecto similar al de las emulsiones **A**, **B** y **C**, sería una consecuencia directa del menor valor de  $d_{43}$  en **CL** (Tabla I).

Por otra parte, la emulsión **C** mostró el mayor aumento de  $\eta_{ap}$  a tiempos mayores a 100 s (Figura 5),

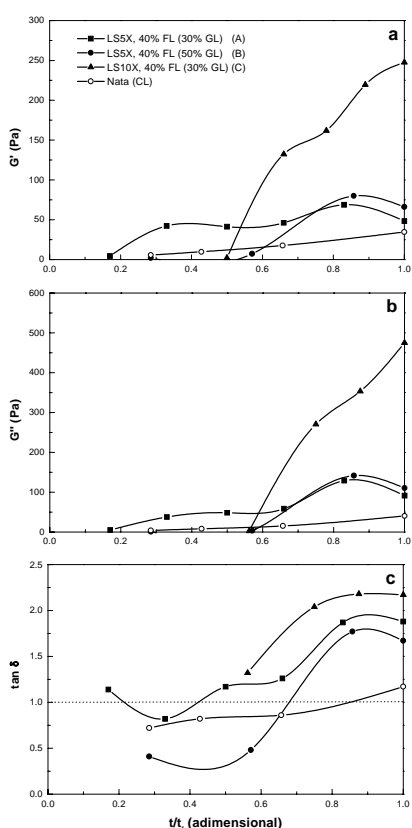


Figura 4

Variación de  $G'$  (módulo elástico) (a),  $G''$  (módulo viscoso) (b) y  $\tan \delta$  ( $G''/G'$ ) (c) con  $t/t_f$  (tiempo de agitación/tiempo de agitación final). Frecuencia: 1 Hz. Temperatura: 15°C. El comienzo de las curvas coincide con el punto donde empieza a haber un aumento significativo de la consistencia.

resultado que concuerda con lo observado en las Figuras 4a-b, pero a tiempos menores a 50 s esta muestra dio valores bajos de  $\eta_{ap}$ . Dado que **C** fue formulada con una LSR cuyo contenido de sólidos es el doble que el de las otras emulsiones, se retarda la formación de agregados ( $t_f \approx 16$  min., Figura 2a) debido a que debe vencerse una mayor resistencia para lograr la coalescencia parcial. Aunque **D** también fue preparada con LS10X, el no aumento de su viscosidad se atribuyó a la baja proporción de fase lipídica (20%). Por consiguiente, el contenido de sólidos de leche de soja es un factor más importante que el efecto de la GL sólo cuando las emulsiones tienen porcentajes similares de fase lipídica.

La  $\eta_{ap}$  de **A** fue mayor a la de **B** en el lapso de tiempo estudiado (Figura 5), a pesar de su menor contenido de GL, observándose la misma tendencia que para  $G'$  y  $G''$  a valores  $t/t_f < 0,7$  (Figuras 4a-b). Sin embargo, a tiempos mayores de 150 s, la  $\eta_{ap}$  de la emulsión **A** llegó a un valor máximo, mientras que la de **B** presentó un incremento sostenido hasta equiparar la  $\eta_{ap}$  de **A**. Esto sugiere que en **A** se formaría una cantidad máxima de agregados en las

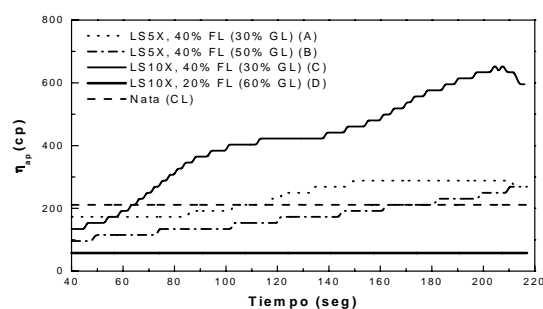


Figura 5

Variación de la viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ ) con el tiempo a velocidad de cizalla constante ( $86,5 \text{ s}^{-1}$ , alcanzada en 30 s desde  $0 \text{ s}^{-1}$ ). Temperatura: 15°C. Muestras inicialmente líquidas (sin tratamiento de agitación)

condiciones del ensayo. En la emulsión **B**, el mayor contenido de GL produciría cambios más abruptos en la consistencia, explicando la tendencia creciente en  $\eta_{ap}$  (sin llegar a un valor máximo como en **A**) y un aumento marcado de  $G'$  y  $G''$  cuando el tiempo de agitación es cercano a  $t_f$ .

#### 4. CONCLUSIONES

Aplicando una agitación controlada se observó un aumento progresivo en la consistencia de las cremas, fenómeno atribuido a la formación de flóculos y agregados con coalescencia parcial. Al emplear una leche de soja más concentrada, se alcanzó un mayor valor de los parámetros reológicos finales a igual cantidad de fase lipídica, a pesar de requerirse un mayor tiempo de agitación. Por otra parte, un mayor contenido de grasa láctea produjo un menor tiempo final de agitación por verse favorecida la coalescencia parcial. Finalmente, bajas cantidades de fase lipídica no permitieron el aumento de la consistencia, mientras que con diámetros de gota más pequeños se necesitó un tiempo de agitación relativamente alto. De acuerdo a estos resultados, es posible obtener cremas líquidas formuladas con leche de soja de alta estabilidad frente al almacenamiento refrigerado y capaces de aumentar su consistencia en diferente grado después de ser sometidas a un proceso de agitación o batido controlado.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte financiero de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT, PICT N° 98 09-04296) y la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. También se agradece a Refinerías de Maíz S.A.I.C.F. (Unilever Bestfoods Argentina, Planta Hellmann's, Pilar, Argentina) por la disponibilidad del analizador de partículas y a las Dras. María Lidia Herrera y Silvana Martini, por la utilización del dispositivo de agitación

magnética y el apoyo técnico brindado en el uso del equipo RMN de pulsos. El Lic. Gonzalo G. Palazolo es becario de estudio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC); el Ing. Andrés L. Márquez es becario de posgrado y el Dr. Jorge R. Wagner es Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Anton, M., Beaumal, V., Brossard, C., Llamas, G. y De Lenmat, M. (2002). Droplet flocculation and physical stability of oil-in-water emulsions prepared with hen egg yolk, en *Food Emulsions and Dispersions*, p 15-28. M. Anton (Ed.), Research Signpost, Kerala, India.
- Boode, K.; and Walstra, P. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions 1. Nature of aggregation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **81**, 121-137.
- Boode, K.; Walstra, P.; and de Groot-Mostert, A.E.A. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions 2. Influence of the properties of the fat. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **81**, 139-151.
- Código Alimentario Argentino (2002), capítulo VIII: Alimentos lácteos. De la canal y asociados (Ed.). Buenos Aires.
- Goff, H.D. (1997). Instability and partial coalescence in whippable dairy emulsions. *Journal of Dairy Science*, **80**, 2620-2630.
- Goff, H.D. y Jordan, W.K. (1989). Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, **72**, 18-29.
- Gribnau, M.C.M. (1992). Determination of solid/liquid ratios of fats and oils by low resolution pulsed NMR. *Trends in Food Science and Technology*, **3**, 186-190.
- Márquez, A. L., Palazolo, G.G. y Wagner, J.R. (2005) Emulsiones tipo crema preparadas con leche de soja 1: Estudio de estabilidad y determinación de las formulaciones. *Grasas y Aceites*, **56**, (1), 59-65.
- Mutoh, T.A, Nakagawa, S., Noda, M., Shiinoki, Y. y Matsamura, Y. (2001). Relationship between characteristics of oil droplets and solidification of thermally treated creams. *Journal of American Oil of Chemists' Society*, **78**, 177-183
- Segall, K.I. y Goff, H.D (2002). Secondary adsorption of milk proteins form the continuous phase to the oil-water interface in dairy emulsions. *International Dairy Journal*, **12**, 889-897.
- Vanapalli, S.A. y Coupland, J.N. (2001). Emulsions under shear. The formation and properties of partially coalesced lipid structures. *Food Hydrocolloids*, **15**, 507-512.

Recibido: Noviembre 2003  
Aceptado: Noviembre 2004