



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



# INFLUENCIA DE LOS SUSTITUTOS DE GRASA EN LA TEXTURA Y EN LA PERCEPCIÓN DEL SABOR DE PRODUCTOS LÁCTEOS.

**MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS**

Alumna: Carla Arancibia Aguilar

Directora: Dra. Sara Bayarri Torres

Tutora: Dra. Elvira Costell Ibáñez

Centro: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC)

# INFLUENCIA DE LOS SUSTITUTOS DE GRASA EN LA TEXTURA Y EN LA PERCEPCIÓN DEL SABOR DE PRODUCTOS LÁCTEOS.

Carla Arancibia\*<sup>1</sup> y Sara Bayarri<sup>1</sup>

## RESUMEN

La eliminación o reducción del contenido en grasa de un alimento modifica su composición y estructura dando lugar a cambios perceptibles en su color, sabor y textura, lo que suele disminuir su aceptación por los consumidores. En este contexto, el objetivo principal de este trabajo fue comparar el efecto de dos sustitutos de grasa -el  $\lambda$ -carragenato y una mezcla de inulinas de distinto grado de polimerización- en el color, en la textura y en la percepción del sabor de productos lácteos. Tanto los productos elaborados con leche desnatada como los fabricados con leche entera mostraron un flujo pseudoplástico y tixotrópico. La composición de las muestras tuvo un efecto claro en el comportamiento viscoelástico de éstas, que varió desde un comportamiento fluido hasta el de un gel débil. La adición de  $\lambda$ -carragenato o de la mezcla de inulinas a los sistemas bajos en grasa compensó, en parte, el efecto de la disminución de la grasa en las características físicas y sensoriales de las muestras analizadas. Para las mayores concentraciones de CMC (0,9 y 1,1% p/p), las muestras bajas en grasa con 0,01% p/p de  $\lambda$ -carragenato o con 11% p/p de la mezcla de inulinas mostraron un comportamiento reológico parecido al de las muestras elaboradas con leche entera. Sensorialmente, las muestras con  $\lambda$ -carragenato se percibieron con una textura más similar a la de las muestras con leche entera que la de las muestras con inulina. Para ambos sustitutos de grasa, las muestras elaboradas con leche desnatada se percibieron con menor sabor lácteo y con un color amarillo-anaranjado más intenso.

**PALABRAS CLAVE:** sustitutos de grasa, productos lácteos, carboximetilcelulosa,  $\lambda$ -carragenato, inulina, reología, color, análisis sensorial.

---

<sup>1</sup> Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC. Apartado de Correos 73, 46100 Burjassot, Valencia, España. Teléfono 963900022. E-mail: carancibia@iata.csic.es

## RESUM

L'eliminació o reducció del contingut en greix d'un aliment modifica la seua composició i estructura donant lloc a canvis perceptibles en el seu color, sabor i textura, la qual cosa sol disminuir la seua acceptació pels consumidors. En este context, l'objectiu principal d'este treball va ser comparar l'efecte de dos substituents de greix – el  $\lambda$ -carragenato i una mescla d'inulines de distint grau de polimerització- en el color, en la textura i en la percepció del sabor de productes lactis. Tant els productes elaborats amb llet desnatada com els fabricats amb llet sencera van mostrar un flux pseudoplàstic i tixotròpic. La composició de les mostres va tindre un efecte clar en el comportament viscoelàstic d'estes, que va variar des d'un comportament fluid fins al d'un gel dèbil. L'addició de  $\lambda$ -carragenato o de la mescla d'inulines als sistemes baixos en greix va compensar en part, l'efecte de la disminució del greix en les característiques físiques i sensorials de les mostres analitzades. Per a les majors concentracions de CMC (0,9 y 1,1% p/p), les mostres baixes en greix amb 0,01% p/p de  $\lambda$ -carragenato o amb 11% p/p de la mescla d'inulines van mostrar un comportament reològic paregut al de les mostres elaborades amb llet sencera. Sensorialment, les mostres amb  $\lambda$ -carragenato es van percebre amb una textura més semblant a la de les mostres amb llet sencera que la de les mostres amb inulina. Per a ambdós substituents de greix, les mostres elaborades amb llet desnatada es van percebre amb menor sabor lacti i amb un color groc-ataronjat més intens.

## ABSTRACT

Decreasing the fat content has been shown to modify the physical properties of foods, including mouthfeel, appearance and structure; and have been reported to influence the perception of colour, flavour and texture giving rise to decreased acceptability by consumers. In this context, the objective of this work was to compare the effect of both fat substitutes - $\lambda$ -carrageenan and an inulin mixture- on colour, texture and flavour perception of dairy desserts. All samples showed a shear-thinning and thixotropic behaviour. Sample composition clearly affected the viscoelastic behaviour of samples, which ranged from fluid-like to weak gel. Physical and sensory changes caused by fat reduction were compensated by both  $\lambda$ -carrageenan and inulin addition to low-fat samples. At the higher CMC concentrations (0.9 y 1.1% w/w), low-fat samples with 0.01% w/w  $\lambda$ -carrageenan and low-fat samples with 11% w/w inulin were the samples showing rheological behaviour most similar to that of the whole-milk sample. Considering sensory results,  $\lambda$ -carrageenan samples were perceived with more similar texture properties to full-fat dairy desserts than inulin samples. For both fat substitutes, low-fat samples were perceived as having lower milk flavour intensity and stronger yellow-orange colour than their full-fat counterparts.

## INTRODUCCIÓN

La carboximetilcelulosa (CMC) empieza a utilizarse como sustituto del almidón en productos lácteos semisólidos (Jellema et al., 2005) por sus ventajas tecnológicas (solubilidad en agua fría, escaso olor y sabor) y nutricionales (inerte fisiológicamente y acalórica) (Keller, 1986).

La eliminación o disminución del contenido en grasa de un alimento da lugar a cambios en su composición y estructura, que se manifiestan en modificaciones perceptibles en su color, sabor y textura (Guinard et al., 1997). Para compensar este efecto se suelen utilizar distintos tipos de sustitutos de grasa, cuya elección depende de la composición y de las características de cada alimento (Sandrou y Arvanitoyannis, 2000). Entre los diferentes sustitutos de grasa, los hidratos de carbono (almidón, celulosa, pectina, inulina, goma xantana o carragenato) son de creciente interés ya que, además de sus propiedades físico-químicas, también tienen características saludables por ser fibras dietéticas e incluso, por su carácter prebiótico (Warrand, 2006).

En general, los hidrocoloides más utilizados en productos lácteos son el  $\iota$  y el  $\kappa$ -carragenato debido a su capacidad para formar geles. Sin embargo, aunque el  $\lambda$ -carragenato no forma geles en soluciones acuosas, si es capaz de formarlos en presencia de leche debido a su interacción con las micelas de caseína (Langendorff et al., 2000 y Shchipunov y Chesnokov, 2003). Actualmente, no hay información disponible acerca de la influencia del  $\lambda$ -carragenato como sustituto de grasa en postres lácteos con CMC.

La inulina es un polisacárido lineal formado por un número variable de moléculas de fructosa, unidas por enlaces  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 1) que suelen incluir en su extremo terminal una molécula de glucosa. Además de sus efectos beneficiosos para la salud por su condición de fibra dietética y su carácter prebiótico (Flamm et al., 2001), la inulina tiene unas propiedades tecnológicas interesantes como edulcorante de contenido calórico reducido, como sustituto de grasa o por su capacidad para modificar la textura (Tungland y Meyer, 2002). Estas propiedades están relacionadas con el grado de polimerización de sus cadenas. La inulina de cadena larga imparte cremosidad y consistencia pero, también, reduce la suavidad y aumenta la sensación de aspereza (González-Tomás et al., 2009). Este último efecto probablemente se debe a la formación de pequeños cristales o agregados de inulina. La reducción de su concentración puede disminuir la formación de cristales, pero su capacidad como sustituto de grasa podría verse afectada. Una posibilidad para evitar este efecto es utilizar una mezcla de inulinas de cadena corta y de cadena larga. La mezcla de inulinas de cadena larga y de cadena corta en la proporción 50:50 ofrece, además, algunas ventajas nutricionales (Abrams et al., 2005). El efecto prebiótico de la inulina parece que se incrementa al administrarla junto con la CMC (Júskiewicz y Zdunczyk, 2004).

Tradicionalmente, el análisis de los atributos que configuran la calidad sensorial de los alimentos se ha realizado con técnicas descriptivas convencionales como los perfiles de sabor y de textura, el análisis descriptivo cuantitativo o el método Spectrum (Meilgaard et al., 1999). Todas

ellas implican el uso de términos específicos y propios de paneles de catadores entrenados, y la información proporcionada no siempre refleja la percepción de las muestras por los consumidores. Una posible solución a este problema es el uso de la técnica conocida como Perfil de Libre Elección (PLE), en la que cada juez desarrolla su propia lista de términos para describir las muestras (Oreskovich *et al.*, 1991). Una de las mayores ventajas de este método es que permite obtener información directamente de los consumidores acerca de su percepción cognitiva (Russell y Cox, 2003). Para solventar los problemas que usualmente se les presentan a los consumidores a la hora de desarrollar descriptores, que sean adecuados y suficientes para describir las diferencias perceptibles entre las muestras que se evalúan, se utiliza la técnica de la descripción entrecruzada (*Repertory Grid Method*) (Gains y Thomson, 1990).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del  $\lambda$ -carragenato y de una mezcla (50:50) de inulinas de cadena corta y cadena larga en el color y en el comportamiento reológico de postres lácteos con CMC bajos en grasa. Posteriormente, se seleccionaron las muestras bajas en grasa con características físicas parecidas a las de los productos elaborados con leche entera y se evaluaron sus características sensoriales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Composición y preparación de las muestras**

Se utilizaron los siguientes ingredientes: carboximetilcelulosa (CMC) (Akucell AF3265 Akzo Nobel, Amersfoort, Holanda), azúcar blanco comercial, leche entera y leche desnatada en polvo (Central Lechera Asturiana, Siero, España), aroma de vainilla (375 48A Lucta S.A., Barcelona, España), colorante amarillo-naranja (Vegex NC 2c WS mct, CHR Hansen S.A. Barcelona, España), agua mineral comercial (Font Vella, Barcelona, España),  $\lambda$ -carragenato (Satiagum™ ADC 25, Barcelona, España) y una mezcla de inulinas de cadena larga (Frutafit® TEX ) y de cadena corta (Frutafit® CLR) (Sensus, Brenntag Química, Barcelona, España) en una proporción 1:1.

La composición de los sistemas modelos de natillas se muestra en la Tabla 1. A todas las muestras se adicionaron cantidades fijas de azúcar (6% p/p), de aroma de vainilla (0,016% p/p), de colorante (0,052% p/p) y de leche reconstituida (80% p/p). De cada formulación se prepararon un mínimo de dos fabricaciones.

Tanto la leche entera como la desnatada se prepararon previamente disolviendo 13,5% p/p de leche en polvo en agua mineral y aplicando un tratamiento térmico a 85°C durante 10 minutos con agitación magnética a 250 rpm. La leche entera reconstituida tuvo un contenido final de materia grasa del 3,5% p/p y la leche desnatada, del 0,14% p/p. Ambos tipos de leche se almacenaron en refrigeración (4±1°C) durante 24 horas para asegurar la completa hidratación de las proteínas de la leche.

**TABLA 1.** Composición de las muestras estudiadas.

% CMC (p/p)	Tipo de leche	Tipo de sustituto de grasa	% sustituto de grasa (p/p)	Código muestra
0,7	Entera	-	-	1
	Desnatada	-	-	2
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,01	3
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,03	4
	Desnatada	inulina	7	5
	Desnatada	inulina	9	6
	Desnatada	inulina	11	7
0,9	Entera	-	-	8
	Desnatada	-	-	9
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,01	10
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,03	11
	Desnatada	inulina	7	12
	Desnatada	inulina	9	13
	Desnatada	inulina	11	14
1,1	Entera	-	-	15
	Desnatada	-	-	16
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,01	17
	Desnatada	$\lambda$ -carragenato	0,03	18
	Desnatada	inulina	7	19
	Desnatada	inulina	9	20
	Desnatada	inulina	11	21

Las muestras control se prepararon mezclando el azúcar y la CMC y, añadiendo la mezcla lentamente al medio de dispersión compuesto por la leche reconstituida, el agua y el colorante. Las muestras se agitaron durante 35 minutos con un agitador mecánico (Heidolph RZR 1, Holanda). Cinco minutos antes de finalizar la agitación se adicionó el aroma de vainilla. Por último, las muestras se envasaron en recipientes cerrados y se almacenaron en refrigeración ( $4\pm 1^\circ\text{C}$ , 24 h). En las muestras con  $\lambda$ -carragenato, éste se añadió a la mezcla inicial de azúcar y CMC y en las muestras con inulina, ésta se dispersó directamente en la leche reconstituida.

### Medida instrumental de color

El color se midió con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-3500d (Konica Minolta Business Technologies, Inc., Japón). Las muestras se colocaron en celdas de 6 cm de diámetro y 3,8 cm de altura. Para medir la luz reflejada se empleó un diafragma de 8 mm de apertura y una capa de muestra de 3,5 cm de espesor. Se calcularon los valores de los parámetros CIELAB para un ángulo de visión de  $10^\circ$ , usando el iluminante D65:  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (componente rojo),  $b^*$  (componente amarillo),  $C^*$  (cromaticidad) y  $h^*$  (tono) (Calvo y Durán, 1997). Se prepararon dos fabricaciones de cada muestra y se realizaron las medidas de color por duplicado en cada fabricación.

## Medida del comportamiento reológico

Las medidas reológicas se realizaron con un reómetro de esfuerzo controlado RS1 (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania) utilizando la geometría de platos paralelos de 6 cm de diámetro y un espacio de 1 mm entre platos. El registro de los datos se efectuó con el software Rheowin Job (versión 3.61, Haake). Todas las medidas se hicieron a  $10 \pm 1^\circ\text{C}$ . Antes de cada medida, las muestras se dejaron reposar durante 10 minutos en el reómetro para que recuperaran la estructura y alcanzaran la temperatura del ensayo. Cada muestra se midió por lo menos dos veces, utilizando una muestra nueva en cada medida.

### COMPORTAMIENTO DE FLUJO

Para caracterizar el flujo de las muestras, se registraron los valores del esfuerzo de cizalla durante un ciclo completo de cizalla, primero a gradientes de velocidad de deformación crecientes ( $1$  a  $200 \text{ s}^{-1}$ ) y después, decrecientes ( $200$  a  $1 \text{ s}^{-1}$ ) en un tiempo total de 120 segundos. Los datos de la curva ascendente se ajustaron al modelo de Ostwald-de Waele (Ecuación 1).

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

donde:  $\sigma$  = esfuerzo de cizalla (Pa);  $\dot{\gamma}$  = gradiente de velocidades ( $\text{s}^{-1}$ );  $K$  = índice de consistencia ( $\text{Pa s}^n$ ) y  $n$  = índice de flujo (Rao, 2007).

Para evaluar el grado de tixotropía de las diferentes muestras, se calculó el área relativa tixotrópica ( $A_r$ ) (Ecuación 2) (Dolz et al., 2000).

$$A_r = \frac{A_{\text{subida}} - A_{\text{bajada}}}{A_{\text{subida}}} \times 100 \quad (2)$$

donde:  $A_{\text{subida}}$  = área bajo la curva de subida y  $A_{\text{bajada}}$  = área bajo la curva de bajada.

Además de la caracterización del flujo de las muestras, se determinaron los valores de algunos índices reológicos propuestos por diversos autores como posibles estímulos responsables de la consistencia percibida sensorialmente en este tipo de productos: la viscosidad aparente a  $10 \text{ s}^{-1}$  ( $\eta_{10}$ ) (Ecuación 3) (Shama y Sherman, 1973) y el valor del esfuerzo de cizalla oral ( $\tau_{\text{oral}}$ ) (Kokini et al., en 1977) (Ecuación 4).

$$\eta_{10} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

donde:  $K$  = índice de consistencia y  $n$  = índice de flujo.

$$\tau_{oral} = KV^n \left[ \frac{1}{h_0^{(n+1)/n}} + \left( \frac{F}{R^{n+3}} \times \frac{n+3}{2\pi K} \right)^{1/n} \times \frac{(n+1)t}{2n+1} \right]^{n^2/(n+1)} \quad (4)$$

donde: K = índice de consistencia y n = índice de flujo, obtenidos con la Ecuación 1. Los valores del resto de las variables son los determinados por Kokini *et al.* (1977): V = 2 cm s<sup>-1</sup>; F = 1 N; t = 1 s; R = 2,5 cm; h<sub>0</sub> = 0,2 cm.

## COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO

El espectro mecánico de las muestras se realizó a esfuerzo constante, dentro de la zona de viscoelasticidad lineal determinada previamente, y para un intervalo de frecuencias que osciló entre 0,01 y 10 Hz. Los valores de los parámetros reológicos, módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdidas (G''), viscosidad compleja (η\*) y tangente de pérdidas (tan δ), se calcularon a 1Hz. También, se determinó el valor de la viscosidad compleja a 8 Hz (η\*<sub>8 Hz</sub>) como posible índice instrumental de la consistencia percibida en boca (Tárrega y Costell, 2007).

## Evaluación Sensorial

Se seleccionó un grupo de 26 personas del Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos, consumidores habituales de productos lácteos y sin experiencia previa en análisis sensorial. El estudio se realizó en dos etapas: desarrollo del vocabulario con el método de la descripción entrecruzada y evaluación de las diferencias perceptibles entre las muestras con la técnica del perfil de libre elección.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio del comportamiento reológico se seleccionaron nueve formulaciones: las tres muestras control elaboradas con leche entera y distinta concentración de CMC (Tabla 1, muestras 1, 8 y 15) y las seis muestras con leche desnatada que, para cada concentración de CMC, mostraron un comportamiento reológico más parecido al de las citadas muestras control (Tabla 1, muestras 3, 7, 10, 14, 17 y 21).

Cada consumidor generó, en una sola sesión, su propia lista de descriptores con la técnica de la descripción entrecruzada (*Repertory Grid Method*) (Thomson y McEwan, 1988). Con los descriptores generados se diseñaron las hojas de cata individualizadas. A continuación, los consumidores analizaron las diferencias perceptibles entre las muestras con el método del Perfil de Libre Elección (Oreskovich *et al.*, 1991) en una sala de catas normalizada (UNE 87004:1979). Cada consumidor evaluó las nueve muestras por duplicado, analizando tres muestras por sesión y utilizando escalas de intensidad estructuradas de nueve puntos con sus extremos marcados con “no se percibe” e “intenso”. Las muestras (30 mL) se sirvieron en vasos codificados con tres dígitos elegidos al azar, a 10±1°C. El orden de servicio de cada sesión se estableció con un diseño equilibrado para tres muestras.

## Análisis estadístico

La influencia de la composición de las muestras en los valores de los parámetros reológicos y de color se determinó con un análisis de la varianza de un factor (composición) para cada concentración de CMC. Las diferencias mínimas significativas entre muestras se determinaron con el test de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). Para estudiar la variabilidad global del comportamiento reológico de las muestras se aplicó un Análisis de Componentes Principales con rotación tipo Varimax. Todos estos análisis se realizaron con el programa XLSTAT-Pro software versión 2007.2 (Addinsoft, Paris, France).

Para analizar los datos sensoriales se utilizó el Análisis de Procrustes Generalizado (GPA), con el programa Senstools v. 3.3.2 (OP&P & Talcott, Utrecht, Holanda). Las diferencias entre las muestras se estableció con el análisis de la varianza Procrustes (PANOVA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### El $\lambda$ -carragenato como sustituto de grasa en postres lácteos. Influencia de la composición en el color y en el comportamiento reológico.

#### MEDIDA INSTRUMENTAL DE COLOR

En la Tabla 2, se presentan los valores medios de los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC.

**TABLA 2.** Valores medios (N=2) de los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC y de  $\lambda$ -carragenato.

CMC (%p/p)	Tipo de leche	$\lambda$ -carragenato (%p/p)	L*	a*	b*	C*	h*
0,7	Desnatada	0	59,96 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	21,74 <sup>a</sup>	21,76 <sup>a</sup>	88,18 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,01	60,48 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	26,31 <sup>b</sup>	26,36 <sup>b</sup>	86,61 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,03	60,67 <sup>a</sup>	1,87 <sup>a</sup>	27,50 <sup>b</sup>	27,57 <sup>b</sup>	86,11 <sup>b</sup>
	Entera	0	70,55 <sup>b</sup>	5,41 <sup>b</sup>	30,26 <sup>b</sup>	30,75 <sup>b</sup>	79,86 <sup>a</sup>
0,9	Desnatada	0	55,44 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	21,98 <sup>a</sup>	22,02 <sup>a</sup>	86,84 <sup>c</sup>
	Desnatada	0,01	60,70 <sup>b</sup>	2,53 <sup>b</sup>	27,92 <sup>b</sup>	28,04 <sup>b</sup>	84,83 <sup>bc</sup>
	Desnatada	0,03	63,36 <sup>b</sup>	3,22 <sup>b</sup>	30,34 <sup>b</sup>	30,51 <sup>bc</sup>	83,96 <sup>b</sup>
	Entera	0	70,86 <sup>c</sup>	5,57 <sup>c</sup>	31,11 <sup>b</sup>	31,60 <sup>c</sup>	79,85 <sup>a</sup>
1,1	Desnatada	0	59,06 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	27,49 <sup>a</sup>	27,65 <sup>a</sup>	83,77 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,01	63,21 <sup>b</sup>	3,79 <sup>a</sup>	32,02 <sup>a</sup>	32,25 <sup>a</sup>	83,09 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,03	65,44 <sup>b</sup>	4,14 <sup>a</sup>	32,96 <sup>a</sup>	33,22 <sup>a</sup>	82,86 <sup>b</sup>
	Entera	0	69,95 <sup>c</sup>	6,67 <sup>b</sup>	35,99 <sup>a</sup>	36,60 <sup>a</sup>	79,59 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los valores de todos los parámetros estudiados. En general, se observó que la muestra elaborada con leche entera presentó valores significativamente mayores de todos los

parámetros, salvo en el caso del tono, para el que fueron significativamente menores. La adición de  $\lambda$ -carragenato a las muestras disminuyó las diferencias entre los valores de los parámetros instrumentales respecto a las muestras con distinto contenido en grasa aunque dichas diferencias continuaron siendo significativas excepto para los valores de  $b^*$  y  $C^*$ .

## MEDIDA DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

En la Figura 1 se presentan, para cada concentración de CMC, las curvas de flujo de las muestras control (fabricadas con leche entera y desnatada sin  $\lambda$ -carragenato) y de las bajas en grasa elaboradas con 0,01% y 0,03% de  $\lambda$ -carragenato. Todas las muestras exhibieron áreas de histéresis al ser cizalladas durante un ciclo completo. Para cada concentración de CMC, el comportamiento tixotrópico aumentó al incrementar la concentración de  $\lambda$ -carragenato. Las curvas experimentales de subida se ajustaron bien al modelo de Ostwald-de Waele ( $0,956 < R^2 < 0,999$ ) (Tabla 3). El índice de flujo ( $n$ ) osciló entre 0,22 y 0,75, indicando un comportamiento no newtoniano y pseudoplástico. Para cada concentración de CMC, el análisis de la varianza mostró un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la composición sobre todos los parámetros estudiados. Los sistemas bajos en grasa presentaron un aumento significativo del índice de consistencia, del esfuerzo de cizalla oral, de la viscosidad aparente a  $10 \text{ s}^{-1}$  y del área relativa tixotrópica con la concentración de  $\lambda$ -carragenato, mientras que el índice de flujo disminuyó. En general, no hubo diferencias significativas entre las muestras bajas en grasa que contenían un 0,01% de  $\lambda$ -carragenato y las elaboradas con leche entera, en la mayoría de los parámetros.

**TABLA 3.** Comportamiento de flujo de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC y  $\lambda$ -carragenato. Valores medios (N=2) del índice de consistencia (K), del índice de flujo ( $n$ ), del esfuerzo de cizalla oral ( $\tau_{\text{oral}}$ ), de la viscosidad aparente a  $10 \text{ s}^{-1}$  ( $\eta_{10}$ ) y del área tixotrópica relativa ( $A_r$ ).

CMC (%p/p)	Tipo de leche	$\lambda$ -carragenato (%p/p)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	$\tau_{\text{oral}}$ (Pa)	$\eta_{10}$ (Pa s)	$A_r$ (%)
0,7	Desnatada	0	0,22 <sup>a</sup>	0,75 <sup>c</sup>	6,05 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	3,64 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,01	0,38 <sup>ab</sup>	0,71 <sup>c</sup>	7,50 <sup>a</sup>	0,19 <sup>ab</sup>	6,09 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,03	4,72 <sup>c</sup>	0,40 <sup>b</sup>	18,84 <sup>c</sup>	1,12 <sup>c</sup>	22,36 <sup>b</sup>
	Entera	0	0,82 <sup>b</sup>	0,66 <sup>b</sup>	10,60 <sup>b</sup>	0,37 <sup>b</sup>	6,47 <sup>a</sup>
0,9	Desnatada	0	0,99 <sup>a</sup>	0,64 <sup>c</sup>	11,39 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	3,62 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,01	4,30 <sup>b</sup>	0,49 <sup>b</sup>	21,14 <sup>b</sup>	1,31 <sup>b</sup>	11,10 <sup>ab</sup>
	Desnatada	0,03	14,90 <sup>c</sup>	0,32 <sup>a</sup>	36,30 <sup>d</sup>	3,08 <sup>d</sup>	19,54 <sup>b</sup>
	Entera	0	5,41 <sup>b</sup>	0,48 <sup>b</sup>	24,83 <sup>c</sup>	1,65 <sup>c</sup>	8,19 <sup>a</sup>
1,1	Desnatada	0	3,82 <sup>a</sup>	0,54 <sup>c</sup>	22,22 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	3,78 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,01	12,28 <sup>b</sup>	0,39 <sup>b</sup>	36,50 <sup>b</sup>	2,99 <sup>b</sup>	11,64 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,03	40,90 <sup>c</sup>	0,22 <sup>a</sup>	67,85 <sup>c</sup>	6,76 <sup>c</sup>	21,16 <sup>c</sup>
	Entera	0	11,16 <sup>b</sup>	0,42 <sup>b</sup>	36,18 <sup>b</sup>	2,90 <sup>b</sup>	11,02 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha \leq 0,05$ ).

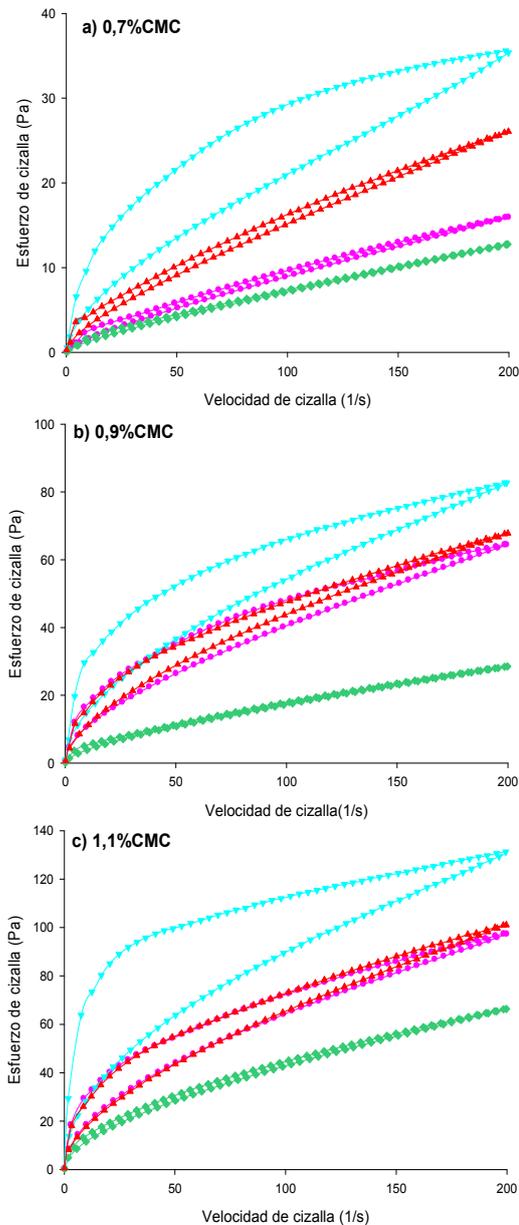
El espectro mecánico mostró un efecto importante de la composición sobre el comportamiento viscoelástico de las muestras, que varió desde un comportamiento fluido hasta el de un gel débil (Figura 2). Los módulos dinámicos ( $G'$  y  $G''$ ) fueron dependientes de la frecuencia en la mayoría de los sistemas estudiados. Los sistemas elaborados con 0,7% de CMC y bajas concentraciones de  $\lambda$ -carragenato (0 y 0,01%) presentaron un comportamiento fluido con valores de  $G''$  mayores a los de  $G'$  en todo el intervalo de frecuencias estudiado. La muestra control elaborada con leche entera y un 0,7% de CMC y la muestra fabricada con leche desnatada y un 0,9% de CMC presentaron un espectro mecánico característico de una solución polimérica concentrada con valores de  $G'$  similares a los de  $G''$ . El resto de muestras presentó un espectro mecánico típico de gel débil observándose que la respuesta elástica ( $G'$ ) predominó sobre la viscosa ( $G''$ ) y una menor dependencia de estos módulos con la frecuencia.

El ANOVA mostró que la composición afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) a los parámetros viscoelásticos (Tabla 4). La incorporación de  $\lambda$ -carragenato a las muestras bajas en grasa aumentó los valores de  $G'$ ,  $G''$ ,  $\eta^*$  y de  $\eta^*_{8\text{Hz}}$ , y disminuyó los de la  $\tan \delta$ . La concentración de  $\lambda$ -carragenato necesaria en los sistemas bajos en grasa para igualar el comportamiento de las muestras fabricadas con leche entera dependió de la concentración de CMC. Para la concentración de 0,7% de CMC, el sistema bajo en grasa que más se asemejó al control elaborado con leche entera, fue el que contenía 0,03% de  $\lambda$ -carragenato. Para la máxima concentración de CMC (1,1%), fue suficiente la adición de 0,01% de  $\lambda$ -carragenato. Para la concentración de CMC intermedia (0,9%), el efecto se consiguió tanto para una concentración de  $\lambda$ -carragenato del 0,01% como del 0,03%.

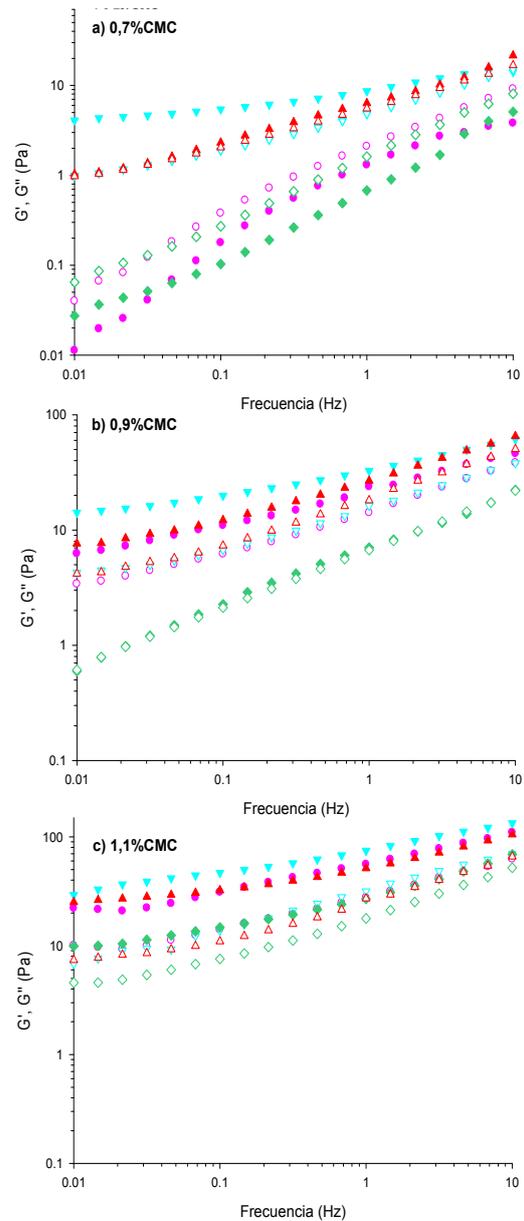
**TABLA 4.** Valores medios (N=2) del módulo de almacenamiento ( $G'$ ), del módulo de pérdida ( $G''$ ), de la tangente de pérdidas ( $\tan \delta$ ) y de la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) a 1 Hz y valores medios de la viscosidad compleja a 8 Hz ( $\eta^*_{8\text{Hz}}$ ) de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC y  $\lambda$ -carragenato.

CMC (%p/p)	Tipo de leche	$\lambda$ -carragenato (%p/p)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$\tan \delta$	$\eta^*$ (Pa s)	$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)
0,7	Desnatada	0	0,67 <sup>a</sup>	1,53 <sup>a</sup>	2,30 <sup>c</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,01	1,34 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>	1,60 <sup>b</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,03	9,00 <sup>c</sup>	5,45 <sup>b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	1,68 <sup>c</sup>	0,44 <sup>b</sup>
0,9	Entera	0	6,02 <sup>b</sup>	5,60 <sup>b</sup>	0,94 <sup>a</sup>	1,31 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>
	Desnatada	0	6,90 <sup>a</sup>	6,66 <sup>a</sup>	0,97 <sup>b</sup>	1,53 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
	Desnatada	0,01	24,36 <sup>b</sup>	14,16 <sup>ab</sup>	0,59 <sup>a</sup>	4,50 <sup>b</sup>	1,07 <sup>ab</sup>
1,1	Desnatada	0,03	32,15 <sup>b</sup>	16,33 <sup>b</sup>	0,51 <sup>a</sup>	5,74 <sup>b</sup>	1,41 <sup>b</sup>
	Desnatada	0	24,88 <sup>b</sup>	16,91 <sup>b</sup>	0,68 <sup>ab</sup>	4,79 <sup>b</sup>	1,34 <sup>b</sup>
	Entera	0	26,56 <sup>a</sup>	17,61 <sup>a</sup>	0,66 <sup>c</sup>	5,07 <sup>a</sup>	1,51 <sup>a</sup>
1,1	Desnatada	0,01	56,16 <sup>b</sup>	28,64 <sup>b</sup>	0,51 <sup>b</sup>	10,03 <sup>b</sup>	2,44 <sup>b</sup>
	Desnatada	0,03	76,43 <sup>c</sup>	31,53 <sup>b</sup>	0,41 <sup>a</sup>	13,16 <sup>c</sup>	2,94 <sup>c</sup>
	Entera	0	56,45 <sup>b</sup>	27,98 <sup>b</sup>	0,50 <sup>b</sup>	10,03 <sup>b</sup>	2,51 <sup>bc</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha \leq 0,05$ ).



**FIGURA 1.** Curvas de flujo de las muestras bajas en grasa y con diferentes concentraciones de  $\lambda$ -carragenato ( $\blacklozenge = 0\%$ ;  $\bullet = 0,01\%$  y  $\blacktriangledown = 0,03\%$ ) y de las muestras elaboradas con leche entera ( $\blacktriangle$ ), fabricadas con 0,7% (a); 0,9% (b) y 1,1% de CMC (c).



**FIGURA 2.** Espectro mecánico de las muestras bajas en grasa y con diferentes concentraciones de  $\lambda$ -carragenato ( $\blacklozenge = 0\%$ ;  $\bullet = 0,01\%$  y  $\blacktriangledown = 0,03\%$ ) y de las muestras elaboradas con leche entera ( $\blacktriangle$ ), fabricadas con 0,7% (a); 0,9% (b) y 1,1% de CMC (c). Valores de  $G'$  (símbolos rellenos) y  $G''$  (símbolos vacíos).

## Mezcla de inulinas de distinta longitud de cadena como sustituto de grasa en postres lácteos. Influencia de la composición en el color y en el comportamiento reológico.

### MEDIDA INSTRUMENTAL DE COLOR

Se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras en los valores de todos los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con 0,7%, 0,9% y 1,1% de CMC (Tabla 5). La adición de una mezcla de inulinas a las muestras bajas en grasa aumentó los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ , y disminuyó los de  $h^*$ . Aunque sólo la muestra fabricada con leche desnatada, 1,1% de CMC y 11% de inulina no presentó diferencias significativas con respecto a la muestra elaborada con leche entera para ninguno de los parámetros de color estudiados.

**TABLA 5.** Valores medios (N=2) de los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC e inulina.

CMC (%p/p)	Tipo de leche	Inulina (%p/p)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^*$
0,7	Desnatada	0	59,96 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	21,74 <sup>a</sup>	21,76 <sup>a</sup>	88,18 <sup>b</sup>
	Desnatada	7	60,36 <sup>a</sup>	1,51 <sup>a</sup>	26,08 <sup>b</sup>	26,12 <sup>b</sup>	86,70 <sup>b</sup>
	Desnatada	9	61,12 <sup>a</sup>	1,79 <sup>a</sup>	26,84 <sup>bc</sup>	26,90 <sup>bc</sup>	86,20 <sup>b</sup>
	Desnatada	11	62,64 <sup>a</sup>	2,43 <sup>a</sup>	28,08 <sup>bc</sup>	28,18 <sup>bc</sup>	85,07 <sup>b</sup>
	Entera	0	70,55 <sup>b</sup>	5,41 <sup>b</sup>	30,26 <sup>c</sup>	30,75 <sup>c</sup>	79,86 <sup>a</sup>
0,9	Desnatada	0	55,44 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	21,98 <sup>a</sup>	22,02 <sup>a</sup>	86,84 <sup>c</sup>
	Desnatada	7	57,36 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	25,49 <sup>b</sup>	25,55 <sup>b</sup>	86,14 <sup>c</sup>
	Desnatada	9	57,40 <sup>a</sup>	1,81 <sup>a</sup>	25,68 <sup>b</sup>	25,75 <sup>b</sup>	85,97 <sup>c</sup>
	Desnatada	11	62,57 <sup>b</sup>	4,04 <sup>b</sup>	30,96 <sup>c</sup>	31,23 <sup>c</sup>	82,58 <sup>b</sup>
	Entera	0	70,86 <sup>c</sup>	5,57 <sup>c</sup>	31,11 <sup>c</sup>	31,60 <sup>c</sup>	79,85 <sup>a</sup>
1,1	Desnatada	0	59,06 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	27,49 <sup>a</sup>	27,65 <sup>a</sup>	83,77 <sup>b</sup>
	Desnatada	7	60,93 <sup>a</sup>	3,96 <sup>ab</sup>	31,52 <sup>a</sup>	31,77 <sup>a</sup>	82,87 <sup>b</sup>
	Desnatada	9	61,35 <sup>a</sup>	4,10 <sup>ab</sup>	31,81 <sup>a</sup>	32,07 <sup>a</sup>	82,69 <sup>b</sup>
	Desnatada	11	64,82 <sup>ab</sup>	5,25 <sup>ab</sup>	34,59 <sup>a</sup>	34,99 <sup>a</sup>	81,37 <sup>ab</sup>
	Entera	0	69,95 <sup>b</sup>	6,67 <sup>b</sup>	35,99 <sup>a</sup>	36,60 <sup>a</sup>	79,59 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha < 0,05$ ).

### MEDIDA DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

Todas las muestras presentaron un comportamiento de flujo no newtoniano y dependiente del tiempo, al igual que las muestras estudiadas en el apartado anterior, exhibiendo curvas de histéresis al ser cizalladas durante un ciclo completo (Figura 3). También en este caso, las curvas experimentales de subida se ajustaron bien al modelo de Ostwald-de Waele ( $0,998 < R^2 < 0,999$ ) (Tabla 6). El índice de flujo de los sistemas modelos de natillas osciló entre 0,42 y 0,76, indicando un comportamiento pseudoplástico. Para todas las concentraciones de CMC, las muestras elaboradas con leche entera presentaron valores mayores de  $K$ ,  $\tau_{oral}$ ,  $\eta_{10}$  y  $A_r$  y menores de  $n$ , que las muestras fabricadas con leche desnatada.

Para cada concentración de CMC, la adición de la mezcla de inulinas a los sistemas bajos en grasa aumentó ligeramente los valores del índice de

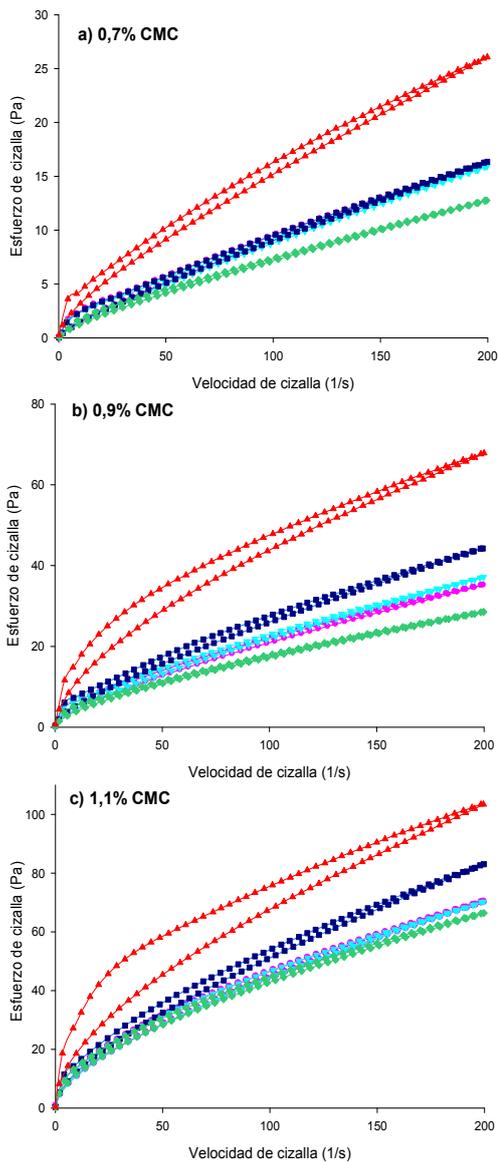
consistencia, del área relativa tixotrópica, de la viscosidad aparente a  $10 \text{ s}^{-1}$  y del esfuerzo de cizalla oral, mientras que los valores del índice de flujo permanecieron prácticamente constantes. Ninguna de las concentraciones de inulina utilizadas en este estudio fue capaz de igualar el comportamiento de flujo de las muestras elaboradas con leche entera.

**TABLA 6.** Comportamiento de flujo de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC e inulina. Valores medios (N=2) del índice de consistencia (K), del índice de flujo (n), del esfuerzo de cizalla oral ( $\tau_{\text{oral}}$ ), de la viscosidad aparente a  $10 \text{ s}^{-1}$  ( $\eta_{10}$ ) y del área tixotrópica relativa ( $A_r$ ).

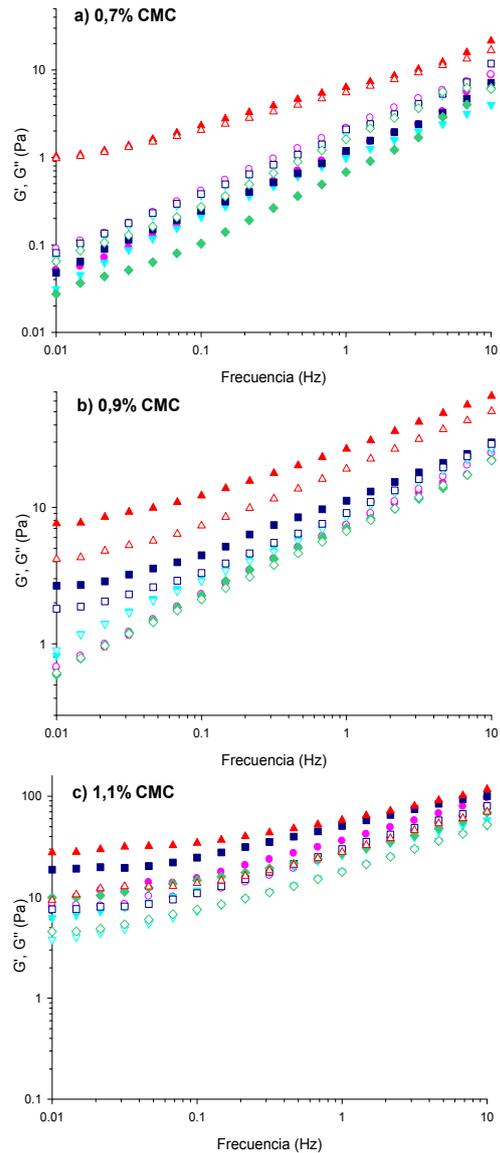
CMC (%p/p)	Tipo de leche	Inulina (%p/p)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	$\tau_{\text{oral}}$ (Pa)	$\eta_{10}$ (Pa s)	$A_r$ (%)
0,7	Desnatada	0	0,22 <sup>a</sup>	0,75 <sup>b</sup>	6,05 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	3,64 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	0,31 <sup>a</sup>	0,74 <sup>b</sup>	7,24 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	5,50 <sup>b</sup>
	Desnatada	9	0,28 <sup>a</sup>	0,76 <sup>b</sup>	6,98 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	5,34 <sup>ab</sup>
	Desnatada	11	0,28 <sup>a</sup>	0,76 <sup>b</sup>	7,08 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	5,43 <sup>ab</sup>
	Entera	0	0,82 <sup>b</sup>	0,66 <sup>a</sup>	10,60 <sup>b</sup>	0,37 <sup>b</sup>	6,47 <sup>b</sup>
0,9	Desnatada	0	0,99 <sup>a</sup>	0,64 <sup>b</sup>	11,39 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	3,62 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	1,15 <sup>ab</sup>	0,65 <sup>b</sup>	12,74 <sup>b</sup>	0,59 <sup>ab</sup>	5,15 <sup>b</sup>
	Desnatada	9	1,19 <sup>ab</sup>	0,66 <sup>b</sup>	13,28 <sup>b</sup>	0,54 <sup>b</sup>	5,09 <sup>b</sup>
	Desnatada	11	1,44 <sup>b</sup>	0,65 <sup>b</sup>	14,87 <sup>c</sup>	0,65 <sup>c</sup>	4,69 <sup>b</sup>
	Entera	0	5,41 <sup>c</sup>	0,48 <sup>a</sup>	24,83 <sup>d</sup>	1,65 <sup>d</sup>	8,19 <sup>c</sup>
1,1	Desnatada	0	3,82 <sup>a</sup>	0,54 <sup>b</sup>	22,22 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	3,78 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	4,12 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>	23,99 <sup>ab</sup>	1,48 <sup>a</sup>	4,49 <sup>a</sup>
	Desnatada	9	4,12 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>	24,08 <sup>ab</sup>	1,49 <sup>a</sup>	4,25 <sup>a</sup>
	Desnatada	11	5,27 <sup>a</sup>	0,55 <sup>b</sup>	28,04 <sup>b</sup>	1,87 <sup>a</sup>	5,26 <sup>a</sup>
	Entera	0	11,16 <sup>b</sup>	0,42 <sup>a</sup>	36,18 <sup>c</sup>	2,90 <sup>b</sup>	11,02 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Los módulos dinámicos ( $G'$  y  $G''$ ) fueron dependientes de la frecuencia en la mayoría de los sistemas estudiados, especialmente a bajas concentraciones de CMC (Figura 4). Al comparar los espectros mecánicos se observó que al aumentar la concentración de CMC la diferencia en el comportamiento viscoelástico, entre las muestras bajas en grasa y las elaboradas con leche entera, fue menor. Para los sistemas fabricados con 0,7% de CMC, la muestra control elaborada con leche entera presentó valores de  $G'$  similares a los de  $G''$ , indicando un comportamiento de solución polimérica concentrada, mientras que las muestras bajas en grasa presentaron un comportamiento fluido con valores de  $G''$  mayores a los de  $G'$ . El comportamiento de las muestras fabricadas con un 0,9% de CMC, varió desde el característico de una solución polimérica concentrada al de un gel débil. Cuando la concentración de CMC fue del 1,1%, la componente elástica prevaleció sobre la componente viscosa en todas las muestras, indicando una estructura de gel débil.



**FIGURA 3.** Curvas de flujo de las muestras bajas en grasa y con diferentes concentraciones de una mezcla de inulinas ( $\blacklozenge = 0\%$ ;  $\bullet = 7\%$ ,  $\blacktriangledown = 9\%$  y  $\blacksquare = 11\%$ ) y de las muestras elaboradas con leche entera ( $\blacktriangle$ ), fabricadas con 0,7% (a); 0,9% (b) y 1,1% de CMC (c).



**FIGURA 4.** Espectro mecánico de las muestras bajas en grasa y con diferentes concentraciones de una mezcla de inulinas ( $\blacklozenge = 0\%$ ;  $\bullet = 7\%$ ,  $\blacktriangledown = 9\%$  y  $\blacksquare = 11\%$ ) y de las muestras elaboradas con leche entera ( $\blacktriangle$ ), fabricadas con 0,7% (a); 0,9% (b) y 1,1% de CMC (c). Valores de  $G'$  (símbolos rellenos) y  $G''$  (símbolos vacíos).

Los resultados del ANOVA mostraron un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la composición en los parámetros viscoelásticos (Tabla 7). Las muestras control elaboradas con leche entera presentaron valores significativamente mayores de  $G'$ ,  $G''$ ,  $\eta^*$  y  $\eta^*_{8\text{Hz}}$  y significativamente menores de  $\tan \delta$ , que las muestras fabricadas con leche desnatada. La adición de la mezcla de inulinas incrementó los valores de  $G'$ ,  $G''$ ,  $\eta^*$  y  $\eta^*_{8\text{Hz}}$  y disminuyó los de  $\tan \delta$ ; sin embargo, este efecto fue significativo ( $\alpha \leq 0,05$ ) sólo en algunos parámetros. Para las muestras fabricadas con bajas concentraciones de CMC (0,7 y 0,9%), ninguna de las concentraciones de mezclas de inulinas utilizadas fue capaz de igualar el comportamiento viscoelástico de las muestras elaboradas con leche entera. Sin embargo, la muestra baja en grasa que contenía un 1,1% de CMC y un 11% de inulina presentó un comportamiento semejante al de la muestra control elaborada con leche entera.

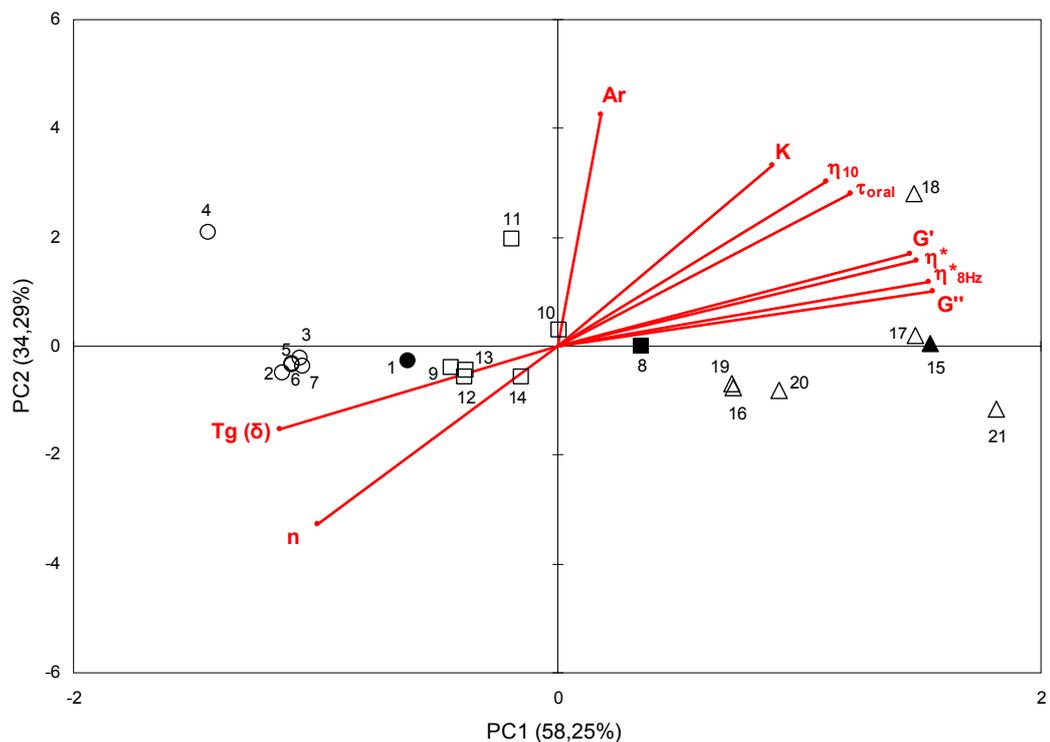
**TABLA 7.** Valores medios (N=2) del módulo de almacenamiento ( $G'$ ), del módulo de pérdida ( $G''$ ), de la tangente de pérdidas ( $\tan \delta$ ) y de la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) a 1 Hz y valores medios de la viscosidad compleja a 8 Hz ( $\eta^*_{8\text{Hz}}$ ) de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC y  $\lambda$ -carragenato.

CMC (%p/p)	Tipo de leche	Inulina (%p/p)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$\tan \delta$	$\eta^*$ (Pa s)	$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)
0,7	Desnatada	0	0,67 <sup>a</sup>	1,53 <sup>a</sup>	2,30 <sup>c</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	1,11 <sup>a</sup>	2,10 <sup>b</sup>	1,90 <sup>bc</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>
	Desnatada	9	0,98 <sup>a</sup>	1,86 <sup>ab</sup>	1,89 <sup>bc</sup>	0,33 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>
	Desnatada	11	1,18 <sup>a</sup>	2,09 <sup>b</sup>	1,78 <sup>b</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>
	Entera	0	6,02 <sup>b</sup>	5,60 <sup>c</sup>	0,94 <sup>a</sup>	1,31 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>
0,9	Desnatada	0	6,90 <sup>a</sup>	6,66 <sup>a</sup>	0,97 <sup>b</sup>	1,53 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	7,19 <sup>a</sup>	7,14 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>	1,61 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>
	Desnatada	9	7,93 <sup>a</sup>	7,75 <sup>a</sup>	0,98 <sup>b</sup>	1,76 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>
	Desnatada	11	11,25 <sup>a</sup>	9,68 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	2,36 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>
	Entera	0	24,88 <sup>b</sup>	16,91 <sup>b</sup>	0,68 <sup>a</sup>	4,79 <sup>b</sup>	1,34 <sup>b</sup>
1,1	Desnatada	0	26,56 <sup>a</sup>	17,61 <sup>a</sup>	0,66 <sup>c</sup>	5,07 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>
	Desnatada	7	30,89 <sup>a</sup>	20,42 <sup>a</sup>	0,67 <sup>c</sup>	5,90 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>
	Desnatada	9	26,69 <sup>a</sup>	18,18 <sup>a</sup>	0,68 <sup>c</sup>	5,14 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>
	Desnatada	11	51,78 <sup>b</sup>	28,81 <sup>b</sup>	0,56 <sup>b</sup>	9,43 <sup>b</sup>	2,43 <sup>b</sup>
	Entera	0	56,45 <sup>c</sup>	27,98 <sup>b</sup>	0,50 <sup>a</sup>	10,03 <sup>b</sup>	2,51 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Para cada concentración de CMC y parámetro, los valores seguidos de superíndices con alguna letra común no difieren significativamente ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Finalmente, se consideró interesante estudiar la relación entre la composición de las muestras y la variabilidad de los parámetros reológicos obtenidos en los distintos ensayos (flujo y oscilatorio) mediante un análisis de componentes principales (PCA). En la Figura 5, se representa la distribución de los parámetros y de las muestras para los dos primeros componentes principales, que explicaron el 92,54% de la variabilidad de las muestras. El primer componente explicó un 58,25% variabilidad y estableció una clara separación entre los grupos de muestras con distinta concentración de CMC. El primer grupo, que se sitúa en la parte positiva del eje, está formado por las muestras que contenían un 1,1% de CMC. Estas

muestras se caracterizan fundamentalmente por presentar valores altos en la mayoría de los parámetros reológicos ( $K$ ,  $\eta_{10}$ ,  $\tau_{\text{oral}}$ ,  $G'$ ,  $G''$ ,  $\eta^*$  y  $\eta^*_{8\text{Hz}}$ ). En la parte central se ubica un segundo grupo, que corresponde a las muestras con la concentración intermedia de CMC (0,9%). El tercer grupo, en la parte negativa del eje, está formado por los sistemas que contenían un 0,7% de CMC, los cuales se caracterizan fundamentalmente por presentar valores altos de la  $\tan \delta$  y del índice de flujo. El segundo componente, que explicó un menor porcentaje de la variabilidad (34,29%), mostró una buena correlación con el área tixotrópica relativa. Este componente separó las muestras desnatadas fabricadas con un 0,03% de  $\lambda$ -carragenato, que fueron las de mayor tixotropía. La distribución de las muestras en el mapa mostró que, para las natillas fabricadas con mayores concentraciones de CMC (0,9% y 1,1%), las muestras bajas en grasa que tenían un 0,01% de  $\lambda$ -carragenato o un 11% de mezcla de inulinas fueron las que presentaron un comportamiento reológico más parecido al de las correspondientes muestras control elaboradas con leche entera. En las muestras fabricadas con 0,7% de CMC, la muestra control con leche entera aparece claramente separadas de todas las desnatadas.



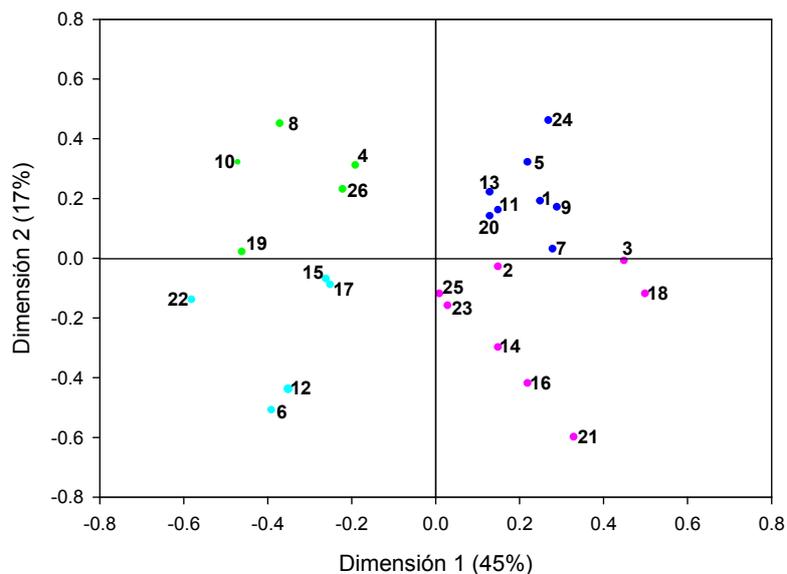
**FIGURA 5.** Mapa de distribución de las diferentes muestras y de los vectores representativos de los parámetros reológicos obtenidos en el PCA. Concentración de CMC: ○ = 0,7% CMC; □ = 0,9% CMC y △ = 1,1% CMC. Muestra control elaborada con leche entera (símbolo relleno) y con leche desnatada (símbolo vacío). Identificación de las muestras en la Tabla 1.

## El $\lambda$ -carragenato y una mezcla de inulinas como sustitutos de grasa en postres lácteos. Influencia en las características sensoriales.

Los consumidores generaron un total de 334 términos descriptores, de los cuales, 93 estaban relacionados con el sabor y el olor, 123 con el aspecto y 118 con la textura. El número de descriptores generados por consumidor osciló entre 6 y 20.

Al aplicar el GPA a las 26 matrices de datos individuales se obtuvo que la varianza total explicada por las 8 primeras dimensiones fue del 71%. Las dimensiones 1 y 2 explicaron el 45% y el 17%, respectivamente. El resto de las dimensiones explicaron una pequeña proporción de la varianza (<10%) por lo que se eligió la solución con dos dimensiones, que explicaba el 62% de la varianza total.

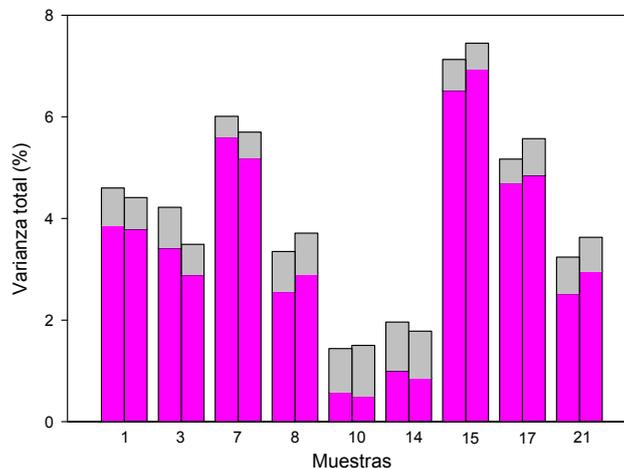
El mapa de consumidores (Figura 6) mostró que los participantes estaban aleatoriamente distribuidos en el mismo, lo que indicaba que todos ellos percibían las muestras de una forma similar. Ello se confirmó al observar que las diferencias entre las varianzas residuales correspondientes a cada consumidor, que oscilaron entre 0,24 y 0,76, eran suficientemente pequeñas.



**FIGURA 6.** Mapa de consumidores obtenido con el Análisis de Procrustes Generalizado.

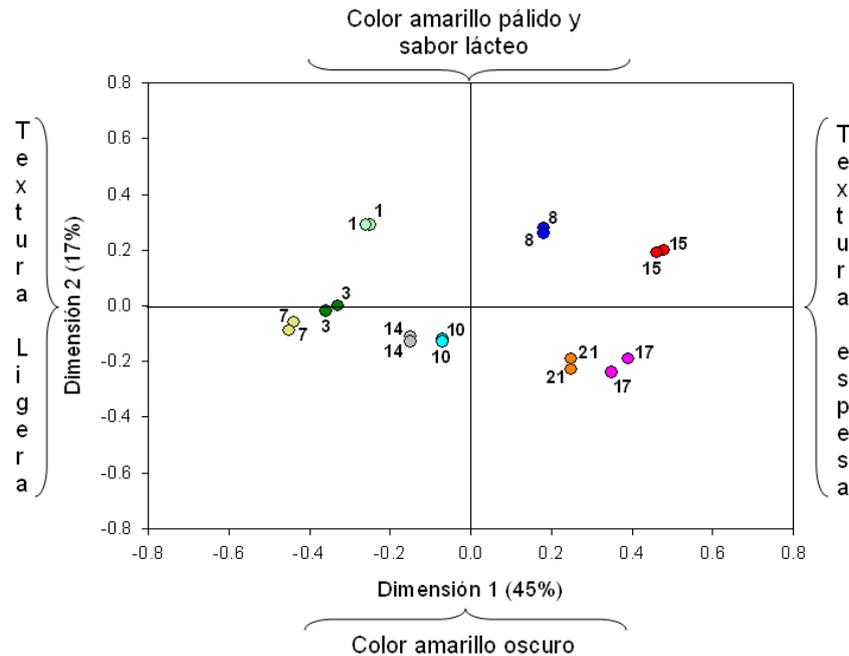
Al analizar la distribución de la varianza total entre las muestras analizadas (Figura 7) se observó que la distribución de la varianza de consenso y de la varianza residual fue similar para las dos repeticiones de cada una de las muestras. Gran parte de la varianza total se debió a las muestras 7, 15 y 17 que aparecieron más separadas en el mapa de consenso de las muestras (Figura 8), mientras que la menor varianza correspondió a las muestras 10 y 14, que ocuparon una posición próxima al centro en el citado mapa. La similitud en las varianzas residuales asociadas a cada muestra indicó la coincidencia de opinión de los consumidores

respecto a las características sensoriales de las muestras evaluadas. Las opiniones más concordantes respecto a las muestras 7 y 15 se reflejaron en una varianza residual menor, mientras que las mayores varianzas residuales de las muestras 10 y 14 indicaron un menor grado de concordancia en la opinión de los consumidores sobre sus características sensoriales.



**FIGURA 7.** Distribución de la varianza de consenso (■) y la varianza residual (■) entre las nueve muestras de postres lácteos espesados con CMC. Identificación de las muestras en la Tabla 1.

Finalmente, en la Figura 8 se han representado conjuntamente los espacios medios de las muestras obtenido al aplicar el GPA a los datos obtenidos en cada repetición detallando los descriptores más relacionados con cada dimensión (correlaciones mayores de 0,80). Las dos repeticiones de cada una de las muestras se situaron muy próximas entre ellas en el mapa. La dimensión 1, que explicó el 45% de la varianza total, separó las muestras por consistencia visual y textura en boca (de líquida a espesa). En la parte negativa del eje se encuentran situadas las muestras 1, 3, 7, 10 y 14, que se caracterizaron por su textura líquida. En la parte positiva, las muestras 8, 15, 17 y 21 fueron percibidas de textura más consistente. La dimensión 2, que explicó el 17% de la varianza total, se relacionó fundamentalmente con los atributos de color y sabor. Esta dimensión separó las muestras 1, 8 y 15 (parte positiva del eje) que fueron percibidas con sabor a leche entera y con un color amarillo claro, lo que coincide con los mayores valores de luminosidad observados en la medida instrumental del color. El resto de las muestras (situadas en la parte negativa del eje) se caracterizaron por tener un color amarillo-anaranjado.



**FIGURA 8.** Espacios medios de las muestras obtenidos al aplicar el GPA a los datos sensoriales generados mediante el Perfil de Libre Elección con dos repeticiones. Identificación de las muestras en Tabla 1.

## CONCLUSIONES

La adición de  $\lambda$ -carragenato o de una mezcla de inulinas (1:1) a los sistemas bajos en grasa compensó en parte, el efecto de la disminución de la grasa en las características físicas y sensoriales de las muestras analizadas. La adición de  $\lambda$ -carragenato y, en menor medida, de la mezcla de inulinas aumentó la consistencia y la viscoelasticidad de los sistemas. En general, para las mayores concentraciones de CMC (0,9 y 1,1%) las muestras bajas en grasa que tenían un 0,01% de  $\lambda$ -carragenato o un 11% de la mezcla de inulinas fueron las que presentaron un comportamiento reológico más parecido al de las correspondientes muestras control elaboradas con leche entera. Sensorialmente, las muestras con  $\lambda$ -carragenato se percibieron con una textura más similar a la de las muestras con leche entera que la de las muestras con inulina. Para ambos sustitutos de grasa, las muestras elaboradas con leche desnatada se percibieron con menor sabor lácteo y con un color amarillo-anaranjado más intenso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Programa Alβan, Programa de Becas de Alto Nivel de la Unión Europea para América Latina, beca n° E07M401685CL, por la beca concedida a la autora C. Arancibia. Así mismo, agradecen al MICINN (España) por la subvención al proyecto AGL2007-63444.

## REFERENCIAS:

- Abrams, S.A.; Griffin, I.J.; Hawthorne, K.M.; Liang, L.; Jun, S.K.; Darlington, G.; Ellis, K.J. 2005. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 82, 471-476.
- Calvo, C.; Duran, L. 1997. Propiedades físicas II. Ópticas y Reológicas. En: Aguilera, J.M. (ed). *Temas en tecnología de alimentos (Volumen 1)*. México, 261-288.
- Dolz, M.; González, F.; Delegido, J.; Hernández, M.J.; Pellicer, J. 2000. A time-dependent expression for thixotropic areas. Application to aerosil 100 hydrogels. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 89, 790-797.
- Flamm, G.; Glinsmann, W.; Kritchevsky, D.; Prosky, L.; Roberfroid, M. 2001. Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41, 353-362.
- Gains, N.; Thomson, D. M. H. 1990. Contextual evaluation of canned lagers using repertory grid method. *International Journal of Food Science and Technology*. 25, 699-705.
- González-Tomás, L.; Bayarri, S.; Costell, E. 2009. Inulin-Enriched Dairy Desserts: Physicochemical and Sensory Aspects. *Journal of Dairy Science*, 92, 4188-4199.
- Guinard, J.X.; Zoumas-Morse, C.; Mori, B.; Uatoni, B.; Panyam, D., Kilara, A. 1997. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. *Journal of Food Science*, 62, 1087-1094.
- Jellema, R.H.; Janssen, A.M.; Terpstra, M.E.J.; de Wijk, R.A.; Smilde, A.K. 2005. Relating the sensory sensation 'creamy mouthfeel' in custards to rheological measurements. *Journal of Chemometrics*, 19 (3), 191-200.
- Juskiewicz, J.; Zdunczyk, Z. 2004. Effect of cellulose, carboxymethylcellulose and inulin fed to rats as single supplements or in combinations on their caecal parameters. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 139, 513-519.
- Keller, J.D. 1986. Sodium carboxymethylcellulose. En: Glicksman, M (ed). *Food hydrocolloids*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 43-109.
- Kokini, J.L.; Kadane, J.B.; Cussler, E.L. 1977. Liquid texture perceived in the mouth. *Journal of Texture Studies*, 8, 195-218.
- Langendorff, V.; Cuvelier, G.; Michon, C.; Launay, B.; Parker, A.; De Kruif, C. G. 2000. Effects of carrageenan type on the behaviour of carrageenan/milk mixtures. *Food Hydrocolloids*, 14, 273-280.
- Meilgaard, M.; Civille, G. V.; Carr, B. T. 1999. Sensory evaluation Techniques. CRC Press, Boca Raton, 387p.
- Oreskovich, D.C.; Klein, B.P.; Sutherland, J.W. 1991. Procrustes analysis and its application to free choice and other sensory profiling. En: Lawless, H.T., Klein, B.P. (eds.). *Sensory Science Theory and Application in Foods*. Marcel Dekker, New York, 353-394.
- Rao, M.A. 2007. Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. En: Barbosa-Cánovas, G.V. (ed.), *Rheology of fluid and semisolid foods*, Springer, New York, 27-58.
- Russell, C.G.; Cox, D.N. 2003. A computerised adaptation of the repertory grid methodology as a useful tool to elicit older consumers' perceptions of foods. *Food Quality and Preference*. 14, 681-691.
- Sandrou, D.K.; Arvanitoyannis, I.S. 2000. Low fat/calorie foods: Current state and perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 427-447.
- Shama, F.; & Sherman, P. 1973. Identification of stimuli controlling the sensory evaluation of viscosity II. Oral methods. *Journal of Texture Studies*, 4, 111-118.
- Shchipunov, Y.A.; Chesnokov, A. 2003. Carrageenan gels in skim milk: Formation and rheological properties. *Colloid Journal*, 65, 105-113.
- Tárrega, A.; Costell, E. 2007. Colour and consistency of semi-solid dairy desserts: Instrumental and sensory measurements. *Journal of Food Engineering*, 78, 655-661.
- Thomson, D.; McEwan, J.A. 1988. An application of the repertory grid method to investigate consumer perceptions of foods. *Appetite*, 10, 181-193.
- Tungland, B.C.; Meyer, D. 2002. Non digestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1, 73-92.
- UNE 87004, 1979. Análisis sensorial. Guía para la instalación de una sala de cata. Madrid: AENOR. Ministerio de Industria y Energía.
- Warrand, J. 2006. Healthy polysaccharides. The next chapter in food products. *Food Technology and Biotechnology*, 44, 355-370.