



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DE POSTRES LÁCTEOS. INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN GRASA Y DEL ESPESANTE

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Alumna: Carla Castro Campos

Directora: Dra. Sara Bayarri Torres

Tutora: Dra. Elvira Costell Ibáñez

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

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DE POSTRES LÁCTEOS. INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN GRASA Y DEL ESPESANTE.

Carla Castro*¹ y Sara Bayarri¹

RESUMEN

Actualmente hay un interés creciente por una alimentación saludable lo que ha dado lugar a la aparición en el mercado de alimentos bajos en grasa. El problema es que la disminución del contenido en grasa de un alimento da lugar a cambios perceptibles en su color, sabor y textura, lo que suele disminuir su aceptación por los consumidores. La carboximetilcelulosa empieza a utilizarse como sustituto del almidón en productos lácteos semisólidos. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del tipo de espesante (almidón y carboximetilcelulosa) en el color, en el comportamiento reológico y en las características sensoriales de postres lácteos con sabor a limón y con distinto contenido en grasa. Las muestras con menor contenido en grasa presentaron la tonalidad más alta y la luminosidad más baja y sensorialmente, una mayor intensidad de color amarillo. Cuanto mayor fue el contenido en espesante y en grasa, el flujo fue más pseudoplástico, el índice de consistencia, el módulo de almacenamiento y la viscosidad compleja fueron mayores y las muestras se percibieron como más consistentes. Las muestras con almidón se percibieron como más suaves y cremosas que las de carboximetilcelulosa. El sabor dependió principalmente del contenido en grasa y del tipo de espesante. En general, los sistemas lácteos elaborados con almidón y con leche entera fueron los preferidos por su menor intensidad del sabor a limón, mayor dulzor y sabor a leche y una textura más cremosa y más suave.

PALABRAS CLAVE: carboximetilcelulosa, almidón, productos lácteos, color, reología, análisis sensorial.

¹ Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC. Apartado de correos 79, 46700 Burjassot, Valencia, España. Teléfono 963900022. E-mail: carla.cast.camp@gmail.com

RESUM

Actualment hi ha un interès creixent per una alimentació saludable, el que ha donat lloc a l'aparició en el mercat d'aliments baixos en greix. El problema és que la reducció del contingut en greix d'un aliment dona lloc a canvis perceptibles en el seu color, sabor i textura, la qual cosa sol disminuir la seua acceptació pels consumidors. La carboximetilcelulosa es comença a utilitzar com a substitut del almidó en productes lactis semisòlids. En este context, l'objectiu d'este treball va ser comparar l'efecte del tipus d'espesant (almidó i carboximetilcelulosa) en el color, en el comportament reològic i en les característiques sensorials de productes lactis amb sabor a llima i amb diferent contingut en greix. Les mostres amb menor contingut en greix van presentar la tonalitat més alta i la lluminositat més baixa i sensorialment, una major intensitat de color groc. Quan més gran va ser el contingut en espesant i en greix, el flux va ser més pseudoplàstic, l'índex de consistència, el mòdul d'emmagatzemament i la viscositat complexa van ser més grans i les mostres es van percebre com més consistents. Les mostres amb almidó es van percebre com més suaus i cremoses que les de carboximetilcelulosa. El sabor va dependre principalment del contingut en greix i del tipus d'espesant. En general, els sistemes lactis elaborats amb almidó i amb llet sencera van ser els preferits per la seua menor intensitat del sabor a llima, major dolçor i sabor a llet i una textura més cremosa i més suau.

ABSTRACT

Nowadays, there is a growing interest in a healthy diet which has made up an increase of low-fat foods in the market. The problem is that as much you reduce fat content of a food leads to perceptible changes in its colour, flavour and texture, giving rise to decreased acceptability by consumers. Nowadays, carboxymethylcellulose is being used as an alternative thickener to starch in semisolid dairy products. In this context, the objective of this work was to compare the effect of the type of thickener (starch and carboxymethylcellulose) on colour, rheological behaviour and sensory characteristics of lemon dairy desserts with different fat content. Low-fat samples presented higher hue values, lower brightness, and higher intensity of yellow colour perceived. The greater the thickener and fat content, flow was more pseudoplastic, consistency index, storage modulus and the complex viscosity were higher and samples were perceived as more consistent. Samples with starch were perceived more smooth and creamy than the carboxymethylcellulose samples. Flavour mainly depended on the fat content and the thickener type. In general, starch-based systems with whole milk were preferred by their lower intensity of lemon taste, higher sweetness and milk flavour, and a creamier and smoother texture.

INTRODUCCIÓN

Los postres lácteos semisólidos son productos muy populares en España, al igual que en el resto de Europa. Su facilidad de ingestión, junto con sus características nutricionales y sensoriales, los hace especialmente adecuados para diferentes grupos de consumidores como los niños y las personas mayores. Sin embargo, pueden ser inadecuados para personas con determinados requerimientos dietéticos, al ser alimentos muy calóricos y con un alto contenido en grasa. 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).

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, olor y sabor débiles) y nutricionales (inerte fisiológicamente y acalórica) (Maier et al., 1993). No obstante, se han observado diferencias en el comportamiento reológico y en la percepción del sabor y de la textura entre postres lácteos elaborados con CMC y con almidón (De Wijk et al., 2006).

La carboximetil celulosa sódica es un polisacárido aniónico lineal de cadena larga producido por la reacción alcalina de la celulosa con el cloroacetato de sodio. Está formada por unidades de anhidro-galactosa unidas por enlaces β -(1,4). El número de grupos hidroxilos sustituidos en cada unidad de galactosa indica el grado de sustitución. Generalmente, la CMC de grado alimentario tiene un grado de sustitución que oscila entre 0.7 y 0.9 (Keller, 1986). En la industria alimentaria la CMC es muy utilizada como modificador de la textura de alimentos elaborados, para corregir o disminuir algunos defectos de los productos naturales o de aquellos que puedan surgir durante su manipulación o elaboración. Tiene además, otras aplicaciones relacionadas con la mejora de otros aspectos de la calidad sensorial como la estabilización de zumos de frutas, de emulsiones y de suspensiones lácteas (Dziesak, 1991). Al ser un polisacárido inerte fisiológicamente y acalórico se utiliza en la fabricación de productos dietéticos. También, se usa en quesos, productos cárnicos, pasteles, productos de confitería, etc. (Maier et al., 1993). Además de su aplicación en el campo de los alimentos también, se utiliza en cosmética, farmacia, suspensiones industriales y pinturas (Piculell, 1995).

La mayor parte de los datos experimentales disponibles acerca de las propiedades reológicas de la CMC se han obtenido en soluciones acuosas (Yang y Zhu, 2007). Generalmente, estas soluciones tienen un comportamiento pseudoplástico y tixotrópico. Sin embargo, hay poca

información en sistemas más complejos, como son los postres lácteos, donde la CMC podría interactuar con los carbohidratos y las proteínas de la leche (Dickinson, 1993). La adición de CMC a sistemas que contienen proteínas, puede afectar las propiedades reológicas de los sistemas (Bayarri et al., 2009).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del tipo de espesante (almidón y carboximetilcelulosa) en el color, en el comportamiento reológico y en las características sensoriales de postres lácteos con sabor a limón y con distinto contenido en grasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Composición y preparación de las muestras

Para la elaboración de los sistemas modelo de natillas se utilizaron los siguientes ingredientes: carboximetilcelulosa (CMC) (Akucell AF3265 Akzo Nobel, Holanda), almidón modificado de tapioca con un grado de entrecruzamiento medio (C*CreamTex 75720, Cerestar Ibérica, España), leche entera y desnatada en polvo (Central Lechera Asturiana, España), azúcar blanco comercial, colorante (T-PT8-WS, CHR Hansen S.A., España), agua mineral comercial (Font Vella, España) y una mezcla de dos volátiles de grado alimentario representativos del sabor a limón y de diferente hidrofobicidad: linalool (LogP=2,94) y *cis*-3-hexen-1-ol (LogP=1,61) (SAFC-Sigma Aldrich, España).

Se prepararon ocho formulaciones diferentes, variando el tipo de espesante (CMC y almidón), la concentración de espesante (baja: 1,1% CMC o 3,5% almidón; alta: 1,3% CMC o 4,0% almidón) y el tipo de leche (entera y desnatada). En todos los casos, se utilizaron cantidades fijas de azúcar (10% p/p), colorante (37,5 ppm), linalool (90 ppm), *cis*-3-hexen-1-ol (30 ppm) y de leche reconstituida entera o desnatada (80% p/p). Para determinar el contenido en humedad del almidón se utilizó un analizador de humedad LJ16 (Mettler Toledo GMBH, Suiza). El porcentaje de humedad fue del 8,65%, y de acuerdo con este dato, se ajustó la cantidad del mismo que finalmente se añadió a las muestras. De cada formulación se prepararon, como mínimo, dos fabricaciones.

Tanto la leche entera como la desnatada se prepararon 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. Antes de de la fabricación de las muestras, 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.

Las muestras con CMC se prepararon mezclando el azúcar y la CMC, y añadiendo la mezcla lentamente a la leche reconstituida con el colorante adicionado. Las muestras se agitaron durante 35 minutos con un agitador

mecánico (Heidolph RZR 1, Holanda). Cinco minutos antes de finalizar la agitación, se adicionó la mezcla de volátiles.

Las muestras con almidón se fabricaron con el siguiente procedimiento: se mezclaron los ingredientes (almidón, azúcar, leche y colorante) y la mezcla se mantuvo en agitación (Heidolph RZR 1, Holanda) en un baño de agua a $96\pm 1^\circ\text{C}$ durante 25 minutos. A continuación, se enfrió en un baño de agua a 10°C con agitación durante 10 minutos. Finalmente, se reposó la cantidad de agua evaporada durante la elaboración, se adicionó la mezcla de volátiles, y se agitó durante cinco minutos.

Por último, todas las muestras se envasaron en botes de cristal, se taparon y se almacenaron en refrigeración ($4\pm 1^\circ\text{C}$) durante 24 h.

Medida instrumental de color

La medida del color se realizó con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-3500d (Konica Minolta Business Technologies, Inc., Japón). Las muestras se colocaron en celdas de 3,8 cm de altura y 6 cm de diámetro. Para medir la luz reflejada se empleó un diafragma de 8 mm de apertura y una capa de muestra de 3,6 cm de espesor cubierta con una placa blanca estandarizada ($X=78,5$; $Y=83,32$; $Z=87,94$). Se registraron los espectros de reflexión y se calcularon los valores de los parámetros CIELAB de color para un ángulo de visión de 10° , usando el iluminante D65: L^* (luminosidad varía de 0 [negro] a 100 [blanco]), a^* (componente $+a^*$ [rojo] y $-a^*$ [verde]), b^* (componente $+b^*$ [amarillo] y $-b^*$ [azul]), C^* (cromaticidad o saturación) y h^* (tono) (Calvo y Duran, 1997).

Se prepararon tres 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 realizó mediante el software Rheowin Job (versión 3.61, Haake). Todas las medidas se realizaron a $10\pm 1^\circ\text{C}$ para que fueran comparables con los datos obtenidos del análisis sensorial, ya que es la temperatura estimada a la que se consumen las muestras. El procedimiento consistió en colocar las muestras en el sistema de medida dejándolas reposar durante 10 minutos antes del ensayo, para que recuperaran la estructura y alcanzaran la temperatura seleccionada. Cada muestra se midió por lo menos dos veces, utilizando producto nuevo en cada medida.

COMPORTAMIENTO DE FLUJO

Para obtener las curvas de flujo, se registraron los valores del esfuerzo de cizalla, primero a gradientes de velocidad de deformación creciente (1 a 200 s^{-1}) y después decrecientes (200 a 1 s^{-1}) en un tiempo total de 120

segundos. Los datos de la curva descendente se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley (Ecuación 1).

$$\sigma = \sigma_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

donde: σ (Pa) es el esfuerzo de cizalla, σ_0 (Pa) es el esfuerzo umbral, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) es el gradiente de velocidades, K ($Pa s^n$) es el índice de consistencia y n es el 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).

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

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

COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO

En primer lugar se determinó la zona de viscoelasticidad lineal realizando el barrido de esfuerzos a una frecuencia de 1 Hz. De acuerdo con los resultados obtenidos, el esfuerzo elegido para los ensayos viscoelásticos fue de 0.05 Pa. Posteriormente, se registró el espectro mecánico de las muestras para un intervalo de frecuencias que osciló entre 0,01 y 10 Hz y se calcularon los valores del módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdidas (G''), viscosidad compleja (η^*) y tangente de pérdidas ($\tan \delta$), a 1Hz. Además, se calculó el valor de la viscosidad compleja a 8Hz (η^*_{8Hz}) como posible índice instrumental de la consistencia percibida en boca (Hill et al., 1995; Richardson et al., 1989).

Evaluación Sensorial

Para analizar las diferencias perceptibles entre las muestras se utilizó la prueba de comparación por parejas (UNE-EN ISO 5495:2009), con un diseño múltiple (Meilgaard et al., 1999).

Un grupo de 28 catadores, con experiencia previa en análisis sensorial de productos lácteos, evaluó las diferencias perceptibles en los 28 pares posibles de las ocho muestras durante 14 sesiones. A cada catador se le presentaron dos pares de muestras por sesión, indicándole que señalara la muestra que presentaba una mayor intensidad en los siguientes atributos: color amarillo, dulzor, sabor a ralladura de piel de limón, sabor a leche, consistencia en boca, cremosidad, suavidad y finalmente, las diferencias en preferencia.

Las muestras (30 ml) se sirvieron a una temperatura de 10 ± 1 °C, en vasos codificados con tres dígitos elegidos al azar y tapados con papel de aluminio. Los ensayos se realizaron en una sala de catas normalizada (UNE-EN ISO 8589:2010). Los pares en cada sesión y las muestras en cada par

se presentaron según un diseño equilibrado, en todos los órdenes de servicio posibles.

Análisis estadístico

Para cada espesante, la influencia de la composición de las muestras en los valores de los parámetros de color y reológicos se determinó con un análisis de la varianza de dos factores (tipo de leche y concentración de espesante) con interacción. Las diferencias mínimas significativas entre muestras se determinaron con la prueba de Fisher ($\alpha= 0,05$). Para estudiar la variabilidad global de las muestras en color y en comportamiento reológico se aplicó un Análisis de Componentes Principales. Estos análisis se realizaron con el programa XLSTAT-Pro software versión 2007.2 (Addinsoft, Paris, Francia).

Para analizar los datos sensoriales en primer lugar se calcularon, para cada atributo, las sumas de orden para cada muestra y posteriormente, se calcularon los valores de la T de Friedman con la ecuación 3 (Meilgaard et al., 1999).

$$T_{cal} = \left(\frac{4}{p \cdot t} \right) \cdot \sum_{i=1}^t R^2 - (9 \cdot p \cdot [t-1]^2) \quad (3)$$

donde: p es el número de catadores, t es el número de muestras y R es la suma de orden obtenida para cada muestra. La significación estadística de las diferencias perceptibles para cada atributo se calculó comparando el valor obtenido para T_{cal} con el valor crítico de χ^2 para t-1 grados de libertad. Para cada atributo, las diferencias significativas entre muestras se determinaron calculando los valores de HSD de Tukey ($\alpha= 0,05$) (Meilgaard et al., (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la composición en la medida instrumental del color

En la Figura 1 se muestran los espectros de reflexión en la región visible (400-700 nm) de las ocho muestras estudiadas. En el caso de las muestras elaboradas con CMC, se observó que las fabricadas con leche entera presentaron los valores de reflexión más altos a longitudes de onda comprendidas entre 500 y 700 nm, que corresponde a los colores verde (500-560 nm), amarillo (560-590 nm) y naranja (590-620 nm) (Calvo y Duran, 1997). Las muestras elaboradas con leche desnatada presentaron valores menores de reflexión en todo el espectro. Además, el porcentaje de reflexión de estas muestras disminuyó a longitudes de onda superiores a 600 nm presentando la típica curva de los materiales amarillo-verdosos. El comportamiento de las muestras elaboradas con almidón fue similar al de las

muestras con CMC, aunque en este caso la diferencia en el porcentaje de reflexión entre las muestras con distinto contenido en grasa fue menor.

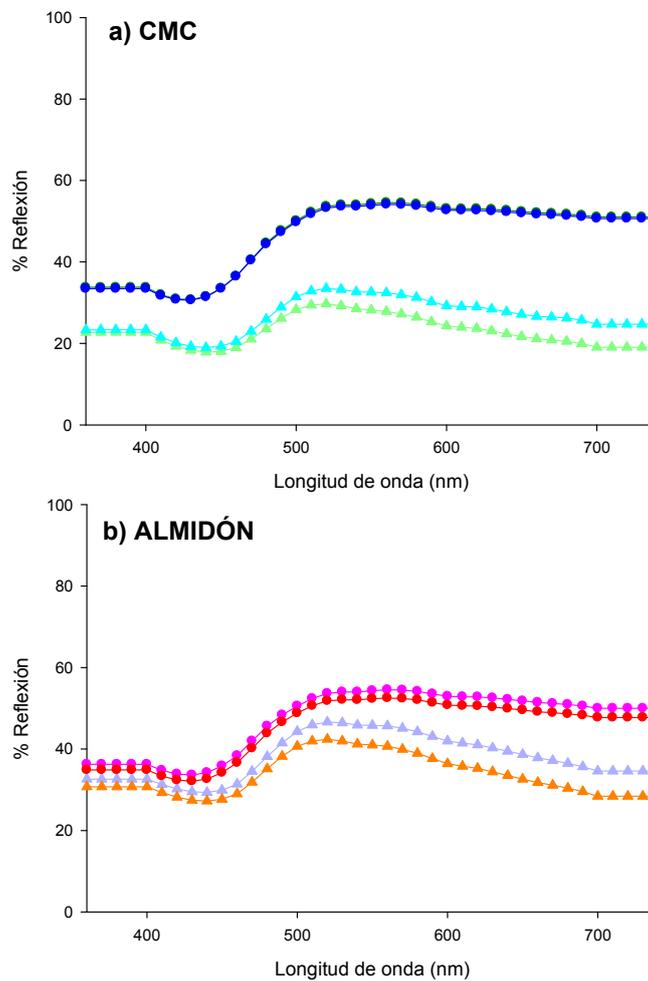


Figura 1. Espectros de reflexión de las muestras elaboradas con: a) CMC (● y ▲=1,3%, ● y ▲=1,1%); b) Almidón (● y ▲=4,0%, ● y ▲=3,5%). (círculo = Leche entera, triángulo= Leche desnatada).

El análisis de la varianza mostró que, el tipo de leche fue el factor que más influyó en el color de las muestras (mayores valores de F) (Tabla 1). Este efecto fue significativo en todos los parámetros de color, tanto para las muestras elaboradas con CMC, como para las elaboradas con almidón. La concentración de espesante, también influyó de forma significativa en todos los parámetros, excepto en el croma de las muestras elaboradas con ambos tipos de espesante y en los valores de a^* de las muestras con CMC. El efecto de la interacción entre la concentración de espesante y el tipo de leche fue significativo en la mayoría de los parámetros de color, lo que indicó que las variaciones de los valores de dichos parámetros con la concentración de espesante dependían del tipo de leche.

Tabla 1. Efecto de la concentración de espesante y del tipo de leche en los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con CMC y almidón. Valores de F y p.

Parámetros de color	Efectos principales				Interacción	
	A: Concentración de espesante		B: Tipo de leche		A × B	
	F	p	F	p	F	p
CMC						
L*	19,93	0,01	1850,70	<0,01	25,58	0,01
a*	4,58	0,10	161,50	<0,01	3,73	0,13
b*	19,98	0,01	179,16	<0,01	25,77	0,01
C*	5,75	0,07	46,68	<0,01	8,64	0,04
h*	136,31	<0,01	1552,10	<0,01	139,05	<0,01
Almidón						
L*	106,11	<0,01	920,15	<0,01	23,12	0,01
a*	80,09	<0,01	2061,80	<0,01	25,34	0,01
b*	10,87	0,03	80,55	<0,01	12,58	0,03
C*	3,66	0,13	13,19	0,02	6,59	0,06
h*	41,25	<0,01	549,23	<0,01	26,08	0,01

Para ambos tipos de espesante, las muestras elaboradas con leche entera presentaron valores mayores de L*, b*, C* y de a* y menores de h* que las muestras elaboradas con leche desnatada (Tabla 2).

Tabla 2. Valores medios (n=2) de los parámetros instrumentales de color de las muestras elaboradas con distintas concentraciones de CMC y de almidón y con dos tipos de leche (entera y desnatada).

Espesante	Parámetros	Leche desnatada		Leche entera	
		1,1%	1,3%	1,1%	1,3%
CMC	L*	58,63 ^a	62,36 ^b	77,45 ^c	77,22 ^c
	a*	-9,93 ^a	-8,88 ^b	-6,12 ^c	-6,07 ^c
	b*	12,02 ^a	15,56 ^b	18,86 ^c	18,64 ^c
	C*	15,59 ^a	17,91 ^b	19,83 ^c	19,60 ^{bc}
	h*	129,61 ^c	119,70 ^b	107,10 ^a	108,05 ^a
Almidón		3,5%	4,0%	3,5%	4,0%
	L*	71,99 ^b	68,71 ^a	77,52 ^d	76,33 ^c
	a*	-8,60 ^b	-9,64 ^a	-5,59 ^c	-5,88 ^c
	b*	14,56 ^b	12,41 ^a	16,26 ^c	16,34 ^c
	h*	120,57 ^b	127,86 ^c	108,98 ^a	109,98 ^a

Los valores de cada fila con superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

En general, la concentración de espesante no influyó en los valores de los parámetros de color en las muestras elaboradas con leche entera, sin embargo, en las muestras con leche desnatada, tuvo un efecto significativo que fue distinto según el tipo de espesante utilizado. Al incrementar la concentración de CMC los valores de L^* , a^* , b^* y C^* aumentaron y los valores de h^* disminuyeron (Tabla 2). Sin embargo, en general, al aumentar la concentración de almidón, disminuyeron los valores de L^* , a^* y b^* y aumentaron los valores de C^* y h^* .

Se analizó conjuntamente la variabilidad de los parámetros de color en las ocho muestras mediante un análisis de componentes principales (PCA). En la Figura 2, se presenta la distribución de las muestras en el mapa obtenido para los dos primeros componentes principales. Estos dos componentes explicaron el 97,32% de la variabilidad del color de las muestras. El primer componente explicó la mayor parte de esta variabilidad (86,96%) y separó las muestras en dos grupos que incluyeron cada uno de ellos, las muestras con el mismo contenido en grasa. El grupo, situado en la parte positiva del eje, estuvo formado por las muestras elaboradas con leche desnatada, con los valores más altos de tono y los valores menores de a^* y de b^* . El segundo grupo, en la parte negativa del eje, estuvo formado por las muestras fabricadas con leche entera, con valores superiores de b^* y de a^* . El segundo componente, que solo explicó un 10,36% de la variabilidad, separó las muestras según el tipo de espesante: las muestras con CMC, en la parte positiva del eje, tuvieron valores mas altos de C^* y menor luminosidad que las muestras con almidón situadas en la parte negativa.

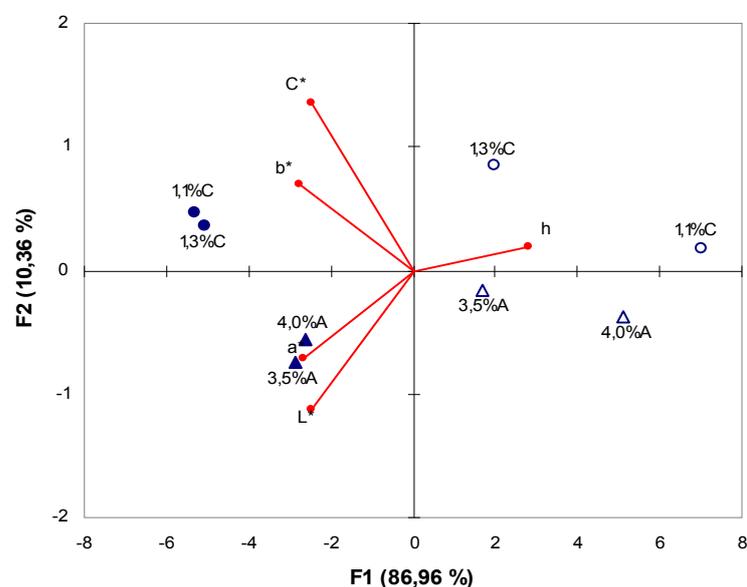


Figura 2. Distribución de las muestras con CMC (círculos), almidón (triángulos) y de los vectores representativos de los parámetros de color en el mapa obtenido con el PCA. Muestras con leche entera (símbolo relleno) y muestras con leche desnatada (símbolos vacíos).

Influencia de la composición en el comportamiento reológico

Todas las muestras presentaron un comportamiento de flujo pseudoplástico y dependiente del tiempo. El comportamiento tixotrópico de las muestras aumentó con la concentración de espesante. En las muestras elaboradas con CMC, las curvas de flujo de los sistemas con leche entera presentaron valores del esfuerzo de cizalla muy superiores a los de las muestras con leche desnatada, mientras que en las muestras elaboradas con almidón, las diferencias entre ambos tipos de muestras fueron menores (Figura 3).

Las curvas de flujo descendentes de todas las muestras analizadas se ajustaron bien al modelo de Herschel-Bulkley ($0,998 < R^2 < 0,999$). En las muestras fabricadas con CMC, el efecto del tipo de leche y de la concentración de espesante en los valores de todos los parámetros de flujo estudiados fueron significativos ($p < 0,05$) (Tabla 3). El efecto de la interacción entre ambos factores sólo fue significativo en los valores del índice de consistencia (K). Esta interacción se debió a que el efecto de la concentración de CMC en la consistencia fue mayor en las muestras con leche entera que en las elaboradas con leche desnatada. El contenido en CMC fue el factor que más influyó en la pseudoplasticidad y en el esfuerzo umbral de las muestras, mientras que el área tixotrópica (A_r) se vio más afectada por el tipo de leche. El valor de todos estos parámetros aumentó con la concentración de CMC y con el contenido en grasa (Tabla 4).

Tabla 3. Efecto de la concentración de espesante y del tipo de leche en los valores del índice de consistencia (K), del índice de flujo (n), del esfuerzo umbral (σ_0) y del área tixotrópica relativa (A_r). Valores de F y p.

Parámetros	Efectos principales				Interacción	
	A: Concentración de espesante		B: Tipo de leche		A × B	
	F	p	F	p	F	P
CMC						
K(Pas ⁿ)	1240,60	<0,01	894,39	<0,01	242,28	<0,01
n	264,60	<0,01	125,59	<0,01	7,35	0,06
σ_0 (Pa)	450,40	<0,01	147,49	<0,01	1,33	0,31
A_r (%)	199,59	<0,01	560,36	<0,01	5,50	0,08
Almidón						
K(Pas ⁿ)	16,77	0,02	0,42	0,55	0,32	0,60
n	8,32	0,06	0,11	0,75	0,07	0,81
σ_0 (Pa)	1814,50	<0,01	266,55	<0,01	0,45	0,54
A_r (%)	1,74	0,26	2,32	0,20	5,59	0,08

En las muestras fabricadas con almidón, la interacción entre concentración de espesante y tipo de leche no fue significativa para ningún parámetro reológico. En tanto, el índice de consistencia mostró un aumento significativo (Tablas 3 y 4) al incrementar la concentración de almidón, pero no se vio afectado por el tipo de leche. Los valores del esfuerzo umbral aumentaron de forma significativa con la concentración de espesante y con el contenido en grasa. El tipo de leche y la concentración de almidón no afectaron de forma significativa la pseudoplasticidad ni el área tixotrópica relativa de las muestras analizadas.

Tabla 4. Comportamiento de flujo de las muestras elaboradas con CMC y con almidón. Valores medios (n=2) del índice de de consistencia (K), del índice de flujo (n), esfuerzo umbral (σ_0) y del área tixotrópica relativa (A_r).

Espesante	Parámetros	Leche desnatada		Leche entera	
		1,1%	1,3%	1,1%	1,3%
CMC	K(Pas ⁿ)	1,78 ^a	5,98 ^c	4,85 ^b	15,70 ^d
	n	0,67 ^d	0,59 ^b	0,62 ^c	0,52 ^a
	σ_0 (Pa)	2,22 ^a	7,05 ^c	5,09 ^b	9,42 ^d
	A_r (%)	2,06 ^a	6,98 ^b	9,84 ^c	13,37 ^d
		3,5%	4,0%	3,5%	4,0%
Almidón	K(Pas ⁿ)	1,35 ^a	2,49 ^b	1,33 ^a	2,20 ^{ab}
	n	0,78 ^a	0,80 ^a	0,78 ^a	0,81 ^a
	σ_0 (Pa)	9,06 ^a	30,11 ^c	16,92 ^b	38,64 ^d
	A_r (%)	8,72 ^a	11,85 ^a	12,02 ^a	11,13 ^a

Los valores de cada fila con superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

En la Figura 4 se representan los espectros mecánicos de las muestras estudiadas. Todas las muestras presentaron un espectro mecánico típico de gel débil, con valores del módulo de almacenamiento (G') mayores a los del módulo de pérdida (G'') en todo el intervalo de frecuencias estudiado. El valor de ambos módulos dependió de la frecuencia y esta dependencia fue mayor para los valores de G'' . Las muestras elaboradas con menor concentración de espesante y con leche desnatada, mostraron una estructura más débil ya que los valores de ambos módulos mostraron una mayor dependencia de la frecuencia y fueron menores que en el resto de las muestras.

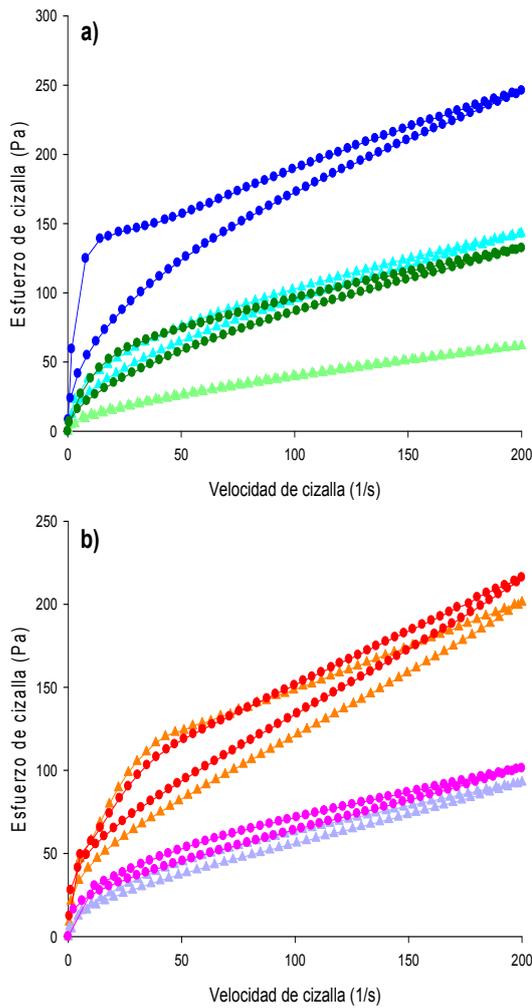


Figura 3. Curva de flujo de las muestras elaboradas con: a) CMC (● y ▲=1,3%, ● y ▲=1,1%); b) Almidón (● y ▲=4,0%, ● y ▲=3,5%). (círculo = Leche entera, triángulo= Leche desnatada).

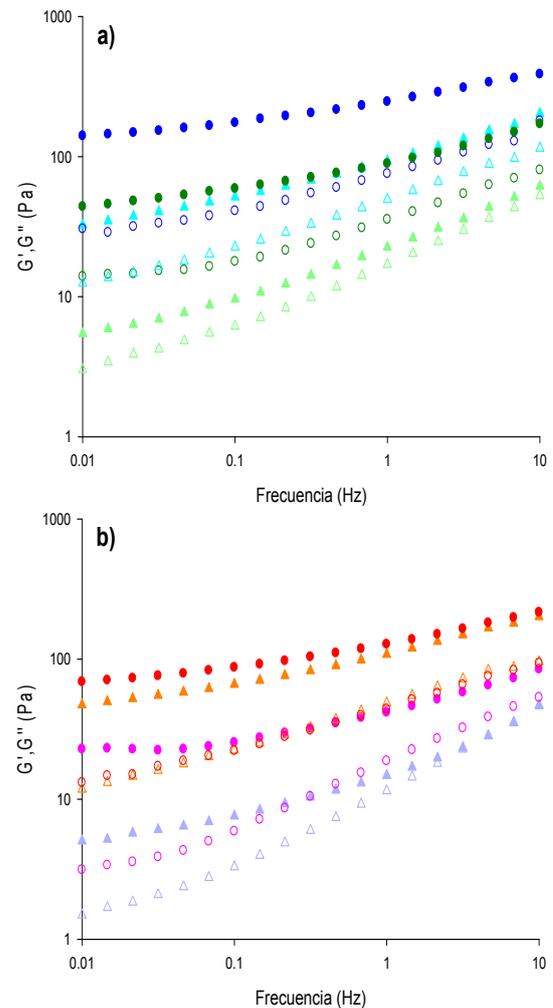


Figura 4. Espectro mecánico de las muestras elaboradas con: a) CMC (● y ▲=1,3%, ● y ▲=1,1%); b) Almidón (● y ▲=4,0%, ● y ▲=3,5%). (círculo = Leche entera, triángulo= Leche desnatada). Valores de G' (símbolos rellenos) y G'' (símbolos vacío).

Para las muestras elaboradas con CMC, el análisis de la varianza mostró que los efectos de la concentración de espesante y del tipo de leche y de la interacción entre ambos, fueron significativos en los valores de todos los parámetros viscoelásticos (Tabla 5). Los valores de ambos módulos (G' y G'') y de la viscosidad compleja (a 1 y a 8Hz) aumentaron significativamente con la concentración de espesante y con el contenido en grasa de las muestras y el valor de la $\tan \delta$, disminuyó (Tabla 6).

Tabla 5. Efecto de la concentración de espesante y del tipo de leche en las muestras elaboradas con CMC y almidón en los valores del módulo de almacenamiento (G'), del módulo de pérdida (G''), de la tangente de pérdidas ($\tan \delta$) y de la viscosidad compleja (η^*) a 1Hz y en los valores de la viscosidad compleja a 8 Hz ($\eta^*_{8\text{Hz}}$). Valores de F y p.

Parámetros	Efectos principales				Interacción	
	A: Concentración de espesante		B: Tipo de leche		A × B	
	F	p	F	p	F	p
CMC						
G' (Pa)	1217,34	<0,01	897,88	<0,01	116,45	<0,01
G'' (Pa)	3791,74	<0,01	1040,40	<0,01	9,25	0,04
η^* (Pa s)	1488,47	<0,01	986,09	<0,01	118,45	<0,01
$\tan \delta$	139,10	<0,01	429,80	<0,01	20,34	0,01
$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)	944,68	<0,01	455,10	<0,01	28,87	0,01
Almidón						
G' (Pa)	842,62	<0,01	81,12	<0,01	2,31	0,20
G'' (Pa)	1102,44	<0,01	17,26	0,01	4,31	0,11
η^* (Pa s)	867,23	<0,01	70,54	<0,01	1,56	0,28
$\tan \delta$	317,95	<0,01	311,74	<0,01	98,91	<0,01
$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)	438,41	<0,01	19,26	0,01	0,19	0,69

Tabla 6. Viscoelasticidad de las muestras elaboradas con CMC y almidón. Valores medios ($n=2$) del módulo de almacenamiento (G'), del módulo de pérdida (G''), de la tangente de pérdida ($\tan \delta$) y de la viscosidad compleja (η^*) a 1Hz y valores medios de la viscosidad compleja a 8 Hz ($\eta^*_{8\text{Hz}}$).

Espesante	Parámetros	Leche desnatada		Leche entera	
		1,1%	1,3%	1.1%	1.3%
CMC	G' (Pa)	23,92 ^a	98,67 ^c	83,34 ^b	225,08 ^d
	G'' (Pa)	17,44 ^a	51,85 ^c	34,62 ^b	72,60 ^d
	η^* (Pa s)	4,71 ^a	17,74 ^c	14,37 ^b	37,64 ^d
	$\tan \delta$	0,73 ^d	0,53 ^c	0,42 ^b	0,32 ^a
	$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)	1,49 ^a	4,50 ^c	3,38 ^b	7,66 ^d
Almidón		3,5%	4,0%	3,5%	4.0%
	G' (Pa)	14,04 ^a	106,44 ^c	39,19 ^b	141,8 ^d
	G'' (Pa)	11,22 ^a	46,96 ^c	17,54 ^b	49,06 ^c
	η^* (Pa s)	2,86 ^a	18,52 ^c	6,83 ^b	23,88 ^d
	$\tan \delta$	0,80 ^c	0,45 ^b	0,45 ^b	0,35 ^a
	$\eta^*_{8\text{Hz}}$ (Pa s)	1,06 ^a	4,27 ^c	1,78 ^b	4,87 ^d

Los valores de cada fila con superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

En las muestras elaboradas con almidón, el efecto de la interacción entre los factores simples solo fue significativo en los valores de la $\tan \delta$ que, al incrementarse la concentración de almidón, disminuyó más en las muestras elaboradas con leche desnatada que en las muestras con leche entera. Los valores de los otros parámetros viscoelásticos, aumentaron significativamente con la concentración de espesante y con el contenido en grasa (Tablas 5 y 6).

Por último, se analizó conjuntamente la variabilidad del comportamiento reológico de las ocho muestras, considerando los valores de los parámetros reológicos obtenidos en los dos ensayos realizados (flujo y oscilatorio), mediante un análisis de componentes principales. En la Figura 5, se presenta la distribución de las muestras en el mapa obtenido para los dos primeros componentes principales. Estos dos componentes explicaron el 92,25% de la variabilidad de los datos. El primer componente explicó el 66,35% de esa variabilidad y estuvo relacionado principalmente con los valores de los parámetros viscoelásticos. Las muestras con la mayor concentración de CMC o de almidón y con valores superiores de G' , G'' y η^* (a 1 y a 8Hz) y valores inferiores de la $\tan \delta$, estuvieron situadas en la parte positiva de este eje y las muestras con menor concentración de espesante y con los menores valores de G' , G'' y η^* (a 1 y a 8Hz) y superiores de la $\tan \delta$ se situaron en la parte negativa. El segundo componente, explicó el 25,90% de la variabilidad, estuvo más relacionado con el comportamiento de flujo. Este eje separó las muestras con mayor esfuerzo umbral y mayor área tixotrópica pero con menor pseudoplasticidad de las restantes (Figura 5).

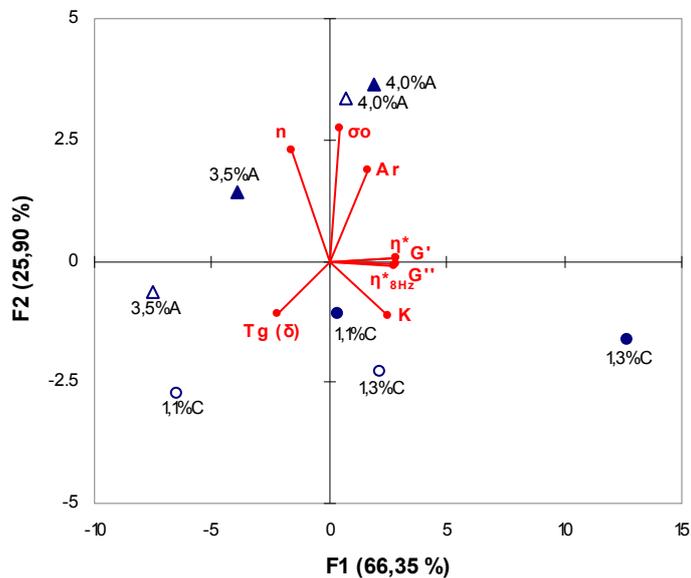


Figura 5. Distribución de las muestras elaboradas con CMC (círculos), almidón (triángulos) y de los vectores representativos de los parámetros reológicos obtenidos en el PCA. Muestras elaboradas con leche entera (símbolo vacío) y muestras elaboradas con leche desnatada (símbolos rellenos).

Influencia de la composición en las características sensoriales

Para poder establecer como afecta el tipo y la concentración de espesante en la calidad sensorial de sistemas lácteos con distinto contenido en grasa (leche entera y desnatada) se realizó una prueba de comparación por parejas múltiple, analizando comparativamente las diferencias perceptibles en la intensidad de color amarillo, en el dulzor, en el sabor a ralladura de piel de limón, en el sabor a leche, en la consistencia, en la cremosidad, en la suavidad y en la preferencia entre todos los posibles pares de ocho muestras. Al analizar las sumas de orden obtenidas para cada atributo con el análisis la varianza Friedman, se detectaron diferencias significativas entre las muestras para todos ellos. Los valores de T_{cal} para el color amarillo (498.3), dulzor (181.0), sabor a limón (287.6), sabor a leche (328.1), consistencia (375.0), cremosidad (246.9), suavidad (316.4) y preferencia (195.1) fueron superiores al valor crítico de χ^2 para 7 grados de libertad y $\alpha= 0.05$ ($\chi^2 =14.1$). La significación de las diferencias entre las sumas de orden de las muestras para cada atributo se estableció con el test HSD de Tukey que, en este caso, para 8 muestras, 28 catadores y $\alpha= 0.05$ fue 32.1.

Los resultados de la evaluación sensorial de la intensidad de color (Figura 6) ponen de manifiesto que independientemente del tipo de espesante utilizado y de su concentración, las muestras bajas en grasa se percibieron con mayor intensidad de color amarillo que las muestras fabricadas con leche entera, lo que coincide con los menores valores de tono observados en éstas últimas. Las muestras con CMC y leche desnatada se percibieron con más intensidad de color que las muestras equivalentes con almidón, lo que se podría explicar por sus menores valores de L^* (Tabla 2). Las diferencias entre muestras con el mismo tipo de leche y de espesante y con diferente concentración de éste no fueron significativas.

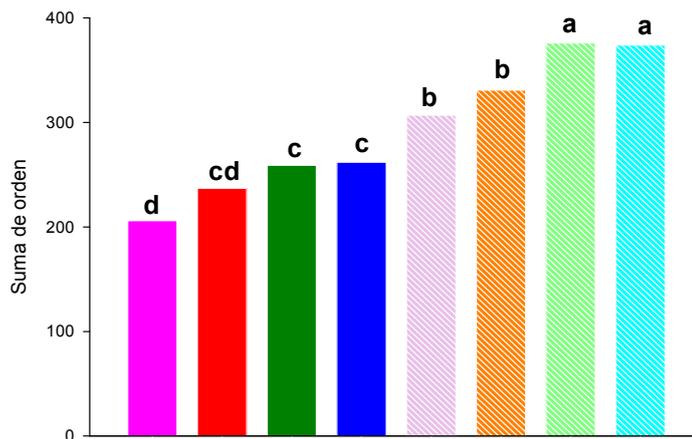


Figura 6. Evaluación sensorial de la intensidad de color amarillo, muestras elaboradas con: CMC (■ y ■=1,3%, ■ y ■=1,1%); Almidón (■ y ■=4,0%, ■ y ■=3,5%). (Barra lisa = Leche entera, Barra rayas = Leche desnatada). Los superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

El tipo de espesante fue el factor que mas influyó en la intensidad del dulzor aunque también lo hizo el contenido en grasa. Las muestras elaboradas con almidón se percibieron significativamente con mayor intensidad de dulzor que las muestras con CMC y, en general, las elaboradas con leche entera se percibieron como más dulces que las fabricadas con leche desnatada (Figura 7.a). Sin embargo, la intensidad del sabor a limón dependió del contenido en grasa. Las muestras elaboradas con leche desnatada se percibieron significativamente con mayor intensidad de sabor que las muestras elaboradas con leche entera (Figura 7.b). La mayor afinidad del linalool (compuesto lipófilo) por la grasa podría ser la causa de una mayor liberación de este volátil en las muestras elaboradas con leche desnatada dando lugar a una mayor intensidad de sabor a limón. Las muestras elaboradas con leche entera fueron percibidas con un sabor a leche significativamente mayor que el de las muestras con leche desnatada (Figura 7.c). Además, las muestras con almidón se percibieron significativamente con más sabor a leche que sus homólogas fabricadas con CMC.

Con respecto a los atributos sensoriales relacionados con la textura, en primer lugar se observó que las muestras con la misma concentración de almidón y con distinto contenido en grasa fueron percibidas con una consistencia similar mientras que en las muestras elaboradas con CMC, se observaron claras diferencias entre las muestras con distinto contenido en grasa (Figura 8.a). La consistencia percibida fue mayor en las muestras con mayor concentración de espesante que en sus equivalentes con menor concentración. La muestra elaborada con 1.3% CMC y leche entera, fue la que se percibió con mayor consistencia. Estos resultados confirmaron la relación entre la consistencia o viscosidad percibida sensorialmente y el comportamiento reológico de las muestras, especialmente con los valores del índice de consistencia y de los parámetros viscoelásticos (Tabla 4). Como era de esperar, las muestras con mayor contenido en grasa tuvieron mayor cremosidad que las de menor contenido en grasa aunque no se diferenciaron en la suavidad. Las muestras fabricadas con almidón se percibieron como mas cremosas y mas suaves que las muestras con CMC y al aumentar la concentración de almidón, aumentó significativamente la cremosidad (Figura 8.b y c).

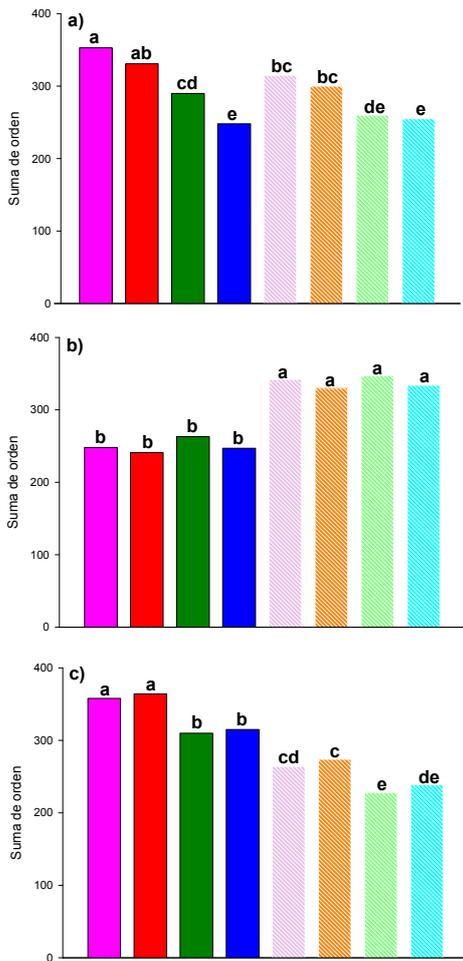


Figura 7. Evaluación sensorial de la intensidad de dulzor (a), sabor limón (b) y sabor a leche (c). Muestras elaboradas con: CMC (■ y ■=1,3%, ■ y ■=1,1%); Almidón (■ y ■=4,0%, ■ y ■=3,5%). (Barra lisa= Leche entera, Barra rayas = Leche desnatada). Los superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

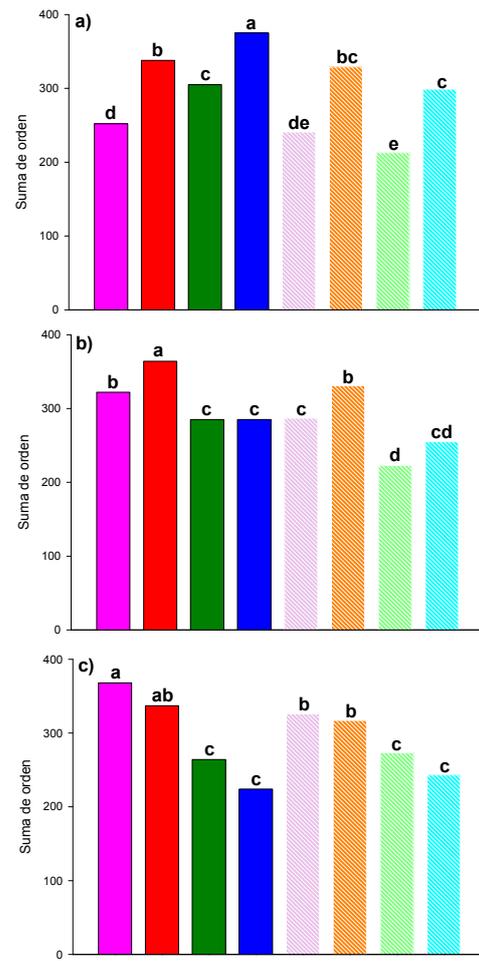


Figura 8. Evaluación sensorial de la consistencia (a), cremosidad (b) y suavidad (c). Muestras elaboradas con: CMC (■ y ■=1,3%, ■ y ■=1,1%); Almidón (■ y ■=4,0%, ■ y ■=3,5%). (Barra lisa = Leche entera, Barra rayas = Leche desnatada). Los superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que existían diferencias perceptibles en la intensidad de los diferentes atributos sensoriales entre las muestras analizadas. Por ello se consideró interesante realizar un estudio preliminar para poder establecer, hasta que punto, las diferencias percibidas podrían incidir en la respuesta del consumidor. Al analizar comparativamente las diferencias en preferencia entre las muestras (Figura 9) se observó que para ambos tipos de espesante las muestras elaboradas con leche entera fueron significativamente preferidas a las elaboradas con leche desnatada y que las muestras con almidón eran más preferidas que las muestras con CMC. La menor intensidad del sabor a limón, el mayor dulzor, el sabor a

leche más intenso y una textura más cremosa y más suave en las muestras elaboradas con leche entera y con almidón (Figuras 7 y 8) podrían explicar las diferencias en preferencia observadas entre las muestras.

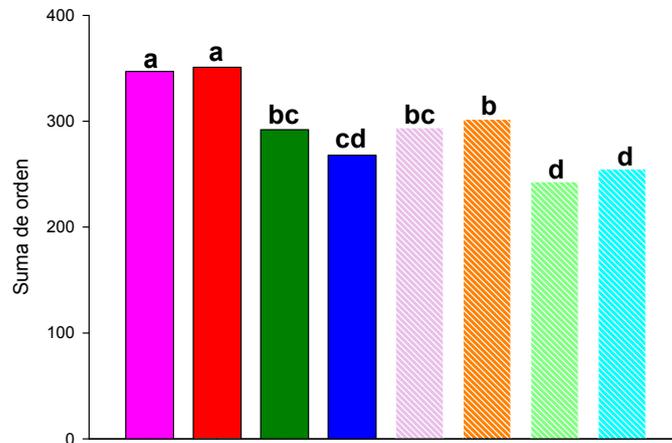


Figura 9. Evaluación sensorial de la preferencia de las muestras elaboradas con: CMC (■ y ▨=1,3%, ■ y ▨=1,1%); Almidón (■ y ▨=4,0%, ■ y ▨=3,5%). (Barra lisa = Leche entera, Barra rayas = Leche desnatada). Los superíndices con alguna letra en común no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

Los tres factores de composición considerados: tipo y concentración de espesante y contenido de grasa, influyeron de distinta forma en las características físicas y sensoriales de los sistemas lácteos estudiados. El contenido en grasa fue lo que más influyó en el color, tanto en los parámetros instrumentales como en el percibido sensorialmente. Las muestras elaboradas con leche desnatada presentaron la tonalidad más alta y la luminosidad más baja y sensorialmente, una mayor intensidad de color amarillo. La concentración de espesante y el contenido en grasa fueron los factores determinantes del comportamiento reológico y de la consistencia percibida mientras que otros atributos sensoriales como la cremosidad y la suavidad dependieron principalmente del tipo de espesante. Cuanto mayor fue el contenido en espesante y en grasa, el flujo fue más pseudoplástico, el índice de consistencia, el módulo de almacenamiento y la viscosidad compleja fueron mayores y las muestras se percibieron como más consistentes. Las muestras con almidón se percibieron como más suaves y cremosas que las de carboximetilcelulosa. El sabor dependió principalmente del contenido en grasa y del tipo de espesante aunque la influencia de ambos factores fue distinta en los diferentes atributos del sabor. En general, los sistemas lácteos elaborados con almidón y con leche entera fueron los preferidos por su menor intensidad del sabor a limón, mayor dulzor y sabor a leche y una textura más cremosa y más suave.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al MICINN (España) por la subvención al proyecto AGL2007-63444.

REFERENCIAS

- Bayarri, S.; Gonzáles-Tomás, L.; Costell, E. 2009. Viscoelastic properties of aqueous and milk Systems with carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 23 (2), 441-450.
- Calvo, C.; Duran, L. 1997. Propiedades físicas II. Ópticas y Color. En: Aguilera, J.M. (ed). *Temas en tecnología de alimentos (Volumen 1)*. México, 261-288.
- De Wijk, R.A.; Terpstra, M.E.J.; Janssen, A.M.; Prinz, J.F. 2006. Perceived creaminess of semi-solid foods. *Trens in Food Science & Technology*, 17, 412-422.
- Dickinson, E.1993. Protein-Polisaccharide Interations in Food Colloids. En: Dikckinson, E., Walstra, P. (eds). *Food colloids and polymers: Stability and mechanical properties*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 77-93.
- Dolz, M.; Gonzales, F.; Delegido, J.; Hernández, M.J.; Pellicer, J. 2000. A time-dependent expression for thixotropic areas. Application to aerosol 100 hydrogels. *Journal of Pharmaceutical. Sciences*, 80 790-797.
- Dziesak, S.D.1991. Afocus on gums. *Food Technology*, 45 (3), 116-132.
- Guinard, J.X.; Zoumas-Mores, C.; Mori, B.; Uatoni, B.; Panyam, D.; Kilara, A.1997. Sugar and fat effects on sensory properties off ice creams. *Journal of Food Science*, 62, 1087-1094.
- Hill, M.A.; Mitchell, J.R.; Sherman, P.A. 1995. The relationship between the reological and sensory properties of a lemon pie filling. *Journal of Texture Studies*, 26, 457-470.
- Jellema, R.H.; Janssen, A.M.; Terpstra, M.E.J.; De Wijk, R.A.; Smilde, A.K. 2005. Relating the sensory sensation “crey mouthfeel” in custards to rheological measurements. *Journal of Chemometrics*, 19(3), 191-200.
- Keller, J.D. 1986. Sodium Carboxymethylcellulose (CMC). En: Glicksman, M. (ed). *Food Hydrocolloids*. (Vol. 3). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 43-109.
- Maier, H.; Anderson, M., Karl, C., Magnuson, K.; Whistler, R.L. 1993. Guar, Locust Bean. Tara and Fenugreek gums. En: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. (eds). *Industrial gums, Polysaccharides and Their Derivates*. Academic Press, Inc. London, 181-226.
- Meilgaard, M.; Civille, G.V.; Carr, B.T. 1999. Sensory evaluation Techniques. CRC Press, Boca Raton, 103-106.
- Piculell, L.1995. Gelling carrageenans. En: Stephen, A.M. (ed). *Food Polysaccharides and Their Applications*. Marcel Dekker, Inc. New York, 205-244.
- 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.
- Richardson, R.K.; Morris, E.R.; Ross-Murphy, S.B.; Taylor, L.J.; Dea, I.C.M. 1989. Characterization of the perceived texture of thickened systems by dynamic viscosity measurements. *Food Hydrocollids*, 3, 175-191.
- Sandrou, D.K.; Arvanitoyannis, I.S. 2000. Low fat/calorie foods: current state and perspectivas. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 427-447.
- UNE-EN ISO 5495. 2009. Análisis sensorial. Metodología. Prueba de comparación por parejas. Madrid: AENOR.
- UNE-EN ISO 8589. 2010. Análisis sensorial. Guía general para el diseño de una sala de cata. Madrid: AENOR.
- Warrand, J. 2006. Healthy polysaccharides. The next chapter in food products. *Food Technology an Biotechnology*, 44, 355-370.
- Yang, F.; Zhu, W.L. 2007. Viscosity properties of sodium carboxymthylcellulose Solutions. *Cellulose*, 14, 409-410.

