



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE VALENCIA



OPTIMIZACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DE UN POSTRE LÁCTEO CON CARÁCTER PREBIÓTICO

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Alumna: Patricia Arcia Cabrera

Directora: Dra. Amparo Tárrega Guillem

Tutora: Dra. Elvira Costell Ibáñez

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

OPTIMIZACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DE UN POSTRE LÁCTEO CON CARÁCTER PREBIÓTICO

Patricia Arcia Cabrera¹⁻², Amparo Tárrega Guillem²

RESUMEN

La investigación llevada a cabo en esta tesis, ha tenido como objetivo la optimización de la formulación de un postre lácteo con bajo contenido en grasa (<0,1%) y con características prebióticas, utilizando una mezcla de inulinas de cadena corta y larga. Se estudiaron los efectos de la concentración de inulina, de azúcar y de aroma a limón en las propiedades reológicas y sensoriales del producto. Para el diseño experimental y el análisis de datos se utilizó el Método de Superficie de Respuesta (MSR). El comportamiento de flujo y la viscoelasticidad de las muestras variaron con la concentración de inulina y azúcar. La aceptabilidad varió principalmente con las concentraciones de inulina y azúcar y en menor medida con la de aroma a limón. De acuerdo al modelo obtenido se estableció para cada ingrediente el intervalo de concentraciones de máxima aceptabilidad y se seleccionó, como representativa, la formulación con 5,5% de inulina, 10% de azúcar y 60 ppm de aroma. Finalmente, las propiedades sensoriales de esta muestra se compararon con las de una muestra con el contenido en grasa habitual (2,8%), previamente seleccionada con un contenido en azúcar del 11,4% y 146 ppm de aroma. Entre estas dos muestras no hubo diferencias en cuanto a la aceptabilidad, aunque la de bajo contenido en grasa e inulina presentó mayor sabor a limón, consistencia y cremosidad.

PALABRAS CLAVE: optimización, aceptabilidad, postre lácteo, bajo contenido en grasa, prebiótico, inulina, reología, análisis sensorial.

RESUM

La investigació portada a terme en aquesta tesi, ha tingut com objectiu l'optimització de la formulació d'un postre làcti amb baix contingut en greix

¹ Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Av. Italia 6201, C.P. 11500, Montevideo, Uruguay. Teléfono (598 2) 6013724. E-mail: parcia@latu.org.uy

² Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC. Apartado de Correos 73, 46100 Burjassot, Valencia, España. Teléfono 963900022.

(<0,1%) i amb caràcter prebiòtic utilitzant una barreja de inulina de cadena curta i llarga. Es van estudiar els efectes de la concentració de inulina, de sucre i d'aroma a llimó en les propietats reològiques i sensorials del producte. Per al disseny experimental i l'anàlisi de dades es va utilitzar el Mètode de Superfície de Resposta (MSR). El comportament de flux i la viscoelasticitat de les mostres van variar amb la concentració de inulina i sucre. L'acceptabilitat va variar principalment amb les concentracions de inulina i sucre i en menor amidada amb la d'aroma a llimó. D'acord al model obtingut es va establir per a cada ingredient el rang de concentracions de màxima acceptabilitat i es va seleccionar com representativa, la formulació amb 5,5% de inulina, 10% de sucre i 60 ppm d'aroma. Finalment les propietats sensorials d'aquesta mostra es van comparar amb les d'una mostra amb el contingut en greix habitual (2,8%) prèviament optimitzada quant al contingut en aroma (146 ppm) i sucre (11,4%). Entre aquestes dues mostres, no hi hagué diferències quant a l'acceptabilitat encara que la de baix contingut en greix i inulina va presentar major sabor a llimó, consistència i cremositat.

ABSTRACT

This research study was aimed to optimize the formulation of a prebiotic dairy dessert, with low fat content (<0,1%) using a mixture of short and long chain inulin. The effects of inulin, sucrose and lemon flavor concentrations on the rheological behavior and sensory properties of dairy dessert were studied. Response Surface Method (MSR) was applied to obtain the experimental design and data analysis. The flow behavior and viscoelasticity of samples varied with inulin and sucrose concentrations. Acceptability varied mainly with inulin and sucrose concentrations and, in a lower extent, with lemon flavor content. According to the obtained model, for each ingredient the concentration range of maximum acceptability was established and the formulation with 5,5% inulin, 10% sugar and 60 ppm of lemon flavor was selected as representative. Finally, this sample was compared sensorily with the regular fat content (2,8%) sample previously optimized in terms of lemon flavor (146 ppm) and sugar (11,4%). Regarding to the acceptability, there were no differences between them but the sample with low-fat and inulin showed higher lemon flavor, texture and creaminess.

INTRODUCCIÓN

El creciente interés por una alimentación saludable ha dado lugar a la aparición en el mercado de una nueva gama de alimentos y productos que, además de nutrir, mejoran la salud incrementando el bienestar y reduciendo el riesgo de contraer determinadas enfermedades. Estos alimentos, denominados genéricamente funcionales, se definen como “un alimento natural o uno al que se le ha añadido o eliminado componentes, por vía tecnológica o biotecnológica, de forma que se ha demostrado satisfactoriamente que tiene un efecto beneficioso para la salud además de los efectos nutricionales habituales” (EUR 1859, 2000). Aunque la importancia actual de los alimentos funcionales en el mercado es variable y difícil de determinar, los expertos indican que estos productos tienen un elevado potencial de crecimiento (Sloan, 2004, 2006). Las estimaciones indican que el consumo de estos alimentos en Europa podría llegar a alcanzar en la segunda década de este siglo una cuota cercana al 5% del mercado de alimentos y bebidas (Menrad, 2003).

En el diseño y desarrollo de un nuevo alimento funcional por adición de un componente bioactivo, es necesario que, además de que el principio activo no pierda su estabilidad ni biodisponibilidad, el producto final tenga una calidad sensorial que satisfaga los requerimientos del consumidor. La incorporación de un nuevo ingrediente suele causar cambios en el producto debidos bien al efecto de este nuevo ingrediente o a su interacción con alguno de los otros componentes de la matriz. Por este motivo, el conocimiento de cómo influyen la composición y las interacciones entre ingredientes en las propiedades físicas y sensoriales del alimento constituye información muy valiosa para poder desarrollar con éxito un nuevo producto.

La inulina es un polisacárido compuesto de unidades de fructosa, que se encuentra de forma natural en varias frutas y hortalizas. Su obtención industrial se realiza mayoritariamente a partir de las raíces de la achicoria mediante un proceso de extracción con agua caliente, purificación y cristalización. En la mayoría de los países europeos, la inulina está considerada no como un aditivo, sino como un ingrediente alimentario natural y seguro y en Estados Unidos goza de estatus GRAS (Coussement, 1999; Kaur y Gupta, 2002; Milo, 2004). La inulina nativa, extraída directamente de la fuente vegetal, está formada por cadenas de fructosa con grado de polimerización muy variado (2-60 unidades), pero también hay en el mercado inulina con un grado de polimerización específico: inulina de cadena larga (>20 unidades) o inulina de cadena corta (<10 unidades).

La ingestión de inulina puede aportar, no solo los beneficios inherentes a su condición de fibra dietética (reducción de los niveles de lípidos y de colesterol en la sangre, regulación del tránsito intestinal e incremento de la

adsorción de calcio) (Flamm et al., 2001), sino también, los derivados de su carácter prebiótico como la estimulación del crecimiento de las bifidobacterias (Roberfroid et al., 1998; Roberfroid y Slavin, 2000) y la regulación de la flora intestinal del colon, disminuyendo el crecimiento de las bacterias de las clases *Fusarium* y *Clostridium* (Kaur y Grupta, 2002).

Además de estos efectos beneficiosos para la salud, la inulina presenta propiedades tecnológicas interesantes que dependen del grado de polimerización de sus cadenas. La inulina de cadena corta tiene capacidad edulcorante por lo que se ha utilizado como sustituto parcial de la sacarosa, mientras que la inulina de cadena larga proporciona viscosidad y puede utilizarse como espesante o sustituto de grasa (Tungland y Meyer, 2002).

En base a estas ventajas que ofrece la inulina, surge la idea de utilizar este ingrediente para desarrollar un postre prebiótico con otras características nutricionales, como por ejemplo, que sea bajo en grasa y/o con menor contenido en azúcar. En un trabajo reciente se observó que la adición de 7,5% de inulina de cadena corta a natillas desnatadas incrementaba la intensidad del dulzor y del sabor a vainilla, mientras que la inulina de cadena larga incrementaba la cremosidad y la consistencia de las muestras, aunque también le confería una textura arenosa (González et al., 2010). Según Tárrega y colaboradores (2010), el uso combinado de inulina de cadena larga y de cadena corta (7,5%) incrementa el aroma, el dulzor y la consistencia de muestras de natillas mejorando su aceptabilidad. Sin embargo, la magnitud de estos efectos podrían variar dependiendo de la concentración total de inulina utilizada y de la composición de las muestras. Es necesario, por tanto, analizar la influencia de estas variaciones en la aceptabilidad de las muestras para poder formular productos de buena calidad sensorial.

El objetivo del presente trabajo fue la optimización de la aceptabilidad de un postre lácteo prebiótico y con bajo contenido en grasa, utilizando una mezcla de inulinas de cadena corta y larga en la proporción 50:50. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- 1- Estudiar el efecto de la concentración de la mezcla de inulina, azúcar y aroma en las propiedades reológicas de postres lácteos con bajo contenido en grasa.
- 2- Estudiar y modelizar la aceptabilidad al variar las concentraciones de inulina, azúcar y aroma. Seleccionar la formulación del producto con la máxima aceptabilidad.
- 3- Comparar las propiedades sensoriales de dicho postre prebiótico con bajo contenido en grasa con un postre con el contenido de grasa habitual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Composición de las muestras y preparación

Para la elaboración de las muestras se emplearon los siguientes ingredientes: leche entera y desnatada en polvo (Central Lechera Asturiana, España), almidón modificado de tapioca con un grado de entrecruzamiento medio (C*CreamTex 75720, Cerestar, España), dos tipos de inulina: de cadena larga (Frutafit® TEX) y de cadena corta (Frutafit® CLR) (Sensus, Brenntag Química, España), azúcar blanco comercial, aroma a limón 16508A (Luca S.A., España), colorante T-PT8-WS (CHR Hansen S.A., España) y conservantes: sorbato de potasio y benzoato de potasio (Panreac, QUÍMICA S.A., España).

Tanto la leche entera como la desnatada se prepararon con 24 horas de anterioridad, disolviendo un 14.4% de leche en polvo en agua mineral Font Vella, de forma que presentaron un contenido final en grasa del 3,7 y 0,11% respectivamente.

Para optimizar la formulación del postre lácteo con carácter prebiótico se elaboró un lote de muestras con leche desnatada e inulina. La composición se estableció de acuerdo con un diseño compuesto central de 3 factores: concentración de azúcar, concentración total de inulina y cantidad de aroma a limón, con un total de 19 puntos (19 muestras): 8 factoriales, 6 axiales y 5 centrales (Tabla 1). La inulina utilizada fue una mezcla de inulinas de cadena larga y de cadena corta en la proporción 50:50.

Para optimizar la concentración de aroma y de azúcar en la muestra de referencia con contenido en grasa habitual (2,8%), se elaboró un lote de muestras con leche entera. La composición de las muestras se estableció de acuerdo con un diseño compuesto central de 2 factores con un total de 16 puntos (16 muestras): 4 factoriales, 4 axiales y 8 centrales (Tabla 2).

En ambos lotes de muestras, la cantidad del almidón (3,5%), leche (75%), colorante (37,5 ppm) y conservantes (sorbato de potasio: 500 ppm; benzoato de potasio: 500 ppm) se mantuvo constante. Cada muestra, de 800 g, se fabricó con el siguiente procedimiento: se mezclaron los ingredientes (almidón, azúcar, inulina, leche y colorante) y la mezcla se mantuvo en agitación (agitador de palas, Heidolph RZR 1, Alemania) en un baño de agua a 96 ± 1 °C durante 25 minutos. A continuación, se enfrió en un baño de agua fría, con agitación durante 10 minutos. Finalmente se adicionó el aroma, los conservantes y se reposó la cantidad de agua evaporada durante la elaboración. Como mínimo se realizaron tres fabricaciones para cada formulación.

TABLA 1. Diseño experimental del lote de muestras con bajo contenido en grasa e inulina. Factores y niveles estudiados.

Formulación	Código			Concentración		
	Azúcar	Aroma	Inulina	Azúcar %	Aroma ppm	Inulina %
1	-1	-1	-1	7	75	4,5
2	1	-1	-1	13	75	4,5
3	-1	1	-1	7	175	4,5
4	1	1	-1	13	175	4,5
5	-1	-1	1	7	75	7,5
6	1	-1	1	13	75	7,5
7	-1	1	1	7	175	7,5
8	1	1	1	13	175	7,5
9	0	0	0	10	125	6
10	-2	0	0	4	125	6
11	2	0	0	16	125	6
12	0	-2	0	10	25	6
13	0	2	0	10	225	6
14	0	0	-2	10	125	3
15	0	0	2	10	125	9
16 – 19	0	0	0	10	125	6

TABLA 2. Diseño experimental del lote de muestras con contenido en grasa habitual. Factores y niveles estudiados.

Formulación	Código		Concentración	
	Azúcar	Aroma	Azúcar %	Aroma ppm
1	-1	-1	7	75
2	1	-1	13	75
3	-1	1	7	175
4	1	1	13	175
5	-2	0	4	125
6	2	0	16	125
7	0	-2	10	25
8	0	2	10	225
9 - 16	0	0	10	125

En el caso de las muestras con inulina adicionada, una parte de la inulina de cadena larga (0,2% del peso total de muestra) se agregó durante el enfriamiento de las muestras (sembrado). En estudios preliminares se ha observado que esta inulina agregada en frío, actúa como núcleo de cristalización favoreciendo una formación de cristales de tamaño menor y más homogéneo.

Las muestras se transfirieron a recipientes cerrados herméticamente y se almacenaron en refrigeración (4 ± 1 °C). La evaluación instrumental y sensorial de las muestras se realizó a las 48 horas de su fabricación para las muestras

con leche entera y a las 96 horas para las muestras con leche desnatada e inulina (tiempo estimado en ensayos preliminares necesario para estabilizar las muestras).

Medidas reológicas

Las medidas se llevaron a cabo con un reómetro de esfuerzo controlado RS1 (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania), empleando un sistema de platos paralelos de titanio de 6 cm de diámetro, con 1 mm de espacio entre ellos. La temperatura del ensayo se mantuvo a 10 ± 1 °C mediante un sistema de agua circulante (Phoenix P1 Circular, Thermo Haake). Una vez colocadas en el reómetro, las muestras se mantuvieron en reposo 10 minutos antes de comenzar la medida. De cada muestra se realizaron como mínimo dos medidas de fabricaciones distintas.

COMPORTAMIENTO DEL FLUJO

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

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

donde: σ = esfuerzo de cizalla (Pa); $\dot{\gamma}$ = gradiente de velocidades (s^{-1}); k = índice de consistencia ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$) y n = índice de flujo. Para evaluar el grado de tixotropía de las diferentes muestras, se calcularon los valores del área tixotrópica (A_{tix} , Ecuación 2)

$$A_{\text{tix}} = A_{\text{subida}} - A_{\text{bajada}} \quad (2)$$

donde: A_{subida} = área bajo la curva de subida y A_{bajada} = área bajo la curva de bajada. Se calculó la viscosidad aparente a 10 s^{-1} (η_{10}), según la Ecuación 3:

$$\eta_{10} = k * 10^{(n-1)} \quad (3)$$

VISCOELASTICIDAD

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 0,03 Pa.

Posteriormente, se realizaron ensayos de barrido de frecuencia de la muestras en un intervalo entre 0,1 y 10 Hz. La variación de los valores del módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdidas (G''), tangente de pérdidas ($\tan\delta$) y viscosidad compleja (η^*) en función de la frecuencia, se registraron con el programa Rheowin Job Manager (versión 3.61, Haake).

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo en una sala de cata normalizada (UNE 87004, 1979). Las muestras (40 ml) se sirvieron en vasos de plástico codificados con tres dígitos elegidos al azar a una temperatura de 10 ± 1 °C.

Un total de 97 consumidores evaluaron la aceptabilidad de las 19 muestras elaboradas con leche desnatada e inulina (Tabla 1), utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = “me disgusta extremadamente; 9 = “me gusta extremadamente). Para la selección de la muestra de referencia elaborada con leche entera, 60 consumidores evaluaron la aceptabilidad de las 16 muestras (Tabla 2) utilizando la misma escala. El orden de presentación de las muestras se estableció con un diseño de Williams (MacFie et al., 1989).

Finalmente, las dos muestras elaboradas con las formulaciones optimizadas se compararon entre sí. Para ello un total de 60 catadores evaluaron las diferencias en aceptabilidad y en la intensidad de varias características sensoriales (sabor a limón, dulzor, consistencia y cremosidad), mediante ensayos de comparación por parejas (UNE 87005, 1992).

Microscopía

La microestructura de las muestras se observó por microscopía óptica (Nikon Eclipse 90 i) con el objetivo 20x. Se tomaron microfotografías mediante la cámara digital acoplada al microscopio (Nikon DS-5Mc).

Análisis estadístico

La variabilidad en los parámetros reológicos y en la aceptabilidad de las muestras se estudió mediante un análisis de la varianza de un factor. Las diferencias entre muestras se determinaron con la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($\alpha \leq 0,05$). Estos análisis se realizaron con el software XLSTAT-Pro versión 2007 (Addinsoft, Francia).

Para modelizar la variabilidad de los parámetros estudiados en función de la composición, se utilizó el Método de Superficie de Respuesta (MSR) (Gacula, 1993). Mediante un análisis de regresión múltiple, los datos se ajustaron a un modelo de segundo orden (Ecuación 4).

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_{12} + B_{13}X_{13} + B_{23}X_{23} + \text{Error} \quad (4)$$

donde Y es la variable medida (parámetros reológicos y sensoriales); X_1 , X_2 y X_3 son las concentraciones de azúcar, aroma a limón e inulina respectivamente; B_0 es la intercepción (constante); B_1 , B_2 y B_3 son los coeficientes lineales; B_{11} , B_{22} y B_{33} son los coeficientes cuadráticos y B_{12} , B_{13} y B_{23} son los coeficientes correspondientes al efecto de las interacciones. El ajuste al modelo se realizó con el programa STATGRAPHICS Plus (versión 2007).

En las pruebas de comparación por pareja, la significación ($\alpha \leq 0,05$) de las diferencias entre muestras se estableció para una hipótesis bilateral, mediante el programa Compusense five versión 5.0 (Ontario, Canadá).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del comportamiento reológico de postres lácteos con distinta composición

En todos los casos, las muestras presentaron curvas de flujo que indicaban un comportamiento tixotrópico y pseudoplástico aunque con diferencias cuantitativas entre ellas. Como ejemplo, en la Figura 1a se muestran las curvas de flujo de algunas de las muestras más representativas. En cuanto a las propiedades viscoelásticas, todas las muestras presentaron espectros característicos de gel débil, con valores del módulo de almacenamiento (G') superiores a los del módulo de pérdida (G'') y con diferencias entre muestras como se observa en los ejemplos de la Figura 1b.

Este tipo de comportamiento reológico es el que suelen presentar los productos semisólidos elaborados con almidón y responde a la resistencia que ofrece a la deformación la estructura bifásica del sistema, dada por las características de la fase dispersa (gránulos de almidón) y las características de la fase continua (Nguyen et al., 1998; Thebaudin et al., 1998). En los postres lácteos, además de los gránulos de almidón gelatinizado, los compuestos incluidos en la fase continua, como algunos componentes de la leche (Matser y Steeneken, 1997), la sacarosa (Sikora et al., 1999; Acquarone y Rao, 2003) o distintos hidrocoloides (Tecante et al., 1999; Liu et

al., 2003; Krüger et al., 2003) pueden modificar la estructura del sistema y por tanto, su comportamiento reológico. En este trabajo se estudió la variación en los parámetros del flujo y de la viscoelasticidad al variar la concentración de inulina, azúcar y aroma (Tabla 3).

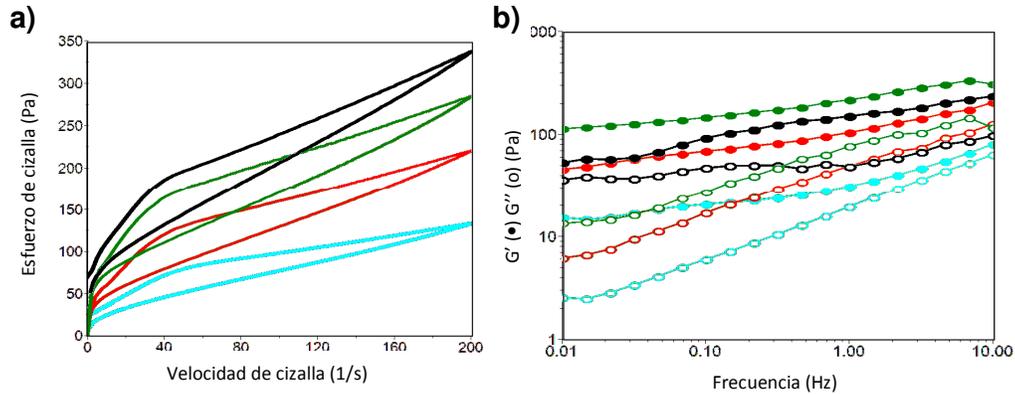


FIGURA 1. Comportamiento reológico de las muestras: 1(●), 9(●), 11(●) y 15(●). Curvas de flujo (a) y espectros mecánicos (b). Identificación de las muestras en Tabla 1.

TABLA 3. Valores medios (n=2) de los parámetros reológicos para las muestras elaboradas con leche desnatada e inulina. Identificación de las muestras en Tabla 1.

Formulación	A tix (Pa/s)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{10} (Pa.s)	G' (Pa)	tan δ
1	3513 ^{de}	14,0 ^d	0,41	3,60 ^d	27,9 ^d	0,69 ^{abc}
2	5623 ^{abcde}	27,8 ^c	0,39	6,75 ^{bc}	73,2 ^c	0,60 ^{abcde}
3	3327 ^e	16,0 ^d	0,40	4,00 ^d	30,5 ^d	0,71 ^{ab}
4	5458 ^{bcd}	27,1 ^c	0,39	6,54 ^{bc}	82,2 ^c	0,48 ^{defg}
5	5067 ^{cde}	31,5 ^{bc}	0,36	7,17 ^{bc}	100,2 ^c	0,43 ^{efgh}
6	8131 ^a	40,9 ^a	0,41	10,54 ^a	200,7 ^a	0,34 ^{gh}
7	7697 ^{ab}	36,1 ^{ab}	0,34	7,93 ^b	111,4 ^c	0,43 ^{efgh}
8	6190 ^{abc}	42,5 ^a	0,39	10,24 ^a	198,0 ^{ab}	0,31 ^h
9	5869 ^{abcd}	27,5 ^c	0,39	6,78 ^{bc}	104,2 ^c	0,46 ^{defgh}
10	3166 ^e	14,5 ^d	0,39	3,53 ^d	23,0 ^d	0,57 ^{bcd}
11	6935 ^{abc}	44,0 ^a	0,39	10,29 ^a	158,3 ^b	0,34 ^{gh}
12	6749 ^{abc}	30,4 ^{bc}	0,37	7,12 ^{bc}	86,5 ^c	0,50 ^{def}
13	5612 ^{bcd}	25,5 ^c	0,38	6,16 ^c	92,0 ^c	0,47 ^{defg}
14	3174 ^e	12,7 ^d	0,44	3,51 ^d	25,2 ^d	0,74 ^a
15	6107 ^{abc}	43,2 ^a	0,36	9,81 ^a	178,5 ^{ab}	0,37 ^{fgh}
16	4699 ^{cde}	25,3 ^c	0,39	6,19 ^c	80,1 ^c	0,50 ^{defg}
17	4825 ^{cde}	25,0 ^c	0,40	6,27 ^c	81,8 ^c	0,52 ^{def}
18	6457 ^{abc}	28,2 ^{bc}	0,37	6,58 ^{bc}	79,2 ^c	0,53 ^{cde}
19	4449 ^{cde}	24,2 ^c	0,38	5,80 ^c	92,4 ^c	0,49 ^{defg}

*Las letras junto a cada valor indican las diferencias significativas entre medias, de forma que para cada parámetro los valores que no comparten letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El análisis de la varianza indicó que la tixotropía, la consistencia y viscosidad del flujo variaron significativamente dependiendo de la composición, mientras que los cambios en la pseudoplasticidad no fueron significativos (Tabla 4). De acuerdo al modelo obtenido mediante el análisis de regresión lineal, las diferencias en el comportamiento del flujo se explican tanto por la variación en la concentración de azúcar como en la de inulina (Tabla 5). El área tixotrópica aumentó de forma lineal con las concentraciones de azúcar e inulina, mientras que el índice de consistencia y la viscosidad aparente lo hicieron de forma cuadrática con ambos ingredientes.

TABLA 4. Análisis de varianza de 1 factor (muestra) de los parámetros reológicos de muestras con leche desnatada e inulina.

	Flujo				Viscoelasticidad	
	Atix	k	n	η_{10}	G'	tan δ
F	3,0	12,9	1,3	18,4	15,9	5,4
p	0,011	<0,001	0,267	<0,001	<0,001	<0,001

En cuanto al comportamiento viscoelástico, las muestras presentaron diferencias significativas en los valores de G' y de la tan δ a 1Hz (Tabla 4). De acuerdo al modelo obtenido del análisis de regresión múltiple (Tabla 5), G' se vio afectada principalmente por la concentración de inulina aunque el término de interacción indicó que este efecto de la inulina dependió de la concentración de azúcar. Así, la elasticidad de las muestras aumentó con la concentración de inulina de forma cuadrática y este incremento fue mayor para las muestras con mayor concentración de azúcar. En cuanto a la tan δ , los valores disminuyeron linealmente con la concentración de azúcar e inulina.

TABLA 5. Modelos de regresión de los parámetros reológicos en función de la composición: Azúcar (X_1), Aroma a limón (X_2) e Inulina (X_3)

Parámetro	Modelo	R ² (%)
<i>Flujo</i>		
Atix	$233,62 X_1 + 520,19 X_3$	95,3
k	$0,624 + 0,103 X_1^2 + 0,435 X_3^2$	86,3
η_{10}	$0,429 + 0,026 X_1^2 + 0,095 X_3^2$	90,0
<i>Viscoelasticidad</i>		
G'	$-50,30 + 0,89 X_3^2 + 1,88 X_1 X_3$	89,9
tan δ	$1,125 - 0,020 X_1 - 0,071 X_3$	73,5

De acuerdo a los resultados reológicos, la adición de la mezcla de inulina de cadena corta y cadena larga fue capaz de modificar las propiedades reológicas de este tipo de sistemas, de forma que actuó como espesante de

las muestras. Aunque el azúcar también afectó a las propiedades reológicas del sistema, su efecto fue distinto al presentado por la inulina. Mientras que el azúcar incrementó principalmente la consistencia de las muestras, la inulina afectó tanto a la consistencia como a la elasticidad. Estas diferencias se pueden explicar en base a la naturaleza de las modificaciones que producen estos ingredientes en la estructura de la fase continua del sistema. El azúcar se disuelve en la fase continua reteniendo parte del agua, por lo que, al haber menos agua libre la viscosidad del sistema es mayor. La inulina en cambio, cristaliza y forma agregados (Torres et al., 2010) de forma que, además de retener agua, crea una nueva estructura dentro de la fase continua que es responsable del incremento de la respuesta elástica del sistema. Estas diferencias en la estructura se pueden observar en las microfotografías obtenidas en las muestras elaboradas con y sin inulina (Figura 2). En ambos casos se observan los gránulos de almidón gelatinizados y en la muestra con inulina se observan además los agregados de cristales de inulina dispersos en la fase continua.

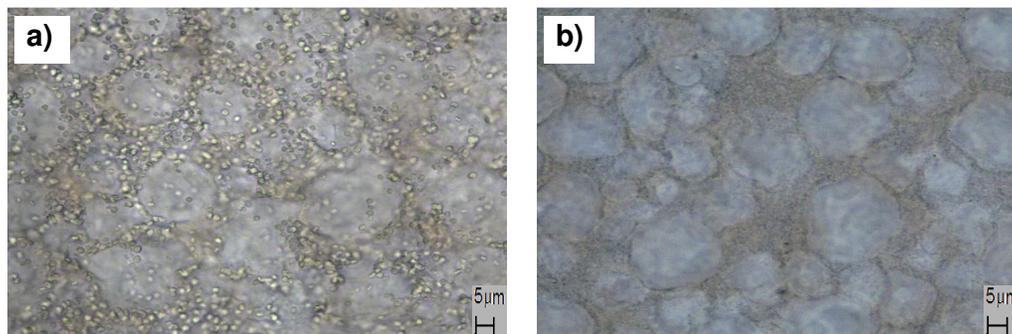


FIGURA 2. Ejemplos de microfotografías (20x) de muestras elaboradas con un 7,5% de inulina (a) y sin inulina (b).

Finalmente, con respecto al aroma, cabe indicar que aunque en algún caso se han descrito variaciones en las propiedades reológicas de alimentos debidas a componentes del aroma (Lubbers et al., 2004), en este estudio la concentración de aroma no afectó a ninguno de los parámetros reológicos estudiados.

Optimización de la aceptabilidad

OPTIMIZACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DE UN POSTRE LÁCTEO CON INULINA Y BAJO CONTENIDO EN GRASA

Los resultados del análisis de la varianza indicaron que el grado de aceptabilidad de las muestras fue significativamente diferente dependiendo

de la formulación de las muestras ($F=6,2$; $p<0,001$). Los valores de aceptabilidad variaron desde 5,0 para la formulación 10 hasta 6,6 para la formulación 19 (Figura 3).

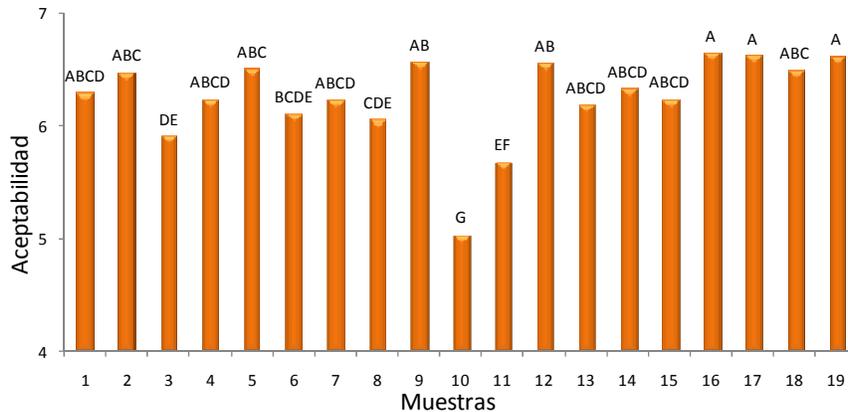


FIGURA 3. Valores medios de la aceptabilidad de las muestras con leche desnatada e inulina. Las letras en cada barra indican las diferencias entre medias, de forma que, muestras que no comparten letra presentaron diferencias significativas en aceptabilidad.

Para establecer la relación entre la composición y la aceptabilidad de las muestras, los datos se ajustaron con un análisis de regresión múltiple, al modelo propuesto por el MSR para tres variables (azúcar, aroma e inulina). En la Tabla 6 se presentan los valores de los coeficientes correspondientes para el modelo que mejor se ajustó. La ecuación que representa la relación entre la aceptabilidad y la composición es la siguiente:

$$\text{Aceptabilidad} = 0,391 + 0,865Az + 0,630In - 9,06 \cdot 10^{-6} Ar^2 - 0,033Az^2 - 0,028In^2 - 0,031AzIn$$

$$R^2 = 88,8$$

Az = Azúcar en %

In = Inulina en %

Ar = Aroma a limón en ppm

Las concentraciones de aroma, azúcar e inulina afectaron significativamente a la aceptabilidad del producto, siendo la concentración de azúcar y la de inulina los factores que más influyeron. Para ambos ingredientes los términos lineales con coeficiente positivo y los términos cuadráticos con coeficiente negativo fueron significativos (Tabla 6). Ello indica que la aceptabilidad de las muestras aumentó con la concentración de inulina y de azúcar hasta cierta concentración a partir de la cual, al incrementar la concentración disminuía la aceptabilidad. Además, la interacción entre los efectos de los dos ingredientes fue significativa y con un coeficiente con signo negativo, lo que indicó que el efecto de la inulina en la

aceptabilidad dependió de la concentración de azúcar considerada y viceversa. En cuanto a la concentración de aroma, sólo el término cuadrático fue significativo y con un coeficiente negativo, indicando que la aceptabilidad de las muestras disminuyó al aumentar la concentración de aroma a limón para el intervalo de concentraciones estudiado.

TABLA 6. Coeficientes estimados del modelo de regresión obtenido para la aceptabilidad de las muestras con leche desnatada en función de la concentración de azúcar (1), aroma a limón (2) e inulina (3).

Coeficiente	Valor estimado	Error estándar	<i>p</i>
B ₀	0,391	0,831	<0,001
<i>Lineal</i>			
B ₁	0,865	0,086	<0,001
B ₃	0,630	0,175	0,004
<i>Cuadrático</i>			
B ₁₁	-0,033	0,003	<0,001
B ₂₂	-9,06*10 ⁻⁶	2,56*10 ⁻⁶	0,004
B ₃₃	-0,028	0,012	0,036
<i>Interacción</i>			
B ₁₃	-0,031	0,010	0,012

Para determinar el intervalo de las concentraciones óptimas de cada ingrediente, se utilizaron los gráficos de contorno en los que se representó la variación de la aceptabilidad con dos de las variables, fijándose el nivel de la tercera. Se decidió determinar el intervalo óptimo para el aroma a limón en primer lugar, ya que el efecto de éste no presentó interacción con los efectos del azúcar y la inulina. Para ello, se utilizó la representación del gráfico de contorno de variación de aroma y de azúcar (Figura 4a) y de aroma y de inulina (Figura 4b). Según ambos gráficos la máxima aceptabilidad se obtiene para concentraciones de aroma a limón entre 25 y 110 ppm.

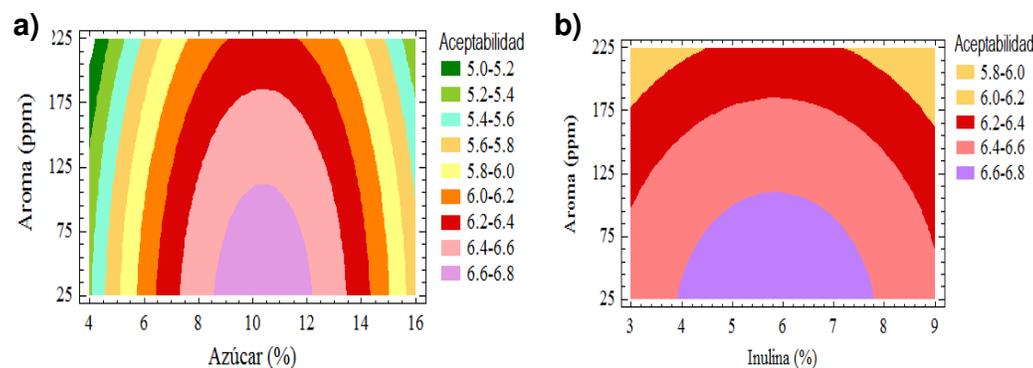


FIGURA 4. Gráfico de contornos. Variación de la aceptabilidad en función de la concentración de aroma y azúcar (inulina = 6%) (a) y en función de la concentración de aroma e inulina (azúcar = 10%) (b).

Identificado el intervalo de concentraciones de aroma para el cual la aceptabilidad es máxima, los efectos de la variación de la concentración de inulina y azúcar se estudiaron en el gráfico de contornos para una concentración de aroma de 75 ppm (Figura 5). Según dicho gráfico, el intervalo de azúcar para el cual la aceptabilidad es máxima está entre 9 y 12% y para la inulina este intervalo queda comprendido entre 4 y 7,5%.

Considerando todos los intervalos de concentraciones para los cuales la aceptabilidad es máxima, se seleccionó la formulación con una concentración de 10% de azúcar, 60 ppm de aroma y 5,5% de inulina para representar el óptimo de aceptabilidad.

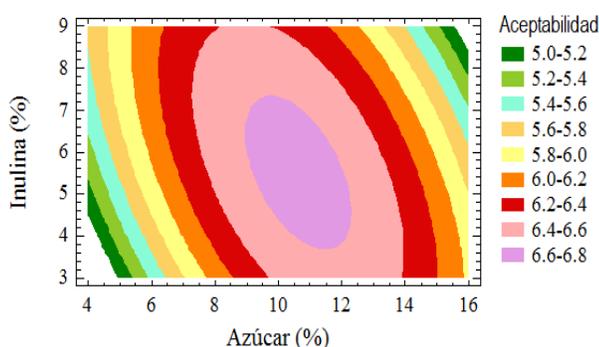


FIGURA 5. Gráfico de contornos. Variación de la aceptabilidad en función de la concentración de azúcar e inulina (aroma=75 ppm).

Además de la determinación de una formulación óptima dada por el punto central del intervalo, cabe destacar la utilidad práctica de la información que proporciona el modelo. El conocimiento de los intervalos y las interacciones permite el desarrollo de diferentes formulaciones que mantengan una aceptabilidad óptima y que respondan a los distintos intereses que pueda tener el desarrollo de un nuevo producto (nutricional o económico).

OPTIMIZACIÓN DE LA MUESTRA DE REFERENCIA CON EL CONTENIDO EN GRASA HABITUAL

En el caso del postre lácteo elaborado con leche entera, también el grado de aceptabilidad fue significativamente diferente dependiendo de la formulación ($F=12,2$; $p<0,001$) y varió desde valores de 4,4 para la muestra 5, hasta 7 para los puntos centrales del diseño (Figura 6).

Para estudiar la relación entre la composición y la aceptabilidad, los datos se ajustaron al modelo propuesto según el MSR para dos variables de composición. En la Tabla 7 se presentan los valores de los coeficientes correspondientes para el modelo que mejor se ajustó. La ecuación que

representa la relación entre la aceptabilidad y las concentraciones de azúcar y aroma fue la siguiente:

$$\text{Aceptabilidad} = 0,088 + 0,015\text{Ar} + 1,056\text{Az} - 0,046\text{Az}^2 - 4,96 \cdot 10^{-5}\text{Ar}^2$$

$$R^2 = 88,7$$

Az = Azúcar en %

Ar = Aroma a limón en ppm

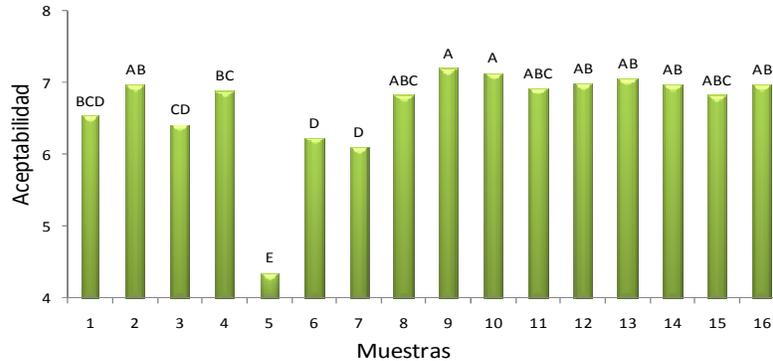


FIGURA 6. Valores medios de la aceptabilidad de las muestras con leche entera. Muestras que no comparten letra presentan diferencias significativas en aceptabilidad.

TABLA 7. Coeficientes estimados del modelo de regresión obtenido para la aceptabilidad de las muestras con leche entera en función de la concentración de azúcar (1) y aroma a limón (2).

Coeficiente	Valores estimados	Error estándar	p
B_0	0,088	0,638	<0,001
<i>Lineal</i>			
B_1	0,015	0,005	0,011
B_2	1,056	0,103	<0,001
<i>Cuadrático</i>			
B_{11}	$-4,96 \cdot 10^{-5}$	$1,81 \cdot 10^{-5}$	0,019
B_{22}	-0,046	0,005	<0,001

Tanto la concentración de aroma como la de azúcar afectaron a la aceptabilidad del producto. Para ambos ingredientes el modelo presentó como significativos los términos lineales, con coeficiente positivo y los términos cuadráticos, con coeficiente negativo. Esto indicó que la aceptabilidad de las muestras aumentaba con la concentración de aroma y la de azúcar hasta cierta concentración, a partir de la cual, los incrementos producían una disminución de la aceptabilidad. La representación gráfica de estos efectos se puede observar en la Figura 7a. Utilizando el gráfico de contornos del modelo obtenido (Figura 7b) se determinó, para cada

ingrediente, el intervalo de concentraciones para el cual la aceptabilidad era máxima. Para el azúcar este intervalo comprendió concentraciones entre 10,2 y 12,5% y para el aroma entre 112 y 180 ppm. La formulación con una concentración de 11,4% de azúcar y 146 ppm de aroma fue seleccionada para representar el óptimo de aceptabilidad.

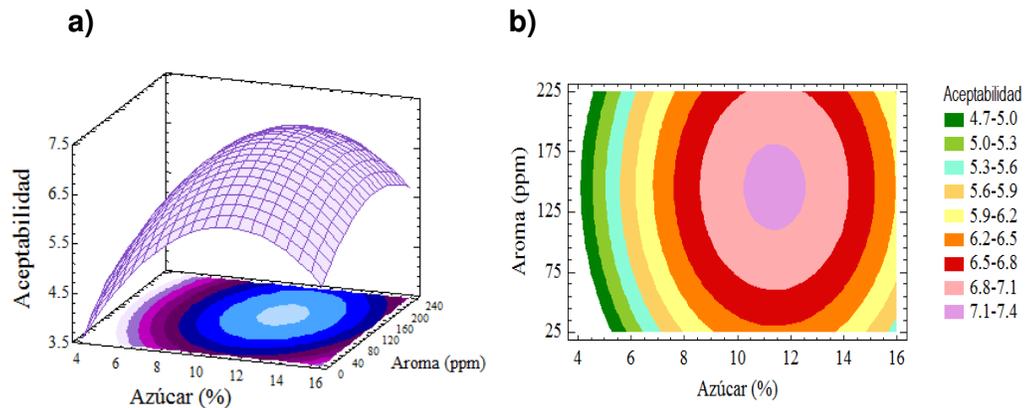


FIGURA 7. Variación de la aceptabilidad de las muestras con leche entera en función de la concentración de azúcar (%) y de aroma (ppm). Gráfico de superficie (a). Gráfico de contornos (b).

COMPARACIÓN DEL PRODUCTO CON INULINA Y BAJO CONTENIDO EN GRASA (<0,1%) CON EL PRODUCTO DE REFERENCIA (2,8% GRASA)

Se analizaron comparativamente las diferencias en la aceptabilidad y en la intensidad percibida en el dulzor, aroma a limón, consistencia y cremosidad entre las muestras previamente seleccionadas, elaboradas con leche entera y con leche desnatada e inulina (Figura 8).

La diferencia en preferencia entre las dos muestras no fue significativa, sin embargo, los catadores sí percibieron diferencias en la intensidad de algunos de los atributos. El sabor a limón, la consistencia y la cremosidad fueron significativamente mayores en la muestra con leche desnatada e inulina. Con respecto al dulzor, a pesar de que la muestra con inulina contenía menor cantidad de azúcar, no se detectaron diferencias, e incluso la tendencia fue que ésta muestra fuese percibida como más dulce.

Finalmente, resulta interesante observar el efecto de la grasa en la percepción de los compuestos responsables del aroma, ya que, a pesar de que la muestra desnatada contenía aproximadamente la mitad de la concentración de aroma que la muestra con leche entera, esta última se percibió con menor intensidad de sabor a limón.

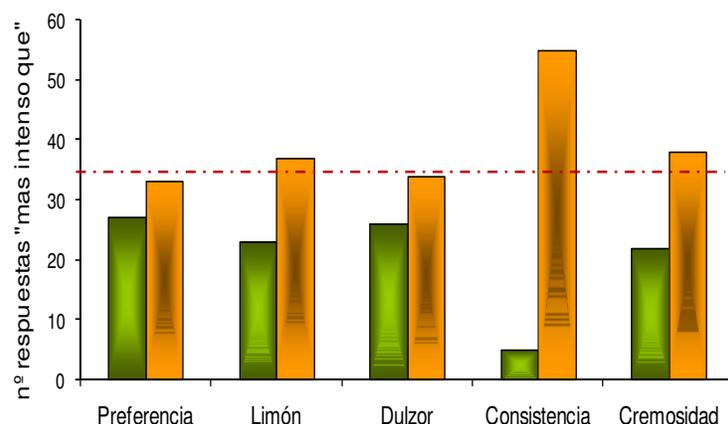


FIGURA 8. Comparación de las características sensoriales del producto bajo en grasa y con inulina adicionada (■) respecto a la muestra referencia con leche entera (■). La línea (---) indica el número mínimo de respuestas para que la diferencia sea significativa.

CONCLUSIONES

La adición de la mezcla de inulinas de cadena larga y corta a los postres lácteos bajos en grasa, modifica el flujo y la viscoelasticidad, aunque el efecto depende no solo de la concentración de inulina añadida, sino también de la concentración de azúcar.

Se ha establecido la relación entre la aceptabilidad de postres lácteos con inulina y su composición. El modelo obtenido permite predecir la aceptabilidad en función de la concentración de inulina, de aroma y de azúcar. Esta información, posibilita además, el diseño y elección de distintas formulaciones que respondan al compromiso entre la aceptabilidad y beneficios nutricionales o económicos.

La formulación de postre lácteo prebiótico y con bajo contenido en grasa seleccionada, presenta además un 12% menos de azúcar y un 59% menos del aroma que la formulación con leche entera, sin que disminuya su aceptabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Laboratorio Tecnológico del Uruguay por el apoyo brindado a la autora Patricia Arcia Cabrera y al MICINN (España) por la subvención al proyecto AGL2007-63444.

REFERENCIAS

- Acquarone, V. M., Rao, M. A. 2003. Influence of sucrose on the rheology and granule size of cross-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 51, 451-458.
- Coussement, P. A. 1999. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. *American Society for Nutritional Sciences*, 1412S-1417S.
- EUR 1859. 2000. Scientific concepts of functional food in Europe. Project Report. Vol. 3- Dg Research-RTD actions: life sciences and Technologies. Bruselas. Bélgica.
- Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchvkky, 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.
- Gacula, M. 1993. Design and analysis of sensory optimization. Trumbull: Food and Nutrition Press.
- González-Tomás, L., Bayarri, S., Costell, E. 2009. Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects *Journal of Dairy Science*, 92 (9), pp. 4188-4199.
- Kaur, N., Gupta, A. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Biosciences*, 27, 703-714.
- Krüger, A., Ferrero, C., Zaritzky, N. E. 2003. Modelling corn starch swelling in batch systems: effect of sucrose and hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*, 58, 125-133.
- Liu, H., Eskin, N. A. M., Cui, S. W. 2003. Interactions of wheat and rice starches with yellow mustard mucilage. *Food Hydrocolloids*, 17, 863-869.
- Lubbers, S., Decourcelle, N. 2004. Influence of Aroma Compounds on the Mechanical Properties of Pectin Gels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 (5), 3077–3082.
- MacFie, H. J., Bratchell, N., Greenhoff, K., Vallis, L. V. 1989. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry over effects in Hall Tests. *Journal of Sensory Studies*, 4, 129-148.
- Matser, A. M., Steeneken, P. A. M. 1997. Rheological properties of highly cross-linked waxy maize starch in aqueous suspensions of skim milk components. Effects of the concentration of starch and skim milk components. *Carbohydrate Polymers*, 32, 297-305.
- Menrad, K. 2003. Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56, 181-188.
- Milo, L. 2004. Nutraceuticals and functional foods. *Food Technology*, 58, 8111-8118.
- Nguyen, Q. D., Jensen, C. T. B., Kristensen P. G. 1998. Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes. *Chemical Engineering Journal*, 70, 165-171.
- Roberfroid, M., Slavin, J. 2000. Nondigestible oligosaccharides. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 461-480.
- Roberfroid, M., Van Loo, J., Gibson, G. 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128, 11-19.
- Sloan, A. E. 2004. The top 10 functional food trends. *Food Technology*, 54, 33-62.
- Sloan, A. E. 2006. The top 10 functional food trends. *Food Technology*, 60, 22-40.
- Sikora, M., Mazurkiewicz, J., Tomasik, P., Pielichowski, K., 1999. Rheological properties of some starch–water–sugar systems. *International Journal of Food Science and Technology*, 34, 371–383.
- Tecante, A., Doublier, J. L. 1999. Steady flow and viscoelastic behavior of crosslinked waxy cornstarch-k-carrageenan pastes and gels. *Carbohydrate Polymers*, 40, 221-231.

- Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Doublier, J. L. 1998. Rheology of starch pastes from starches of different origins: Applications to starch-based sauces. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31, 354-360.
- Tárrega, A., Rocafull, A., Costell, E. 2010. Effect of blends of short and long-chain inulin on the rheological and sensory properties of prebiotic low-fat custards. *LWT - Food Science and Technology*, 43 (3), pp. 556-562.
- Torres, J.D., Tárrega, A., Costell, E. 2010. Storage stability of starch-based dairy desserts containing long-chain inulin: Rheology and particle size distribution. *International Dairy Journal*, 20 (1), pp. 46-52.
- Tungland, B., Meyer, D. 2002. Non-digestible Oligosaccharides (Dietary Fibre): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3, 73-92.
- UNE 87004, 1979. Análisis sensorial. Guía para la instalación de una sala de cata. Madrid: AENOR. Ministerio de Industria y Energía.
- UNE 87005, 1992. Análisis sensorial. Prueba de comparación por parejas. Madrid: AENOR. Ministerio de Industria y Energía.