

Caracterización reológica de postres de chocolate a base de proteínas de lactosuero y almidón modificado

Miccolo M.E.¹; Olivares M.L.¹ y Rubiolo A.C.^{1,2}

¹Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - UNL-CONICET. Santa Fe, Argentina.

²Instituto de Tecnología de Alimentos - UNL. Santa Fe, Argentina



Resumen

El objetivo de este trabajo fue emplear proteínas de suero para la producción de postres y comparar sus propiedades reológicas con aquellas de un postre lácteo. Los postres fueron preparados con concentrado de proteínas de suero, almidón de maíz modificado, sacarosa o sucralosa, cacao, saborizante chocolate y agua. Se prepararon tres formulaciones, 5 y 9, 6 y 8, 2 y 12% p/p, de proteínas y almidón, respectivamente. El contenido de sacarosa y sucralosa permaneció constante, 10% y 0,0243% p/p, respectivamente. Las muestras se compararon con un postre comercial bajo en calorías. Todas las muestras exhibieron un comportamiento pseudoplástico a 20°C, las curvas de flujo ajustaron bien al modelo de Carreau. Los espectros mecánicos demostraron propiedades elásticas predominante ($G' > G''$), con características de geles débiles. La dependencia del módulo complejo con la frecuencia se ajustó al modelo de geles débiles para alimentos. La fuerza y el grado de interacción se incrementaron con el contenido de almidón, mientras el agregado de endulzantes y cacao demostró efectos diferentes. Las muestras con mayor contenido en proteínas demostraron menor sinéresis. La adición de azúcares y cacao produjo un incremento en este fenómeno. Por lo tanto, el uso de proteínas de suero es factible en postres lácteos.

Palabras clave: postres lácteos, proteínas de suero, reología.

Introducción

El consumidor se ha vuelto más exigente en sus preferencias por alimentos saludables, tales como aquellos bajos en calorías y con buenas propiedades nutricionales con el fin de reducir los riesgos de contraer ciertas enfermedades. Por otra parte a nivel industrial, debido a la necesidad de reutilizar coproductos con el propósito de mitigar sus efectos sobre el medio ambiente, surge el interés de explorar las propiedades tecnológicas de los mismos, lo que deriva en potenciales aplicaciones en alimentos formulados. Por lo tanto, en vistas al uso de nuevos ingredientes en remplazo de otros, los concentrados de proteínas de suero resultan interesantes como ingredientes en postres lácteos, productos consumidos por un amplio grupo etario, desde infantes hasta ancianos.

Los postres lácteos son alimentos semisólidos, que se elaboran a partir de azúcares, almidones nativos y/o modificados, hidrocoloides, leche entera y/o descremada, saborizantes y colorantes. La textura final en la mayoría de los postres lácteos resulta de la interacción entre las caseínas de la leche con los hidrocoloides, mientras que el almidón imparte viscosidad. Su textura se puede describir como suave, cremosa a gelificada y firme. Las propiedades reológicas y sensoriales de estos productos son fuertemente influenciadas por las características particulares de algunos ingredientes, y sus interacciones cruzadas (Tárrega y Costell, 2006). La textura constituye un importante parámetro de calidad en alimentos formulados que contienen agentes estructurantes tales como proteínas y polisacáridos. Los postres lácteos semisólidos muestran un comportamiento de flujo dependiente del tiempo y características pseudo-plásticas, como así también propiedades viscoelásticas típicas de geles débiles (Mleko y Gustaw, 2002; Tárrega y Costell, 2006).

Existen muchos trabajos de investigación enfocados en el uso de las proteínas de suero. El interés por estas proteínas radica en sus propiedades tecnológicas, funcionales y nutricionales. Las proteínas de suero se componen principalmente de β -lactoglobulina y α -lactalbúmina, entre otras. Son proteínas globulares com-

compactas, con una secuencia de distribución relativamente uniforme de residuos polares, no polares y cargados. Estas proteínas experimentan plegamiento intramolecular como resultado de la formación de enlaces disulfuros entre los residuos de cisteína, los cuales ocultan la mayoría de los residuos hidrofóbicos en el interior de la molécula. Por esta razón, las proteínas de suero en estado nativo no se agregan fuertemente o interactúan con otras proteínas. Las proteínas de suero constituyen cerca del 20% del total de las proteínas de la leche pero son de mayor valor nutricional intrínseco, debido a la relativamente elevada abundancia de aminoácidos esenciales y no esenciales, particularmente aminoácidos sulfurados. Las proteínas de suero han demostrado mejorar la pérdida de grasa, la síntesis proteica y la respuesta inmune humoral en adultos. Los aminoácidos ramificados de las proteínas de suero estimulan la síntesis de glutaminas, lo cual controla las defensas antioxidantes y la función inmune (Chandan y Kilara, 2011). Las propiedades funcionales de las proteínas de suero están relacionadas fundamentalmente a sus propiedades físicas, químicas, estructurales y conformacionales. Estas propiedades funcionales son alteradas por factores tales como las condiciones de procesamiento, factores ambientales e interacciones con otros componentes de los alimentos. En la gelificación existe una interacción proteína-proteína, lo que produce una matriz firme. Los geles formados por proteínas de suero son capaces de mantener el agua, lípidos y otros componentes, generando a su vez propiedades texturales muy importantes que influyen en la aceptabilidad del consumidor (Jovanovic *et al.* 2005).

La mayoría de los trabajos de investigación se basan en el estudio de soluciones de aislados de proteínas de suero (WPI) (>90% de proteínas), los que han demostrado buenas propiedades de gelificación, emulsificación, espumado y buena capacidad de retención de agua bajo condiciones específicas de temperatura, pH, fuerza iónica y concentración (Bryant y McClements, 1998). Se las ha estudiado solas o en mezclas con distintos tipos de almidones, (Aguilera y Rojas, 1996; Shim y Mulvaney, 2001; Ravindra *et al.*, 2004) y polisacáridos (Bryant y McClements, 2000; Beaulieu *et al.*, 2001; Turgeon y Beaulieu, 2001; Mleko y Gustaw, 2002; Tavares y Lopes da Silva, 2003; Li *et al.*, 2006; van de Berg *et al.*, 2009).

Pocos estudios se han realizado con concentrados de proteínas de suero (WPC), éstos se presentan en concentraciones desde un 25% a un 80%. Las propiedades de gelificación del WPI son superiores a las del WPC, debido a un mayor contenido en β -lactoglobulina, menor contenido en grasa, lactosa y fosfolípidos (Lorenzen y Schrader, 2006). Se los utiliza como sustitutos de grasas junto con gomas, celulosa en gel, celulosa microcristalina, maltodextrinas, caseinato de sodio, como así también proveen cuerpo y textura a los productos (Chandan y Kilara, 2011).



COTNYL S.A.
COMPROMISO CON LA CALIDAD



El especialista en termoformado



Servicio gratuito para Argentina:
0-800-555-0175

Calle 97 N869 (B1650IAA)

Gral. San Martín - Buenos Aires - Argentina

Tel.: (54 11) 4754-4446

info@cotnyl.com - www.cotnyl.com

Tabla 1 - Composición de las muestras para postres

| Muestra | Proteínas de Suero (% p/p) | Almidón (%p/p) | Sacarosa (% p/p) | Sucralosa (% p/p)* | Cacao (% p/p) | Saborizante (% p/p) | Agua (% p/p) |
|------------|----------------------------|----------------|------------------|--------------------|---------------|---------------------|--------------|
| P5A9 | 5 | 9 | -- | -- | -- | -- | 84,6 |
| P5A9-S | 5 | 9 | 10 | -- | -- | -- | 74,6 |
| P5A9-SI | 5 | 9 | -- | 0,024 | -- | -- | 84,6 |
| P5A9-S-C | 5 | 9 | 10 | -- | 2 | 0,20 | 72,6 |
| P5A9-SI-C | 5 | 9 | -- | 0,024 | 2 | 0,20 | 82,4 |
| P6A8 | 6 | 8 | -- | -- | -- | -- | 84,3 |
| P6A8-S | 6 | 8 | 10 | -- | -- | -- | 74,3 |
| P6A8-SI | 6 | 8 | -- | 0,024 | -- | -- | 84,3 |
| P6A8-S-C | 6 | 8 | 10 | -- | 2 | 0,20 | 72,3 |
| P6A8-SI-C | 6 | 8 | -- | 0,024 | 2 | 0,20 | 82,1 |
| P2A12 | 2 | 12 | -- | -- | -- | -- | 85,4 |
| P2A12-S | 2 | 12 | 10 | -- | -- | -- | 75,4 |
| P2A12-SI | 2 | 12 | -- | 0,024 | -- | -- | 85,4 |
| P2A12-S-C | 2 | 12 | 10 | -- | 2 | 0,20 | 73,4 |
| P2A12-SI-C | 2 | 12 | -- | 0,024 | 2 | 0,20 | 83,2 |

(*) Corresponde al equivalente en poder endulzante al 10% p/p de sacarosa

Los geles obtenidos con WPC incluyen varias interacciones hidrofóbicas, electrostáticas, disulfuros y puente de hidrógeno. Los WPC tienen distinta capacidad de gelificación. Generalmente, gelifican a 60-90°C en concentraciones de 80-120 g/L. El mecanismo de gelificación está influenciado por la temperatura y tiempo de calentamiento, pH, fuerza iónica, concentraciones de sal, proteínas, azúcares y lípidos (Jovanovic *et al.*, 2005).

El almidón de maíz modificado es un polisacárido ampliamente utilizado como agente generador de textura. Bajos niveles de almidón generan estructuras menos gelificadas, mientras que altos niveles producen estructuras más firmes. Los almidones modificados por hidrólisis ácida derivan de la reacción con ácido clorhídrico o sulfúrico, éste mejora las propiedades de mouth-feel (Chandan y Kilara, 2011).

El objetivo de este estudio fue evaluar el reemplazo total de las proteínas de leche en postres lácteos por concentrados de proteínas de suero mediante una caracterización reológica y la capacidad de retención de agua (sinéresis). Las formulaciones se elaboraron con un concentrado de proteínas de suero, almidón de maíz modificado, endulzantes (sacarosa o sucralosa), cacao, saborizante a chocolate y agua.

Materiales y métodos

Preparación de muestras

Para la formulación de las mezclas estudiadas se utilizó un WPC con el nombre comercial Lacprodan®-80 (Arla Food Ingredients S.A., Buenos Aires, Argentina). La composición del WPC provista por el proveedor es $78 \pm 2\%$ p/p de proteínas, $7 \pm 2\%$ p/p de lactosa, 8% p/p de

grasa, 3,5% p/p de cenizas y 5,5% p/p de humedad. Asimismo, se utilizó almidón de maíz modificado por hidrólisis ácida (Glucovil Argentina S.A., San Luis, Argentina), sacarosa (Ledesma, Jujuy, Argentina), sucralosa (Glutal S.A., Santa Fe, Argentina) y cacao (El Quillá, Santa Fe, Argentina), saborizante chocolate. Los ingredientes secos se pesaron y se disolvieron en la cantidad de agua destilada suficiente para alcanzar la concentración deseada. Las suspensiones resultantes fueron mantenidas en agitación magnética durante dos horas a temperatura ambiente. A continuación, estas suspensiones fueron tratadas térmicamente a 80°C durante 30 minutos bajo agitación constante. La agitación fue provista por un equipo RW 20n (Ika Labortechnik, Brasilia, Brasil) a una velocidad angular de 60 rev/min. A este agitador se le adaptó un impulsor helicoidal construido específicamente para asegurar una distribución uniforme de la temperatura en toda la masa de la suspensión. Finalizado el tratamiento térmico, las muestras fueron llevadas a una temperatura de 25°C en un baño termostático con agitación durante unos 30 minutos y se refrigeraron toda una noche a 4°C. El comportamiento reológico de las mezclas formuladas se comparó con el de un postre comercial semisólido dietético, sabor chocolate, adquirido en un comercio local, el cual se tomó como referencia en este estudio. Este producto comercial presenta en su composición 4,2% p/p de proteínas, 16% p/p de almidón modificado, 8% p/p de sacarosa y 0% p/p de grasa. Todas las muestras se prepararon por duplicado. Las muestras preparadas se muestran codificadas en la tabla 1.

Reometría

Los ensayos se realizaron en un reómetro Haake RheoStress RS80 (Haake Instruments Inc., Paramus, NJ, U.S.A.) con geometría cono-plato de 60 mm de diámetro y 2° de ángulo del cono. Se realizaron curvas de fluidez desde 1 y hasta 1000s⁻¹ a 20°C. A partir de estas curvas se obtuvo la viscosidad aparente a una velocidad de deformación de 50s⁻¹ (η_{50}), definida como la velocidad de deformación generada durante la degustación en la boca (Bourne, 2002). Wood (1968) correlacionó la textura percibida de los hidrocoloides con sus propiedades reológicas de flujo y concluyó que el estímulo asociado con la evaluación oral de la viscosidad fue un esfuerzo de corte desarrollado en la boca a una velocidad de deformación constante de 50s⁻¹, aproximadamente.

Se realizaron barridos de frecuencia de 0,01 a 10 Hz a una amplitud de deformación de 0,005 a 20°C. La región viscoelástica lineal se determinó previamente realizando barridos de deformación de 0,001 a 0,1 a una frecuencia de 10 Hz. Se obtuvieron las dos componentes del módulo complejo (G^*), el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G''). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Caracterización Reológica

Modelo de Carreau. Los datos de la viscosidad aparente η_{ap} en función de la velocidad de deformación se ajustaron con el modelo de Carreau:

$$\eta_{ap} = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{[1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_c)]^m}$$

Donde η_0 es la viscosidad a deformación cero [Pa s], η_{∞} es la viscosidad a deformación infinita [Pa s], $\dot{\gamma}_c$ es la velocidad de deformación al inicio de la región pseudo-plástica [s⁻¹] y m es el parámetro relacionado a la pendiente de la última región.

Modelo de geles débiles. La dependencia del módulo complejo, $|G^*|$ de la frecuencia (ω) se ajustó al modelo de geles débiles para alimentos (Gabriele *et al.*, 2001). Este modelo provee una relación directa entre la microestructura del material y sus propiedades reológicas. De acuerdo a este modelo, el módulo complejo queda expresado como:

$$|G^*| = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} = A_F \omega^{1/z}$$

Donde z es el factor de interacción, número de unidades de flujo que interactúan unas con otras para dar la respuesta al flujo observada, y A_F es la fuerza de las interacciones entre las unidades de flujo del gel.



Gral. Fructoso Rivera 2964 - CABA (1437) Buenos Aires - Argentina
Tel./Fax: 4918-9055 - admvtas@fjusto.com.ar - www.fabricajusto.com.ar

FABRICA JUSTO
colorante caramelo

MAS DE 60 AÑOS
DE EXPERIENCIA

Elaboración de Colorante Caramelo Natural

Un moderno laboratorio
con alto nivel de equipamiento

Asesoramiento Técnico Especializado

Un producto para cada necesidad específica

Certificaciones BMP.HACCP y FSSC 22000



Capacidad de retención de agua (sinéresis)

El grado de sinéresis se evaluó mediante un método gravimétrico a partir de la pérdida de peso de la muestra por remoción del agua sobrenadante. Se calculó la pérdida porcentual de agua a los 7 y 14 días de almacenamiento a 4°C. El agua liberada por sinéresis se determinó en términos del agua liberada por acción de la gravedad durante el período de almacenamiento y por centrifugación a 3500 g durante 15 minutos a 20°C después del período de almacenamiento mencionado.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza multifactorial (ANOVA) y cuando los efectos de los factores fueron significativo ($P < 0,05$) se aplicó el test de Fischer LSD de rango múltiple con un nivel de confianza del 95%. El análisis estadístico fue realizado con el programa Statgraphics (Statgraphics Inc., Rockville, MD, U.S.A.).

Resultados y discusión

Caracterización Reológica

A través de las curvas de fluidez se analizó el comportamiento reológico de las muestras sometidas a flujo de corte rotacional. Las mediciones experimentales se

muestran en la figura 1, donde se observa que tanto las mezclas formuladas como el postre comercial presentaron un marcado comportamiento pseudoplástico a 20°C. Este tipo de respuesta es característica en postres formulados con diferentes mezclas de proteínas y polisacáridos (Mleko, 1997; Mleko y Gustaw, 2002; Tárrega y Costell, 2004; Abu-Jdayil, 2003; Tárrega *et al.*, 2005; Tárrega y Costell, 2006). A partir de los valores de η_{50} , que se muestran en la tabla 2 se puede observar que las muestras P5A9 y P6A8 con agregado de sucralosa fueron similares al postre comercial. Todas las formulaciones con 12% p/p de almidón y 2% p/p de proteínas presentaron los valores más elevados de η_{50} . El agregado de almidón aumentó la viscosidad de las formulaciones. Este comportamiento se condiciona con que el almidón se caracteriza por impartir viscosidad a las mezclas.

Los datos de viscosidad aparente versus velocidad de deformación presentaron un buen ajuste con el modelo de Carreau, presentando un error de ajuste máximo de 0,55%. Cuanto mayor es el contenido de almidón, mayor fue la viscosidad presentada a bajas velocidades de deformación (η_0), mientras que el agregado de endulzantes disminuyó este parámetro. El agregado de cacao aumentó η_0 en todas las muestras, debi-

Figura 1 - Curvas de Fluidez para las distintas muestras a 20°C

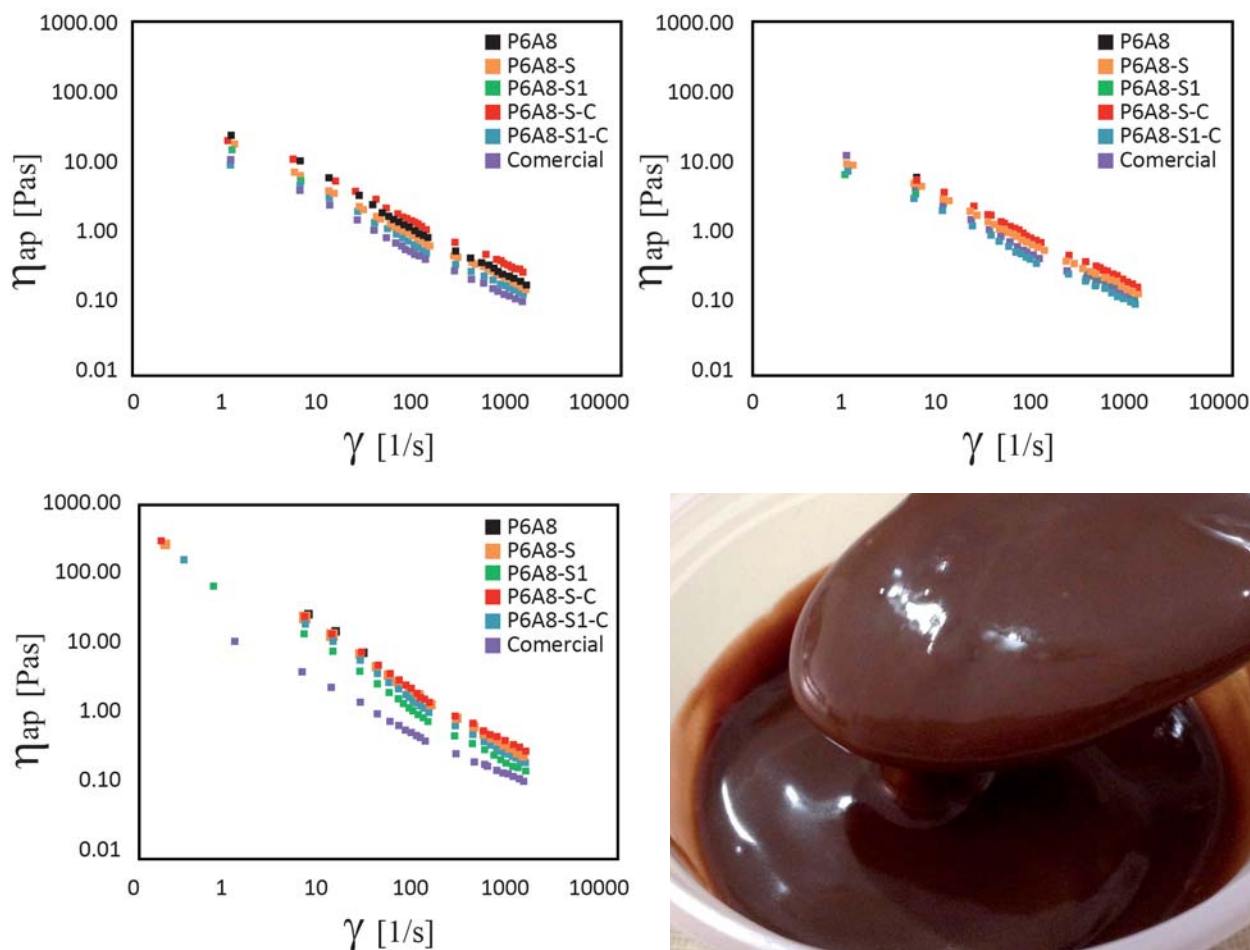


Tabla 2 - Parámetros del modelo de Carreau y la viscosidad aparente a 50s-1 (η_{50}) obtenida teórica y experimentalmente a 20°C.*

| Muestra | Parámetros | | | | η_{50} [Pa s] | |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| | η_0 [Pa s] | η_{∞} [Pa s] | γ_c [s ⁻¹] | m | Teórica | Experimental |
| P5A9 | 24,5905 ^a | 0,0853 ^{ef} | 2,4532 ^l | 0,4520 ^g | 1,6896 | 1,555 ^f |
| P5A9-S | 16,1584 ^a | 0,0797 ^{de} | 1,2929 ^{cde} | 0,3897 ^{def} | 1,0105 | 0,937 ^c |
| P5A9-SI | 13,7800 ^a | 0,0636 ^{bcd} | 1,5805 ^{cdef} | 0,3869 ^{cd} | 1,0102 | 0,725 ^a |
| P5A9-S-C | 17,9772 ^a | 0,0817 ^e | 1,8885 ^{efghi} | 0,3878 ^{cde} | 1,4909 | 1,442 ^f |
| P5A9-SI-C | 9,5970 ^a | 0,0455 ^{ab} | 2,1138 ^{fghi} | 0,3764 ^{bcd} | 0,9277 | 0,927 ^{bc} |
| P6A8 | 15,0163 ^a | 0,0641 ^{bcd} | 2,3557 ^{fghi} | 0,4063 ^f | 1,3118 | 1,075 ^d |
| P6A8-S | 10,7968 ^a | 0,0747 ^{de} | 1,7686 ^{efgh} | 0,3612 ^{ab} | 1,0330 | 1,00 ^{cde} |
| P6A8-SI | 6,95708 ^a | 0,0459 ^{ab} | 2,5361 ^{hi} | 0,3662 ^{abc} | 0,8236 | 0,680 ^a |
| P6A8-S-C | 13,3071 ^a | 0,0557 ^{abc} | 1,6587 ^{def} | 0,3546 ^a | 1,2390 | 1,155 ^e |
| P6A8-SI-C | 8,12066 ^a | 0,0409 ^a | 1,7419 ^{defg} | 0,3550 ^a | 0,7857 | 0,770 ^a |
| P2A12 | 1225,74000 ^c | 0,1162 ^{gh} | 0,2208 ^a | 0,5435 ^l | 3,4937 | 2,742 ⁱ |
| P2A12-S | 295,0300 ^{ab} | 0,1322 ^h | 0,4400 ^{ab} | 0,4781 ^h | 3,3238 | 3,165 ^j |
| P2A12-SI | 74,4854 ^a | 0,0995 ^{fg} | 1,0940 ^{cd} | 0,4846 ^h | 1,9292 | 1,890 ^g |
| P2A12-S-C | 502,3790 ^b | 0,1804 ⁱ | 0,3505 ^{ab} | 0,4825 ^h | 4,3685 | 3,552 ^k |
| P2A12-SI-C | 110,1830 ^a | 0,1169 ^h | 1,0988 ^{cd} | 0,4872 ^h | 2,7831 | 2,222 ^h |
| Comercial | 18,0024 ^a | 0,0686 ^{cde} | 0,9957 ^{bc} | 0,4054 ^{ef} | 0,8175 | 0,802 ^{ab} |

* Los valores promedio con letras diferentes en una columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

do al espesamiento por el agregado de sólidos. Todas las muestras con matriz P5A9 y P6A8 no presentaron diferencia estadísticamente significativa con el postre comercial en este parámetro, y su resistencia al flujo fue menor que las muestras con mayor contenido en almidón. Las muestras con 12% p/p de almidón presentaron una marcada pseudoplasticidad, siendo γ_c el más pequeño de las muestras. El agregado de azúcares y cacao modificó la pendiente de las curvas de flujo, disminuyendo la pseudoplasticidad. A bajas velocidades de deformación, la región newtoniana fue más amplia para las muestras con 8 y 9 % p/p de almidón, es decir que a bajas velocidades de deformación la viscosidad se vuelve dependiente de la velocidad de deformación a valores de γ_c superiores a 1,6587 s⁻¹. Del análisis de los valores de m se puede observar que las muestras con 6% p/p de proteínas son menos pseudoplásticas que el resto. El agregado de endulzantes disminuyó la pseudoplasticidad, pero cuando el contenido de almidón fue elevado este comportamiento se revirtió.

De la figura 2 se puede observar que el comportamiento reológico de las muestras fue similar al del postre comercial. Los espectros mecánicos de todas las formulaciones mostraron propiedades predominantemente elásticas ($G' > G''$), típico de materiales gelificados. Desde el punto de vista estructural, la representación gráfica del $\ln(G', G'')$ en función del $\ln\omega$ para geles verdaderos muestran curvas con pendiente cero, donde G' es mayor a G'' en todo el rango de la frecuencia estudiado. En geles débiles existe una mayor dependencia de la frecuencia para los módulos dinámicos, sugiriendo la existencia de procesos de relajación que ocurren a esca-

las cortas de tiempo, además de una menor diferencia entre los valores de los módulos, lo que indica que se recupera un bajo porcentaje de la energía almacenada (Lopez da Silva y Rao, 1999). Por lo tanto, los espectros mecánicos de todas las muestras denotan estructura de geles débiles.

Consecuentemente, los datos del módulo complejo ($|G^*|$) versus la frecuencia se ajustaron con el modelo de geles débiles para alimentos. A partir de los parámetros del modelo (Tabla 3) se observa que las muestras de matriz P5A9 y P6A8 y el postre comercial no mostraron diferencias significativas estadísticamente en el valor de la fuerza de interacción. Mientras que la fuerza del gel y el grado de las interacciones aumentaron con el contenido de almidón, confiriéndole características más sólidas. El agregado de los endulzantes y cacao mostró efectos diferentes. El agregado de endulzantes disminuyó el número de las interacciones en todas las muestras de matriz P5A9 y P6A8, siendo iguales a las del postre comercial. El postre comercial y la muestra P6A8 presentaron valores de z similares, lo que le confiere características más fluidas. Lo que reafirma lo determinado en los ensayos de fluidez a partir del modelo de Carreau. Los postres con elevado contenido en almidón presentaron un elevado número de interacciones lo que le confiere características más sólidas. El agregado de azúcares en las muestras con 12% de almidón incrementó el carácter elástico.

En cuanto a la capacidad de retención de agua por gravedad (Tabla 4), se observó que las muestras con mayor contenido en proteínas presentaron una menor sinéresis. El agregado de azúcares y cacao produjo un

Tabla 3 - Parámetros del modelo de geles débiles evaluados a 20°C. *

| Muestra | A _F | Z |
|------------|------------------------|------------------------|
| P5A9 | 370,507 ^{ab} | 14,6077 ^{efg} |
| P5A9-S | 181,234 ^{ab} | 7,0757 ^{bc} |
| P5A9-SI | 349,618 ^{ab} | 12,4628 ^e |
| P5A9-S-C | 238,305 ^{ab} | 4,7089 ^a |
| P5A9-SI-C | 430,293 ^{ab} | 9,8818 ^d |
| P6A8 | 640,646 ^{bc} | 8,7341 ^{cd} |
| P6A8-S | 454,789 ^{ab} | 6,0127 ^{ab} |
| P6A8-SI | 85,182 ^a | 7,1719 ^{bc} |
| P6A8-S-C | 130,982 ^a | 7,5710 ^{bcd} |
| P6A8-SI-C | 126,824 ^a | 7,3956 ^{bc} |
| P2A12 | 1029,910 ^c | 13,9008 ^{ef} |
| P2A12-S | 2047,510 ^d | 14,9198 ^g |
| P2A12-SI | 2833,510 ^f | 16,7204 ^g |
| P2A12-S-C | 2634,600 ^{ef} | 14,6758 ^{efg} |
| P2A12-SI-C | 2204,900 ^{de} | 16,3526 ^g |
| Comercial | 94,619 ^a | 8,4658 ^{bcd} |

* Los valores promedio con letras diferentes en una columna indican diferencias significativas (P < 0,05)

aumento de este fenómeno. No obstante, en todos los casos analizados el porcentaje de sinéresis fue menor al 10%. Las muestras P5A9 y P6A8 no presentaron diferencias significativas en lo que se refiere a sinéresis. El agregado de endulzantes aumentó la sinéresis de estas muestras. La sinéresis aumentó en las muestras con mayor contenido en almidón. Aparentemente un mayor contenido de proteínas mejoró la capacidad de retención de agua. No hubo importantes diferencias en la sinéresis respecto al tiempo de almacenamiento a 4°C. Bajo condiciones de centrifugación hubo una mayor liberación de agua, a ambos tiempos de almacenamiento. El tiempo de almacenado no afectó el grado de sinéresis.

Conclusiones

Se concluye que las proteínas de suero proveen características sólidas a los postres. El comportamiento pseudo-plástico de todas las muestras se interpretó satisfactoriamente con el modelo de Carreau. Estos parámetros permiten analizar el comportamiento del material sometido a flujo de corte.

El espectro mecánico de todas las muestras estudiadas denotó estructura de geles débiles. La inter-

Figura 2 - Espectros mecánicos de las distintas muestras a 20°C. Los símbolos llenos corresponden al módulo elástico, G', y los símbolos vacíos corresponden al módulo viscoso, G''

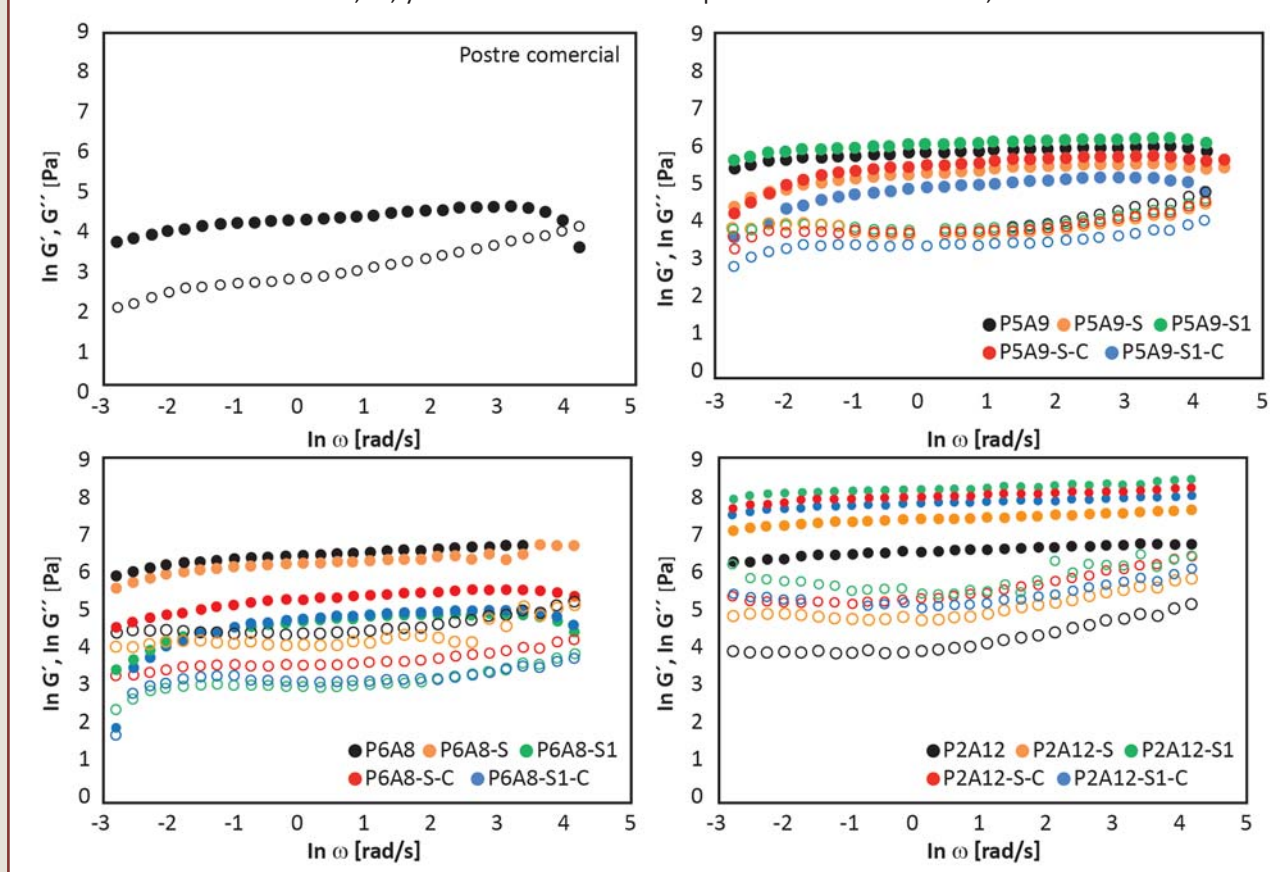


Tabla 4 - Sinéresis a los 7 y 14 días de almacenado a 4°C. *

| Muestra | Agua eliminada (%) por | | | |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Gravedad | | Centrifugación | |
| | 7 días | 14 días | 7 días | 14 días |
| P5A9 | 2,347 ^a | 1,947 ^a | 8,677 ^a | 8,632 ^b |
| P5A9-S | 10,115 ^g | 6,842 ^{ef} | 25,047 ^{de} | 22,840 ^{fg} |
| P5A9-SI | 4,932 ^{bcd} | 2,297 ^{ab} | 20,890 ^{cd} | 15,425 ^{de} |
| P5A9-S-C | 3,675 ^{ab} | 3,632 ^{abc} | 19,660 ^{bcd} | 17,275 ^{de} |
| P5A9-SI-C | 6,130 ^{cde} | 6,367 ^{def} | 26,797 ^{de} | 19,277 ^{ef} |
| P6A8 | 2,207 ^a | 1,795 ^a | 9,912 ^a | 1,795 ^a |
| P6A8-S | 6,700 ^{ef} | 5,820 ^{cdef} | 23,622 ^{de} | 18,782 ^{ef} |
| P6A8-SI | 5,505 ^{cde} | 4,555 ^{bcd} | 22,255 ^d | 24,187 ^g |
| P6A8-S-C | 6,540 ^{def} | 5,847 ^{cdef} | 25,637 ^{de} | 24,255 ^g |
| P6A8-SI-C | 8,162 ^f | 7,052 ^f | 28,954 ^e | 31,775 ^h |
| P2A12 | 5,192 ^{bcd} | 5,042 ^{cdef} | 13,412 ^{ab} | 12,815 ^{bcd} |
| P2A12-S | 4,777 ^{bc} | 4,087 ^{abcd} | 10,405 ^a | 9,780 ^{bc} |
| P2A12-SI | 4,592 ^{bc} | 5,232 ^{cdef} | 10,810 ^a | 14,052 ^{cd} |
| P2A12-S-C | 3,540 ^{ab} | 6,612 ^{ef} | 10,453 ^a | 10,032 ^{bc} |
| P2A12-SI-C | 6,582 ^{def} | 6,620 ^{ef} | 14,550 ^{abc} | 15,195 ^{cd} |

* Los valores promedio con letras diferentes en una columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

pretación de los resultados con el modelo de geles débiles permitió diferenciar la microestructura y la fuerza de interacción entre los componentes.

El mayor contenido de proteínas de suero disminuyó la sinéresis, mientras que el agregado de endulzantes aumentó este defecto.

El comportamiento de las muestras con 5 y 6 % p/p de proteínas fue similar al del postre comercial. Se concluye que es factible el uso de proteínas de suero en postres lácteos, debido a que éstos presentaron similares características texturales a las del postre comercial.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con el financiamiento de la Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, Argentina), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina). Los autores agradecen a Glucovil Argentina S.A. por el suministro de almidón modificado.

Bibliografía

Abu-Jdayil B. 2003. Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 57:97-102.

Aguilera JM, Rojas E. 1996. Rheological, thermal and microstructural properties of whey protein-cassava starch gels. *Journal of Food Science*, 61:962-966.

Beaulieu M, Turgeon SL, Doublier JL. 2001. Rheology, texture and microstructure of whey proteins/low methoxyl pectins mixed gels with added calcium. *International Dairy Journal*, 11:961-967.

Bourne MC. 2002. Physics and texture. En: Bourne MC. *Food Texture and Viscosity: concept and measurement*. 2^a ed. Orlando: Academic Press. pag 59-106

Bryant CM, McClements DJ. 1998. Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey. *Trends in Food Science and Technology*, 9:143-151

Bryant CM, McClements DJ. 2000. Influence of xanthan gum on physical characteristics of heat-denatured whey protein solutions and gels. *Food Hydrocolloids*, 14:383-390.

Chandan RC, Kilara A. 2011. *Dairy ingredients for food processing*. Wiley Blackwell. Pag 502.

Cook DJ, Hollowood TA, Linforth RST, Taylor AJ. 2003. Oral shear stress predicts flavor perception in viscous solutions. *Chemical Senses*, 28:11-23.

Gabriele, D., B. de Cindio, y P. D'Antona. 2001. A Weak Gel Model for Foods. *Rheologica Acta*, 40: 120-127.

Jovanovic S, Barac M, Macej O. 2005. Whey proteins- properties and possibility of application. *Mljekarstvo*, 55:215-233.

Li J, Ould Eleya MM, Gunasekaran S. 2006. Gelation of whey protein and xanthan mixture: Effect of heating rate on rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 20:678-686.

Lorenzen PC, Schrader K. 2006. A comparative study of the gelation properties of whey protein concentrate and whey protein isolate. *Lait*, 86:259-271.

Mleko S. 1997. Rheological properties of milk and whey protein desserts. *Milchwissenschaft*, 52:262-266.

Mleko S, Gustaw W. 2002. Rheological changes due to substitution of total milk proteins by whey proteins in dairy desserts. *Journal of Science and Technology*, 39:170-172.

Lopez da Silva JA, Rao MA. 1999. Rheological behavior of food gel systems. En: Rao MA. *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*. 1^o ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc. pag 319-356.

Ravindra, P., Genovese, D., Foegeding, E., Et Rao, M. (2004). Rheology of heated mixed whey protein isolate/cross-linked waxy maize starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 18:775-781.

Shim J, Mulvaney S. 2001. Effect of heating temperature, pH, concentration and starch/whey protein ratio on the viscoelastic properties of corn starch/whey protein mixed gels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:706-717.

Tárrega A, Costell E. 2006. Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semisolid dairy dessert. *Food Hydrocolloids*, 20:914-922.

Tárrega A, Durán L, Costell E. 2005. Rheological characterization of semisolid dairy desserts. Effect of temperature. *Food Hydrocolloids*, 19:133-139.

Tárrega A, Durán L, Costell E. 2004. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. *International Dairy Journal*, 14:345-353.

Tavares C, Lopes da Silva JA. 2003. Rheology of galactomannan-whey protein mixed systems. *International Dairy Journal*, 13:699-706.

Turgeon SL, Beaulieu M. 2001. Improvement and modification of whey protein gel texture using polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 15:583-591.

van de Berg L, Rosenberg Y, van Boekel MAJS, Rosenberg M, van de Velde F. 2009. Microstructural features of composite whey protein/polysaccharide gels characterized at different length scales. *Food Hydrocolloids*, 23:1288-1298.

Wood FW. 1968. Psychophysical studies on the consistency of liquid foods. En: SCL Monograph N° 27. *Rheology and texture of foodstuffs*. Society of Chemical Industry. London. pag.40.