

## EFEECTO DE LA ADICION DE FIBRA Y LA DISMINUCION DE GRASA EN LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL YOGUR

### EFFECT OF FIBER ADDITION AND FAT REDUCTION ON YOGURT PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

B. Díaz-Jiménez, M. E. Sosa-Morales, y J. F. Vélez-Ruiz\*

*Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Universidad de las Américas, Puebla Ex-Hacienda, Sta. Catarina Mártir, Cholula, Pue C. P. 72820, México.*

Recibido 11 Octubre 2004; Aceptado 1° Diciembre 2004

#### Resumen

El yogur es un producto lácteo cuyo consumo ha aumentado en los últimos años, es un alimento saludable y de fácil acceso al consumidor. En este proyecto se planteó el objetivo de elaborar yogur batido y asentado para estudiar el efecto de la disminución de grasa y de la incorporación de fibra en sus propiedades fisicoquímicas. Se elaboraron yogures con tres niveles de grasa (2, 3 y 4% p/p) y cuatro niveles de fibra de salvado de trigo (3, 5, 7, y 9% p/v), a los que se realizaron diversos análisis durante tres semanas de almacenamiento. Como se esperaba, la densidad, el contenido de grasa, de fibra, y la humedad, fueron constantes durante el almacenamiento. Los datos de color presentaron variaciones hacia colores rojos, con un incremento en el cambio neto de color a través del almacenamiento. El pH disminuyó y la acidez aumentó; ambos parámetros; tuvieron un cambio significativo en función de los factores estudiados. La textura también cambió significativamente durante el almacenamiento, siendo mayor la fuerza de penetración necesaria para yogur asentado. La sinéresis disminuyó al aumentar el contenido de fibra; y disminuyendo el contenido de grasa. El coeficiente de consistencia aumentó y el índice de flujo disminuyó al aumentar el contenido de fibra.

*Palabras clave:* yogur, adición de fibra, control de grasa, propiedades.

#### Abstract

Yogurt consumption is increasing around the world, it is a healthy and available food item. In this study, two types of yogurt were elaborated, settled and stirred, to study the effect of adding fiber (3, 5, 7 and 9% w/v) and decreasing fat (2, 3 and 4% w/w) in the formulation, the samples were stored and the yogurt properties were measured. Wheat bran was employed as fiber source, thus the yogurt systems included three fat contents and four fiber levels that were characterized and analyzed through three weeks of storage by quantifying different physicochemical parameters. As it was expected, density, fat, fiber and moisture contents were stable through storage. The yogurt luminosity varied towards red colors and the change of net color augmented with the storage. The pH diminished and the acidity augmented during the storage, both parameters were significantly affected by the studied factors. Texture changed during storage, settled yogurt required a higher penetration force in comparison with the stirred type. Syneresis phenomenon decreased with fiber addition, and it was lower in yogurt with low fat content. Higher consistency coefficient and lower flow index values were observed as a function of fiber increasing.

*Keywords:* yogurt, fiber adding, fat control, yogurt properties

#### 1. Introducción

En la actualidad el consumo del yogur ha aumentado considerablemente; las personas preocupadas por el sobre peso y una alimentación sana; buscan alimentos que tengan elementos nutritivos, además de ser bajos en grasa. Es por ello que el desarrollo de nuevos productos, con nuevos elementos y complementos alimenticios es parte de la investigación actual (Díaz, 2002). El yogur es uno de los alimentos de moda, por los beneficios que tiene y por su

fácil forma de preparación (Drake y col., 2000). Tiene atributos tales como: ayudar a reducir los síntomas de la intolerancia a la lactosa, sus cultivos presentes son una fuente importante para la absorción de calcio, tiene beneficios en el tracto intestinal al incrementar su flora microbiana. El yogur más que ser un alimento delicioso es un alimento nutritivo y/o funcional (Shah, 2001). La elaboración del yogur es un arte muy antiguo que data de hace miles de años, siendo posiblemente anterior a la domesticación de las vacas

\* Autor para la correspondencia: E-mail: [jfvelez@mail.udlap.mx](mailto:jfvelez@mail.udlap.mx)  
Tel. (22) 22292648, 22292126, Fax: (22) 22292727

ovejas y cabras, y que ha sido transmitido de generación en generación (Tamine y Robinson, 1991).

Con el paso de los años, su fabricación se ha convertido en una industria con grandes avances, tanto en lo técnico como en lo científico; ya que además de producirlo en grandes cantidades, es un alimento que ha sido estudiado desde un punto de vista fundamental. El yogur es un alimento obtenido de la fermentación controlada de la leche, por las acciones combinadas de cultivos de bacterias ácido lácticas, las cuales provocan un sabor láctico y aroma típico. En la actualidad, el yogur y sus ingredientes, así como sus propiedades, han sido motivo de muchos estudios, tanto bromatológicos, clínicos, microbiológicos, nutricionales, como ingenieriles (Vélez, 2004).

En cuanto a su formulación, se ha tratado de enriquecer al yogur mediante la adición de fibra, vitaminas, y calcio, entre otros nutrientes, convirtiéndolo en un alimento funcional (Rivas, 2001; Alatríste 2002; Díaz, 2002; Aportela, 2003; Saxelin y col., 2003). Por otro lado, la fibra es un componente muy útil que previene el estreñimiento, reduce los riesgos de cáncer en el colon, así como también reduce los niveles de colesterol en la sangre. La fibra antes considerada como un componente no nutritivo, ha tomado gran importancia nutricional; se le considera ya un nutriente y su carencia puede tener consecuencias adversas en la salud, ya que se le ha relacionado con la incidencia de ciertas enfermedades crónicas (Clemens, 2001)

La fibra dietética es un componente alimenticio muy importante que consiste de material vegetal resistente a las enzimas endógenas del tracto digestivo de los mamíferos (Trowell, 1976; IFT, 1989). Es por ello, que la elaboración de un yogur funcional a base de fibra dietética, y con nivel de grasa controlado, es una muy buena opción para complementar la dieta diaria, ya que aparte de ser un alimento delicioso, nutritivo, saludable, y

conveniente, es también novedoso para el consumidor.

La incorporación de nuevos ingredientes en la formulación del yogur, cambia la estructura original del gel tanto física como químicamente, por lo que es importante conocer sus efectos. Ramaswamy y Basak (1992) estudiaron la influencia de pectina y concentrados de fruta en las propiedades de flujo de yogur, mismas que fueron afectadas por la incorporación de estos sólidos. Rohm y Schmid (1993) incorporaron materiales sólidos (leche en polvo descremada, caseinato de sodio, y leche en polvo concentrada por ultrafiltración) en la formulación del yogur para conocer los cambios en ciertas propiedades físicas; Keogh y O'Kennedy en 1999, analizaron la reología del yogur al adicionar grasa butírica, proteínas e hidrocoloides. En estudios previos a éste, se ha analizado el efecto del calcio (Rivas, 2001), la disminución de grasa (Aguirre, 2002) y la incorporación de coco e higo como fuentes de fibra (Alatríste, 2002) en las propiedades fisicoquímicas y de flujo de yogur, con resultados muy interesantes por su mejora en valor nutritivo y en el grado de aceptación; con lo cual, varias de las características fisicoquímicas de este producto lácteo, tales como acidez, color, consistencia, humedad, pH, sólidos totales y viscosidad, fueron modificadas en función de su composición. Sin embargo, existe la necesidad de seguir estudiando acerca del efecto que tienen ciertos ingredientes funcionales sobre los alimentos formulados y particularmente sobre las características del yogur; por lo que en el presente trabajo se elaboró un yogur funcional a base de salvado de trigo como fuente de fibra, con diferentes niveles de grasa; analizando su efecto en las propiedades fisicoquímicas de dos tipos de yogur.

## 2. Materiales y métodos

Se empleó leche entera en polvo marca Nido (Nestlé México; México, D.F.)

y leche descremada marca Svelty (Nestlé México; México, D.F.), para ajustar los niveles de grasa de la leche. Las fuentes de fibra empleadas incluyeron 3 presentaciones: esponjado (marca Pufitos), grano y hojuela (marca Maizoro), adquiridos en el supermercado; los cuales que se estandarizaron al mismo tamaño de partícula de 50  $\mu$ m.

Las fuentes de fibra fueron sometidas a varios análisis para escoger la más apropiada. Se llevaron a cabo pruebas analíticas como: humedad (método 930.15, AOAC, 2000), y contenido de fibra (método 962.09, AOAC, 2000), y otras pruebas empíricas como: capacidad de retención de agua (ganancia de agua para

10 g de fibra), medida de la viscosidad aparente de una suspensión (10 g de fibra en 100 mL de agua) con un viscosímetro Brookfield, solubilidad por dilución (cantidad de fibra en 20 mL de agua), y observación visual de la estabilidad de la fibra dentro del yogur.

Los saborizantes artificiales utilizados (café, mango, piña colada y vainilla), fueron proporcionados por la compañía McCormik (McCormik S.A., México).

Se empleó un cultivo liofilizado de adición directa (Jo-Mix VM 1-30 Visbyvac DIP) proporcionada por la compañía Dantec de México que contiene *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus* y *Streptococcus salivarius spp. thermophilus*

Tabla 1. Contenidos de fibra y grasa en los yogures asentado y batido.

Yogur Asentado <sup>a</sup>			Yogur Batido <sup>a</sup>		
Sistema	Fibra (% p/v)	Grasa (% p/p)	Sistema	Fibra (% p/v)	Grasa (% p/p)
A	5	4	A	5	4
B	9	4	B	9	4
C	5	3	C	5	3
D	9	3	D	9	3
E	5	2	E	5	2
F	9	2	F	9	2
G	3	4	G	3	4
H	7	4	H	7	4
I	3	3	I	3	3
J	7	3	J	7	3
K	3	2	K	3	2
L	7	2	L	7	2

<sup>a</sup> Los sistemas corresponden a los dos tipos de yogur, y su formulación es la misma.

Tabla 2. Acidez de los sistemas de yogur, durante el almacenamiento.

Asentado <sup>a</sup>												
Sistema: Días:	A (4G5F)	B (4G9F)	C (3G5F)	D (3G9F)	E (2G5F)	F (2G9F)	G (4G3F)	H (4G7F)	I (3G3F)	J (3G7F)	K (2G3F)	L (2G7F)
0	0.740	0.732	0.692	0.712	0.699	0.705	0.694	0.719	0.691	0.702	0.729	0.702
d.e <sup>b</sup>	0.0076	0.0095	0.0104	0.0094	0.0080	0.0082	0.0126	0.0059	0.0064	0.0098	0.0130	0.0079
7	0.822	0.848	0.828	0.838	0.825	0.831	0.809	0.835	0.823	0.833	0.833	0.828
d.e.	0.0176	0.0125	0.0362	0.0235	0.0265	0.0248	0.0234	0.0134	0.0296	0.0298	0.0346	0.0256
14	0.912	0.924	0.940	0.932	0.926	0.929	0.905	0.918	0.929	0.936	0.932	0.927
d.e.	0.0202	0.0177	0.0328	0.0250	0.0263	0.0256	0.0214	0.0190	0.0272	0.0289	0.0357	0.0259
21	1.090	1.092	1.032	1.062	1.061	1.061	1.089	1.091	1.054	1.047	1.046	1.061
d.e.	0.0218	0.0184	0.0333	0.0258	0.0252	0.0252	0.0265	0.0188	0.0297	0.0295	0.0459	0.0251

Batido <sup>a</sup>												
Sistema:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Días:	(4G5F)	(4G9F)	(3G5F)	(3G9F)	(2G5F)	(2G9F)	(4G3F)	(4G7F)	(3G3F)	(3G7F)	(2G3F)	(2G7F)
0	0.793	0.657	0.713	0.670	0.790	0.707	0.707	0.682	0.698	0.684	0.737	0.722
d.e.	0.0208	0.0306	0.0208	0.0361	0.0100	0.0208	0.0076	0.0184	0.0045	0.0162	0.0119	0.0151
7	0.873	0.770	0.883	0.773	0.873	0.813	0.822	0.796	0.840	0.806	0.840	0.827
d.e.	0.0208	0.0436	0.0306	0.0551	0.0252	0.0473	0.0176	0.0298	0.0220	0.0378	0.0315	0.0384
14	0.937	0.887	0.977	0.903	0.930	0.953	0.912	0.899	0.938	0.921	0.925	0.939
d.e.	0.0153	0.0252	0.0208	0.0451	0.0300	0.0611	0.0202	0.0227	0.0213	0.0332	0.0279	0.0439
21	1.093	1.087	1.040	1.023	1.053	1.037	1.090	1.088	1.064	1.044	1.049	1.043
d.e.	0.0252	0.0451	0.0500	0.0306	0.0651	0.0503	0.0218	0.0322	0.0380	0.0247	0.0444	0.0474

<sup>a</sup>F: porcentaje de fibra; G: porcentaje de grasa

<sup>b</sup>Desviación estándar

#### 4. Proceso de elaboración

La elaboración del yogur se realizó de acuerdo a un método tradicional (Tamime y Robinson, 1999; Vélez y Rivas, 2001). Mezclando leche entera y leche descremada en polvo para ajustar el nivel de grasa requerido y un nivel de 11 a 13% de sólidos; posteriormente la leche fue reconstituida y estandarizada, tratada térmicamente para su pasterización (90-95°C durante 30 min), con posterior enfriamiento a 42°C para la inoculación con cultivo liofilizado (2%). Después de la incubación ( $7 \pm 1$  h) y hasta obtener un pH de  $4.5 \pm 0.1$ ; se adicionó la fibra, y se dejó reposar cuando el yogur era asentado, mientras que si era de tipo batido, la adición de fibra se efectuó durante el rompimiento del gel (500 rpm, 1 min). Finalmente se almacenó a  $5 \pm 1$ °C por 21 días, durante los cuales se tomaron las cantidades necesarias para realizar las mediciones de cada una de sus propiedades, cada 7 días.

Los niveles de grasa evaluados (2, 3 y 4 % p/p), así como los niveles de fibra utilizados (3, 5, 7, y 9% p/v) fueron controlados en base a balances de materia. Los yogures de tipo asentado y batido fueron preparados en el laboratorio siguiendo el proceso de elaboración anterior. Los yogures o sistemas estudiados se muestran en la tabla 1. Posteriormente se realizó la caracterización fisicoquímica de yogur, evaluando su contenido de acidez titulable, color, densidad, fibra cruda, grasa, humedad, pH, sinéresis, textura, y viscosidad. El análisis de las propiedades fisicoquímicas se hizo por triplicado,

reportándose únicamente el promedio de las tres mediciones. Para cada propiedad evaluada se hizo un análisis de varianza con una  $p = 0.05$ , empleando el programa de computación Minitab (versión 12, 1998). También se elaboró un yogur batido y uno de tipo asentado como controles, sin ningún contenido de fibra sistemas y con un contenido de grasa estándar (3.8% aproximadamente), para propósitos de comparación.

##### 4.1 Acidez

La determinación de la acidez titulable se llevó a cabo en muestras de yogur de 5 g, adicionadas con tres gotas de fenolftaleína y titulándolas con hidróxido de sodio de normalidad conocida ( $N = 0.1$ ) (LopezMalo, 2000).

##### 4.2 Color

Se determinó con el Colorímetro Color Gard System/05 (Hunter Lab., Reston, VA), previamente calibrado con mosaicos negro y blanco, midiéndose la reflectancia de cada muestra. Se colocaron 10 g de muestra en un recipiente de cuarzo transparente que permite el paso de la luz, obteniendo los parámetros L, a y b de la escala Hunter.

##### 4.3 Densidad

La densidad se determinó a 15°C por un método gravimétrico, empleando un densímetro Grease, el valor de esta propiedad se calculó por diferencia de pesos.

#### 4.4 Fibra

La determinación de fibra cruda se realizó empleando el método analítico 962.09 (AOAC, 2000).

#### 4.5 Grasa

El contenido de grasa se determinó por el método de Gerber descrito por Egan y col. (1987). Se colocaron en el butirómetro 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, 10 mL de yogur y 2 mL de alcohol isoamílico libre de grasa, se cerró el butirómetro y la mezcla se agita por 5 min. Posteriormente se lleva a baño María ( $T = 75-80^{\circ}\text{C}$ ) por 2 h, transcurrido ese tiempo se leyó el contenido de grasa en la escala del butirómetro.

#### 4.6 Humedad

Se realizó usando el método analítico 930.15 (AOAC, 2000), evaporando el agua de la muestra y calculando la humedad por la diferencia de pesos.

#### 4.7 pH

El valor de pH fue obtenido introduciendo en el yogur el electrodo de un potenciómetro Corning modelo 445 (Corning Incorporated, Corning, NY).

#### 4.8 Grado de sinéresis

Se utilizó una Centrífuga Adams (Clay Adams Inc., Chatsworth, CA). Se pesó la muestra previamente (10 g) y se colocó en los tubos para centrífuga, dejándose centrifugar por 20 minutos a 5000 rpm. Después de la centrifugación se obtuvo el peso del sobrenadante y se calculó el porcentaje de sinéresis (p/p) mediante la relación entre peso del sobrenadante y el peso de la muestra.

#### 4.9 Textura

Se determinó en base a la técnica modificada de Schmidt y col. (1980), con un texturómetro Texture Analyzer TA.XT2 (Texture Technologies, Corp., Scardale, NY) usando el software Texture Expert

(version 1.22, 1999). Midiendo la fuerza (kg) necesaria y el trabajo para penetrar el yogur (150 mL de muestra) contenido en un vaso de precipitados de 250 mL, usando un cuerpo cilíndrico de 4.3 cm de diámetro y descendiendo a una velocidad de 0.5 mm/s (llegando a una profundidad de 20 mm).

#### 4.10 Viscosidad y propiedades reológicas

Para medir la viscosidad se empleó el viscosímetro digital Brookfield DV-III (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA). Se colocaron las muestras en vasos de 400 mL y se utilizó la aguja LV-4 para todos los sistemas elaborados con fibra, y para los sistemas control se utilizó la aguja LV-3. Se tomaron mediciones de viscosidad y torque a las diferentes velocidades de giro (0-100 rpm). Se emplearon las siguientes ecuaciones para el cálculo de la razón de corte y el esfuerzo cortante (Brookfield, 1995):

$$\dot{\gamma} = \frac{2 \omega R_c^2 R_b^2}{R_b^2 (R_c^2 - R_b^2)}$$

donde:

- □ razón de corte (1/s)
- : velocidad angular de la aguja (rad/s)

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60}$$

$R_c$ : radio del recipiente (cm)

$R_b$ : radio de la aguja (cm)

N: velocidad de giro de la aguja en rpm

$$\tau = \frac{T}{2 \pi R_b^2 L}$$

donde:

- : esfuerzo cortante (Pa o dinas/cm<sup>2</sup>)
- T: torque (N-m o dinas-cm)
- L: altura de la muestra (m o cm)

Para el ajuste de los datos experimentales, se utilizó el modelo de Ostwald de Waele o Ley de Potencia (Vélez y Barbosa, 1997):

$$\tau = K \dot{\gamma}^n$$

donde:

- : esfuerzo cortante (Pa o dinas/cm<sup>2</sup>)
- K: coeficiente de consistencia (Pa s<sup>n</sup> o s<sup>n</sup>dinas/ cm<sup>2</sup>)
- razón de corte (1/s)
- n: índice de flujo (adimensional)

### 5. Evaluación sensorial

Para detectar el grado de aceptación de los yogures elaborados, se contó con un panel de 20 jueces no entrenados, a los cuales se les aplicó una prueba afectiva con escala hedónica de nueve puntos que va desde me gusta muchísimo con calificación 9 a me disgusta muchísimo con calificación 1. La evaluación sensorial de los sistemas, se realizó en dos etapas, una a la mitad del almacenamiento y que correspondió al día 10 y la otra, propiamente al final del periodo de prueba, es decir a los 21 días. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante la prueba de ANOVA comparando cada atributo (sabor, consistencia, y aceptación general) del yogur, empleando el programa computacional Minitab (versión 14, Minitab, Inc., Pennsylvania, EUA).

### 6. Resultados y discusión

#### 6.1 Fuente de fibra

De las varias fuentes de fibra probadas (amaranto, avena, cebada y trigo), se eligió al trigo por tener un buen contenido de fibra insoluble, buena apariencia física y mejor aceptabilidad (en yogur evaluado sensorialmente) en comparación con las otras fuentes, y gran disponibilidad. Además, el trigo mostró propiedades fisicoquímicas adecuadas para su incorporación en el yogur, tales como alta solubilidad/miscibilidad, fácil incorporación al fluido y menor grado de sinéresis en yogur con trigo que con los

otras fuentes de fibra (datos no incluidos). Y dentro de los tipos o presentaciones del trigo se eligió al salvado por tener mejor comportamiento fisicoquímico dentro del sistema lácteo, elaborando así, tanto el yogur de tipo asentado como batido con fibra proveniente del salvado.

#### 6.2 Composición

Fibra y grasa: los contenidos de fibra y grasa se mantuvieron constantes a lo largo del almacenamiento. Los contenidos de fibra se muestran en la Fig. 1, en donde las pequeñas variaciones que se observan durante el almacenamiento, se atribuyen a errores experimentales. En cuanto a la grasa en que hubo mayores diferencias (Fig. 2), las mismas se deben a que el método utilizado no posee la precisión de otros métodos extractivos. En ambos casos, el análisis de varianza indicó que no hubo influencia significativa del tiempo de almacenamiento. Humedad: la humedad de los sistemas varió de acuerdo a la formulación, por lo que sus porcentajes variaron entre 87 y 89; la aplicación del análisis de varianza reveló que no hubo efecto significativo del nivel de grasa, ni del contenido de fibra. Y como se esperaba, la humedad se mantuvo constante a lo largo de las 3 semanas de almacenamiento, consecuentemente no hubo efecto significativo del tiempo.

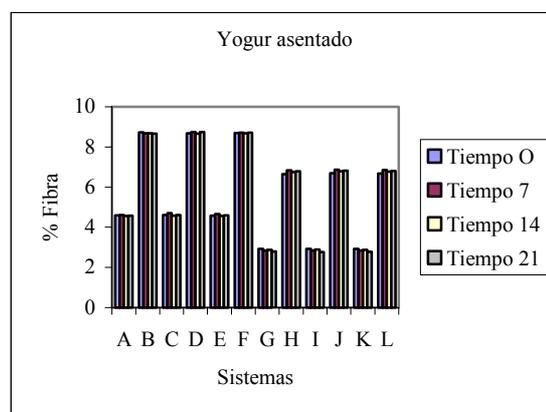


Fig. 1. Contenido de fibra para los sistemas elaborados: a) yogur asentado, b) yogur batido.

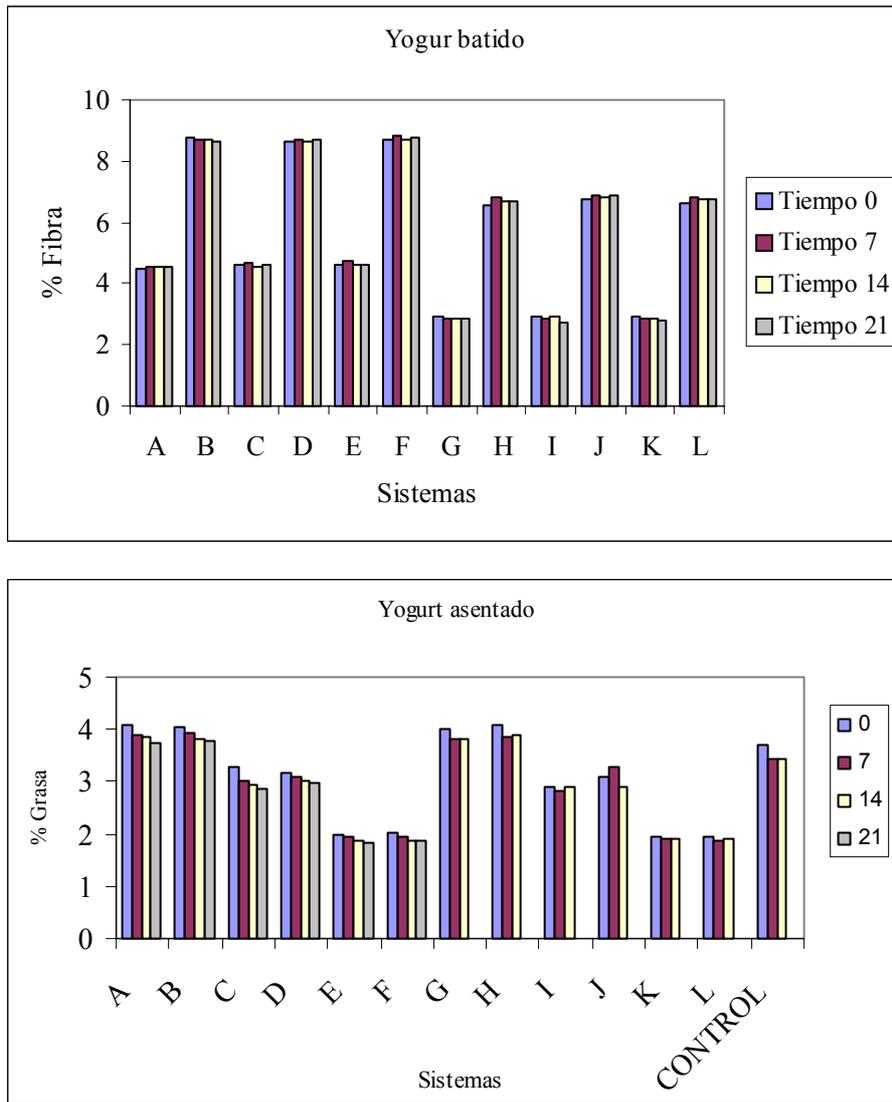
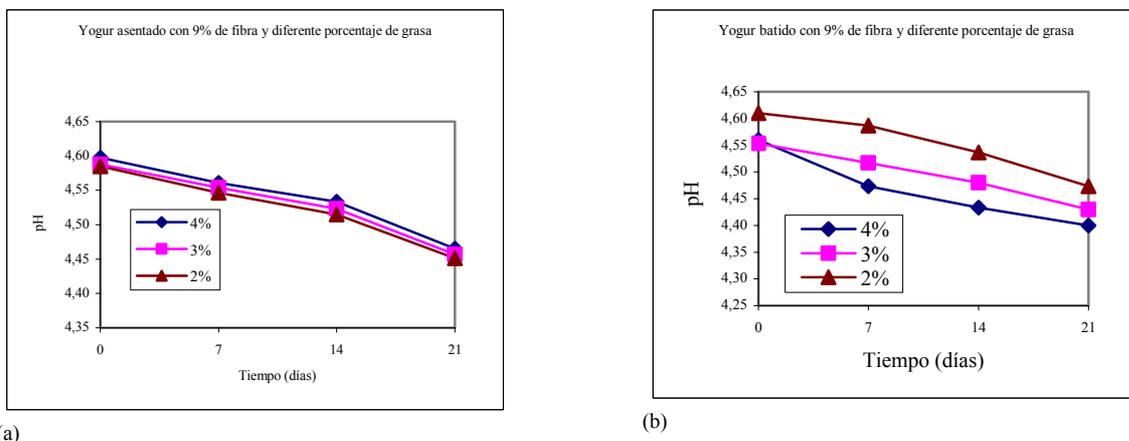


Fig. 2. Contenido de grasa para los sistemas elaborados: a) yogur asentado, b) yogur batido.



(a) (b) Fig. 3. Evolución del pH del yogur con 9% de fibra durante el periodo de almacenamiento, a) asentado y b) batido.

### 6.3 pH y acidez

El comportamiento de los sistemas estudiados, así como su evolución durante el almacenamiento se presenta a continuación (Fig. 3). En general el pH, tanto del yogur recién elaborado como durante el almacenamiento, estuvo por arriba de 4; aunque en cada sistema existen diferencias, esta variación responde principalmente a dos aspectos: a la influencia que ejerce la fibra en el pH de yogur, a la producción de ácido láctico por parte de las bacterias lácticas durante el almacenamiento de cada sistema, y al rompimiento del gel en el caso del yogur batido. Los valores más bajos de pH (~ 4.4) se registraron al final del periodo de estudio (21 días) y la evolución decreciente del pH, fue semejante para ambos tipos de yogur. Sin embargo, a partir de 5% de fibra la relación entre el pH y la fibra para los dos tipos de yogur es inversa, es decir, en el yogur asentado un menor pH se relacionó con el menor contenido de grasa (Fig. 3a), mientras que en el yogur batido fue lo contrario (Fig. 3b). El análisis estadístico (ANOVA de 3 factores y/o vías), indica que sí hubo efecto significativo ( $p < 0.05$ ) por parte de las tres variables (fibra, grasa y tiempo de almacenamiento) sobre el pH para ambos tipos de yogur. Se considera, que tanto la fibra como la grasa aportan elementos ácidos; y por otro lado, el ácido láctico se produce por las bacterias lácticas a lo largo del almacenamiento.

La acidez del yogur que está íntima e inversamente relacionada con el descenso del pH; aumentó durante el almacenamiento, desde 0.65% para las muestras recién elaboradas hasta 1.1% para las muestras almacenadas tres semanas. Evolución que es normal y que ha sido reportada en otros trabajos semejantes, como el de Tridjoko y col. (1992), quienes cuantificaron una acidez de 0.7 a 1.35% en yogur con soya; y el de Pirkul y col. (1998), quienes reportan una acidez entre 0.85 y 1.1 para diferentes formulaciones de yogur enriquecido con calcio y almacenadas 14 días. Los cambios de acidez básicamente

son el resultado de las transformaciones bioquímicas presentes en el yogur durante su vida de anaquel. Los análisis estadísticos ( $\alpha = 0.05$ ) indican que solo hay efecto significativo del tiempo de almacenamiento y no de la composición (ni fibra, ni grasa); lo cual como ya se mencionó anteriormente, se puede atribuir principalmente a la actividad de las bacterias lácticas que producen ácido láctico durante el periodo de almacenamiento estudiado. Los valores promedio de tres determinaciones de acidez para todos los sistemas estudiados con sus correspondientes desviaciones, a lo largo del almacenamiento, se incluyen en la Tabla 2.

### 6.4 Sinéresis

Los valores obtenidos en este estudio, oscilan entre 45 y 65%; mismos que están por arriba de lo reportado por Rivas (2001) para un yogur control libre de fibra y con un nivel estándar de grasa, y mas abajo del grado de sinéresis (70-80%) reportado por Aguirre (2002) para yogur con bajo contenido de grasa; sin embargo, se presenta la misma tendencia observada por Aguirre, ya que entre mayor es el nivel de grasa, el grado de sinéresis disminuye.

Así, para ambos tipos de yogur se observó que entre menor fue el contenido de grasa el porcentaje de sinéresis aumentó. Esto se puede apreciar en los sistemas con 3 y 5% de fibra (Fig. 4), en la que aquellos sistemas con 2% de grasa (sistemas E y K) exhibieron valores de sinéresis mayores, mientras que en los sistemas con 4% de grasa con 3 y 5% de fibra (sistemas G y A) la sinéresis evaluada fue menor. En el yogur con 4% de grasa con 7 y 9% de fibra (sistemas H y B) la sinéresis resultó menor que el resto de los sistemas.

También se observa que para los sistemas con el mismo contenido de grasa, la cantidad de fibra es un factor importante en este fenómeno; porque entre mayor fue el nivel de la fibra adicionada, menor resultó la sinéresis. En este fenómeno de liberación del agua del yogur, existe un efecto contrastante ya que por un lado la

fibra ayuda a retener humedad, y por otro, la disminución de grasa contribuye a este defecto. De acuerdo a Tamine y Robinson (1991), la grasa es el principal parámetro a tomar en cuenta para formar el gel.

Los resultados obtenidos indican que el grado de sinéresis aumentó durante el almacenamiento, como resultado de la pérdida de estabilidad y de la pérdida de retención de agua de los componentes del yogur; particularmente el gel formado presenta modificaciones estructurales que implican pérdida de agua. Vélez y Rivas (2001) mencionan otros factores causantes de la sinéresis, temperatura de incubación heterogénea o excesiva, así como enfriamiento insuficiente durante el proceso de elaboración. Los cambios en sinéresis, para sistemas asentados, se presentan en los primeros días del almacenamiento mientras que al final los cambios son pequeños y poco notorios. Por otro lado, en los yogures de tipo batido el aumento de la sinéresis es constante durante el almacenamiento.

Se esperaban valores de sinéresis mayores para los sistemas batidos, ya que a ellos se les aplicó una fuerza externa para romper el gel durante su elaboración, dándole una apariencia de yogur bebible, y con mayor facilidad para la separación de fases; no obstante esa pequeña diferencia con respecto al yogur asentado, no resultó importante. En general se observa que los valores de sinéresis no tienen una diferencia significativa entre los dos tipos de yogur (asentado y batido); esto se atribuye a la fibra agregada ya que permanece independiente del gel, pero la absorción del agua evita la separación.

El análisis de varianza realizado sobre la sinéresis teniendo como variables nivel de fibra y grasa, indica que existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) por ambos factores. De manera semejante sucede con el efecto del tiempo en este parámetro, en que existe influencia significativa del almacenamiento.

## 5. Color

La luminosidad disminuyó en ambos tipos de yogur con la adición de fibra en comparación con el control, y también se observó una menor luminosidad con el nivel de enriquecimiento de fibra, por su carácter de material no reflejante de luz o cuerpo opaco. Este parámetro aumentó durante el almacenamiento para los tres niveles de grasa, situación que es más marcada en la primera semana; mientras que de la segunda a la tercera semana de almacenamiento la luminosidad solo tuvo un ligero aumento.

El parámetro a, como se esperaba fue mayor en los diferentes sistemas, en comparación con el control, tendiendo hacia los rojos debido a la presencia de trigo; sin observarse una tendencia relacionada al grado de concentración. Durante el almacenamiento, los sistemas tuvieron un incremento de este parámetro, a los tres niveles de grasa. Una situación semejante, pero menos pronunciada se observó para el parámetro b, con tendencia hacia los amarillos. De acuerdo a Fennema (1996), las variaciones de los parámetros a y b durante el almacenamiento se deben probablemente a pérdidas de vitamina como la riboflavina y/o de compuestos como el caroteno.

A partir de los valores obtenidos de L, a y b, se evaluaron tanto el croma y el tono observando tendencias de aumento por la presencia de fibra. El cambio neto de color mostró una tendencia generalizada de aumento con respecto al tiempo de almacenamiento, siendo más notorio en los primeros siete días de almacenamiento y menos marcado en los últimos, lo que está relacionado con los cambios observados en los parámetros triestímulo.

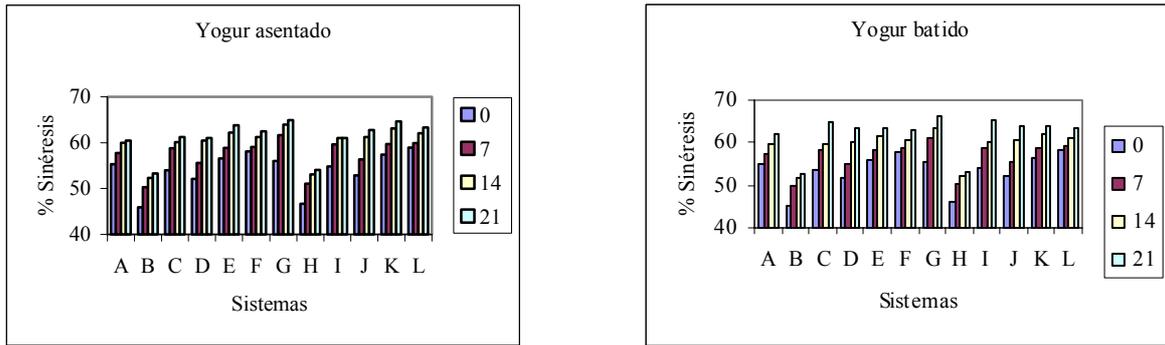


Fig. 4. Grado de sinéresis a lo largo del almacenamiento para yogur: a) asentado y b) batido.

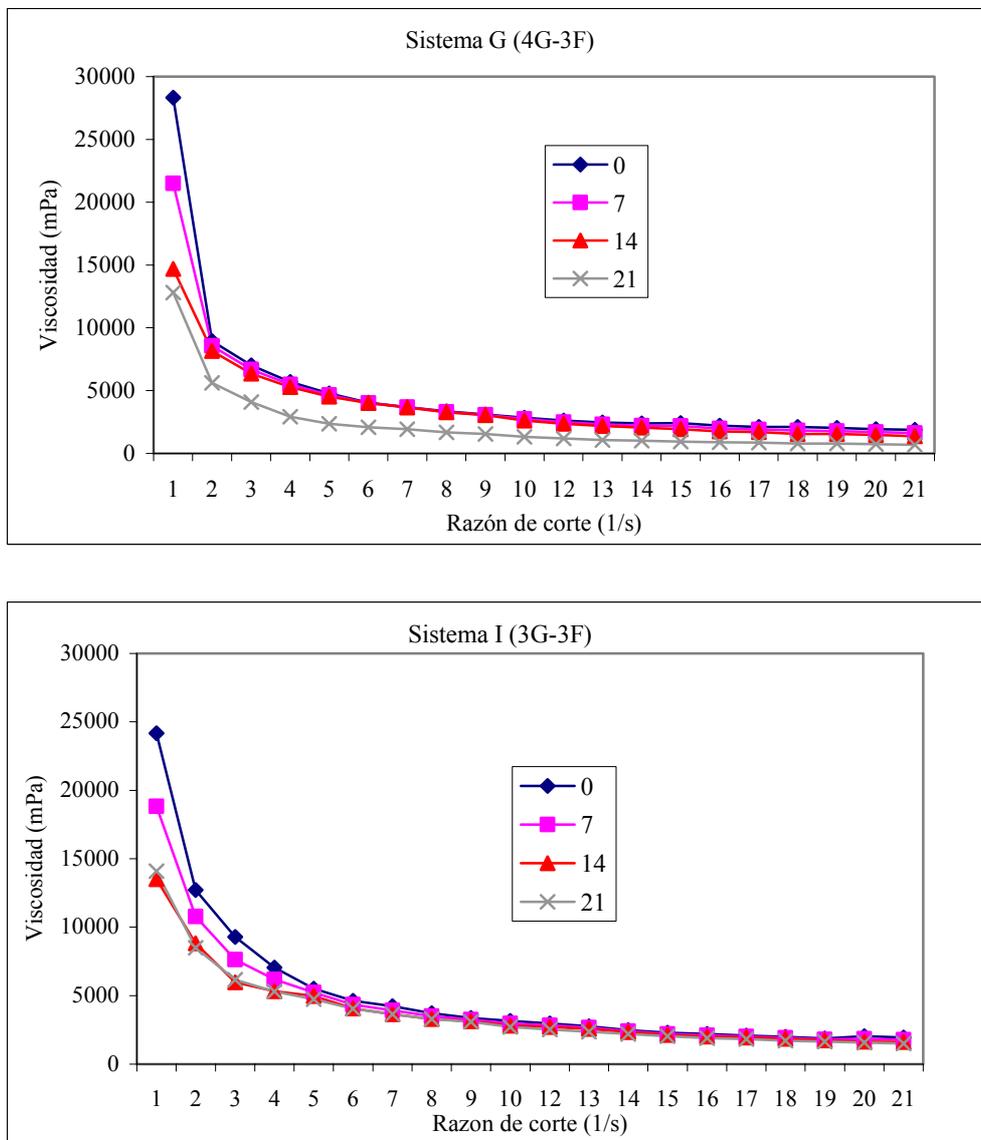


Fig. 5. Reogramas para un yogur asentado con 3% de fibra: a) 4% grasa, b) 3% grasa, c) 2% grasa.

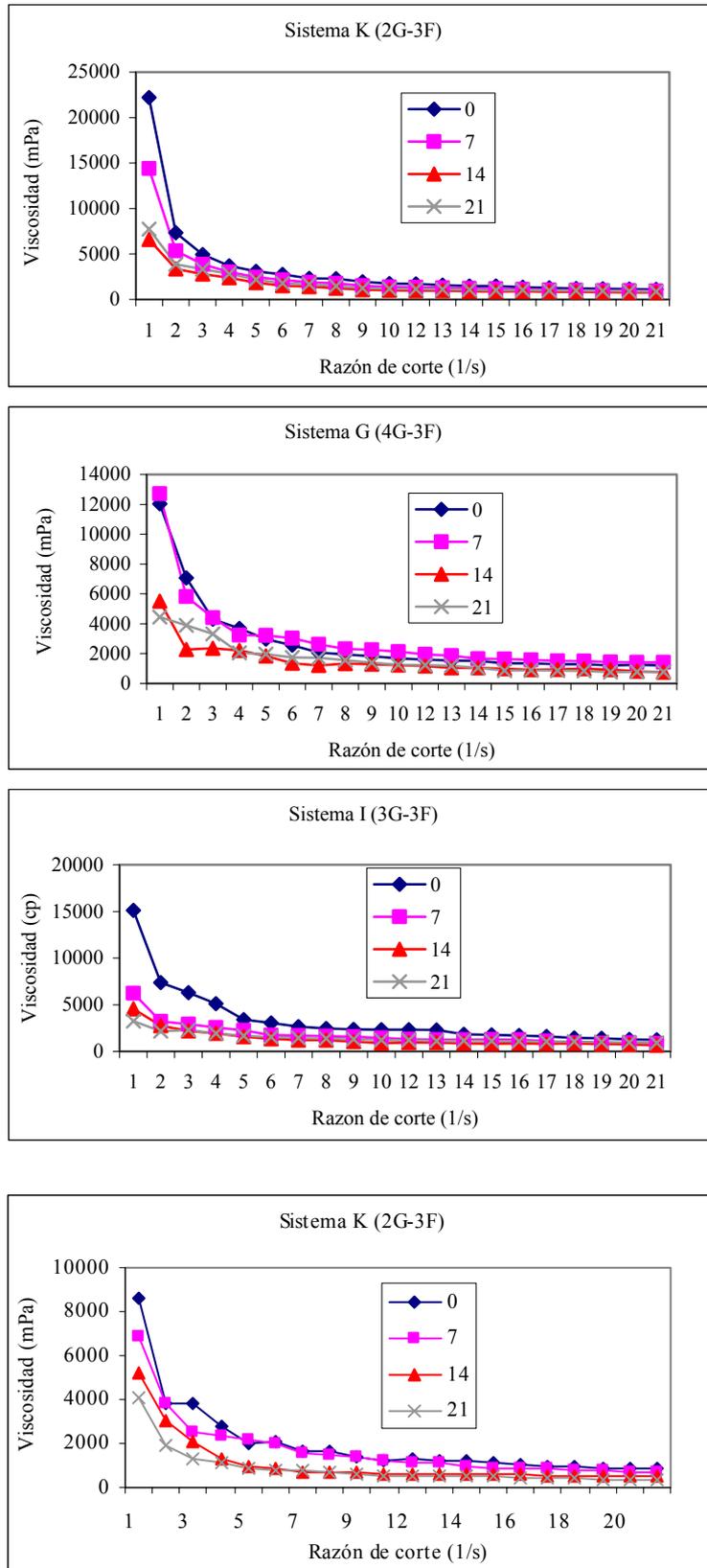


Fig. 6. Reogramas para un yogur batido con 3% de fibra: a) 4% grasa, b) 3% grasa, c) 2% grasa.

## 7. Propiedades reológicas

Todos los sistemas estudiados se comportaron como fluidos no newtonianos dependientes del tiempo, y como se esperaba, el comportamiento no newtoniano del yogur fue afectado por los diferentes factores analizados en este trabajo: tipo de yogur, nivel de grasa y fibra, y tiempo de almacenamiento. La naturaleza pseudoplástica de todos los sistemas elaborados tanto de tipo asentado como batido, se hizo patente en los reogramas obtenidos; en los que únicamente se cuantificó la respuesta ascendente independiente del tiempo, lo cual se puede apreciar en las Figs. 5 y 6 para los yogures con 3% de fibra y tres niveles de grasa para yogur asentado y batido, respectivamente.

Aunque en términos generales la viscosidad del yogur tipo asentado (Fig. 5) fue mayor que la del batido (Fig. 6), algunos sistemas (A y D) manifestaron viscosidades iniciales semejantes para ambos tipos. En otros sistemas, como el J y L, la similitud de flujo se aprecia en los valores del coeficiente de consistencia y del índice de flujo (Tabla 3). La pequeña diferencia entre ambos tipos de yogur, se puede atribuir a la incorporación de fibra y consecuente rompimiento del gel en el proceso de elaboración de yogur asentado; y por otro lado, a la incorporación de fibra en el yogur batido, ocasionando que algunos sistemas tengan propiedades reológicas semejantes (Tabla 3).

En cuanto a la incorporación de los ingredientes de estudio, se observó una tendencia generalizada en el aumento de la viscosidad aparente conforme se incrementó el porcentaje de fibra adicionado, o bien un ligero aumento del coeficiente de consistencia por la presencia del trigo. Adicionalmente, las viscosidades de los sistemas con 4% de grasa (Figs. 5a y 6a), muestran una mayor resistencia al flujo, que aquellos sistemas con 2% de grasa (Figs. 5c y 6c), teniendo las de 3% un valor intermedio (Figs. 5b y 6b). Por otro lado, la grasa afectó al índice de flujo, pero no de manera generalizada, ya que el

decremento de este constituyente ocasionó una disminución en el valor de  $n$  al bajar el porcentaje de 4 a 3, pero con respecto a 2% hay un aumento en el índice de flujo; como se puede apreciar en la tabla 3, siendo más notable en el yogur asentado; sin embargo, el efecto de composición se refleja en ambas propiedades reológicas ( $K$  y  $n$ ). Una observación que resulta interesante y que se presenta en ambos tipos de yogur, es que el valor más bajo en el índice de flujo ( $n < 0.2$ ) corresponde a los sistemas con 3% de grasa. Dado que se observa el comportamiento de fluido no newtoniano durante las tres semanas de almacenamiento, se evaluaron las propiedades reológicas de todos los sistemas por el modelo de Ostwald o Ley de Potencia.

Los valores obtenidos para ambos tipos de yogur y su evolución durante el almacenamiento, se muestran en la Tabla 3 para el inicio y para tres semanas de almacenamiento. Aunque los diferentes sistemas presentaron variaciones en cuanto a la composición, se observó una tendencia general; ya que tanto el índice de flujo aumentó como el coeficiente de consistencia disminuyó a lo largo del almacenamiento. Estas tendencias de aumento en el índice de flujo o tendencia hacia un comportamiento newtoniano ( $n = 1$ ), y el decremento en el coeficiente de consistencia de los yogures, se deben básicamente a los cambios estructurales del gel; como pérdida de firmeza o rigidez de la matriz proteica, mayor sinéresis y pérdida de consistencia. La tendencia mencionada para  $n$  y  $K$  en función de la composición, también ha sido reportada por Ramaswamy y Basak (1992) y Basak y Ramaswamy (1994) para yogur batido enriquecido con pectina y concentrados de fruta. Adicionalmente, la magnitud de las propiedades reológicas evaluadas en este estudio, son comparables a aquellas reportadas por Penna y col. (2003) para el ciclo ascendente de medición, estos autores prepararon una bebida láctea a base de yogur y suero adicionada con carragenina.

Tabla 3. Propiedades reológicas de los yogures, a los 0 y 21 días de almacenamiento.

Asentado						
Muestra	K (Pa.s <sup>n</sup> )	DIA 0		K (Pa.s <sup>n</sup> )	DIA 21	
		n (adimen)	R <sup>2</sup>		n (adimen)	R <sup>2</sup>
A	1.651	0.312	0.99	0.814	0.512	0.99
B	2.111	0.244	0.93	0.205	0.536	0.99
C	3.625	0.130	0.87	2.130	0.206	0.97
D	1.781	0.218	0.96	0.747	0.815	0.99
E	1.230	0.258	0.97	0.413	0.480	0.97
F	1.579	0.225	0.95	0.134	0.446	0.89
G	1.884	0.275	0.98	0.537	0.349	0.99
H	1.998	0.259	0.96	0.645	0.349	0.99
I	2.705	0.161	0.96	1.452	0.303	0.99
J	2.282	0.182	0.94	1.145	0.309	1.00
K	1.355	0.254	0.98	1.089	0.319	0.99
L	1.458	0.242	0.98	1.119	0.298	0.99
CONTROL	2.214	0.265	0.97	0.371	0.533	0.98
Batido						
A	0.650	0.796	0.98	0.127	0.662	0.97
B	2.632	0.154	0.82	1.670	0.199	0.99
C	2.205	0.167	0.93	0.993	0.633	0.98
D	2.272	0.129	0.91	0.637	0.354	0.98
E	1.589	0.176	0.95	0.260	1.0	0.99
F	2.778	0.385	0.99	0.135	0.695	0.99
G	1.480	0.433	0.94	0.185	0.706	0.98
H	3.177	0.239	0.92	0.750	0.513	0.98
I	1.749	0.194	1.00	0.376	0.611	0.99
J	2.297	0.098	0.92	0.969	0.373	0.97
K	0.877	0.286	0.99	0.249	0.453	0.99
L	1.458	0.291	0.99	0.463	0.408	0.99
CONTROL	2.009	0.299	1.00	0.677	0.391	0.99

### 7.1 Textura

Como se esperaba, la fuerza necesaria para la penetración del yogur asentado fue ligeramente mayor que la de yogur batido; siendo mas clara la diferencia entre ambos tipos de yogur adicionados con 3, 5 y 7% de fibra, mientras que para el yogur con 9% de fibra la diferencia no fue tan clara; esto se puede apreciar en las Figs. 7 y 8. Lo mencionado anteriormente, se debe básicamente a la estructura menos alterada del yogur asentado, y a que en el caso del yogur batido, aunque se rompió el gel durante el proceso de elaboración, la fibra ayudó a mantener la consistencia del gel. Los valores de textura determinados tanto para el yogur batido (0.41- 0.86 N), como para el asentado (0.65-1.06 N) son mas bajos que los datos obtenidos (1.18-2.35 N)

por Tudorica y col. (2002), para un yogur adicionado con cebada, misma que fue agregada previamente a la formación del gel. En cuanto a la cantidad de fibra adicionada y grasa controlada, aunque aparentemente se observan algunas diferencias de textura o firmeza en el yogur, el análisis de varianza indica que el efecto de la fibra y de la grasa no fueron significativos ( $p > 0.05$ ) en la textura. En lo que respecta al almacenamiento, además de los valores de firmeza, se obtuvieron las áreas bajo la curva o trabajo de penetración (datos no incluidos). En ambos valores, fuerza y trabajo, se obtuvo una tendencia decreciente, es decir, con el tiempo de almacenamiento disminuyó el valor de la fuerza y del trabajo, resultando significativo ( $p < 0.05$ ) el efecto del almacenamiento sobre ambos parámetros texturales.

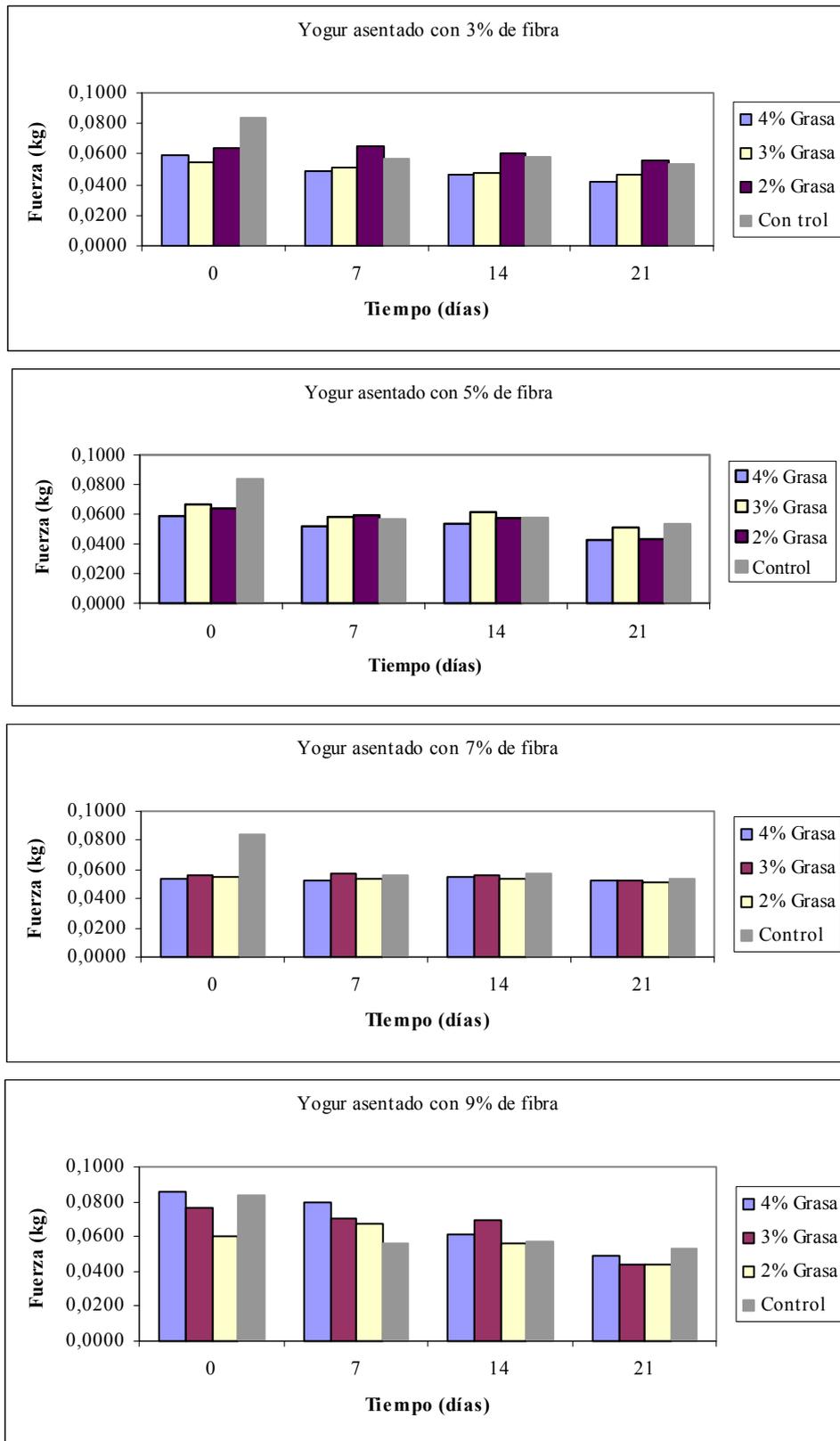


Fig. 7. Variación de la textura en yogur asentado con 4 niveles de fibra y 3 niveles de grasa: a) 3%, b) 5%, c) 7%, d) 9% de fibra.

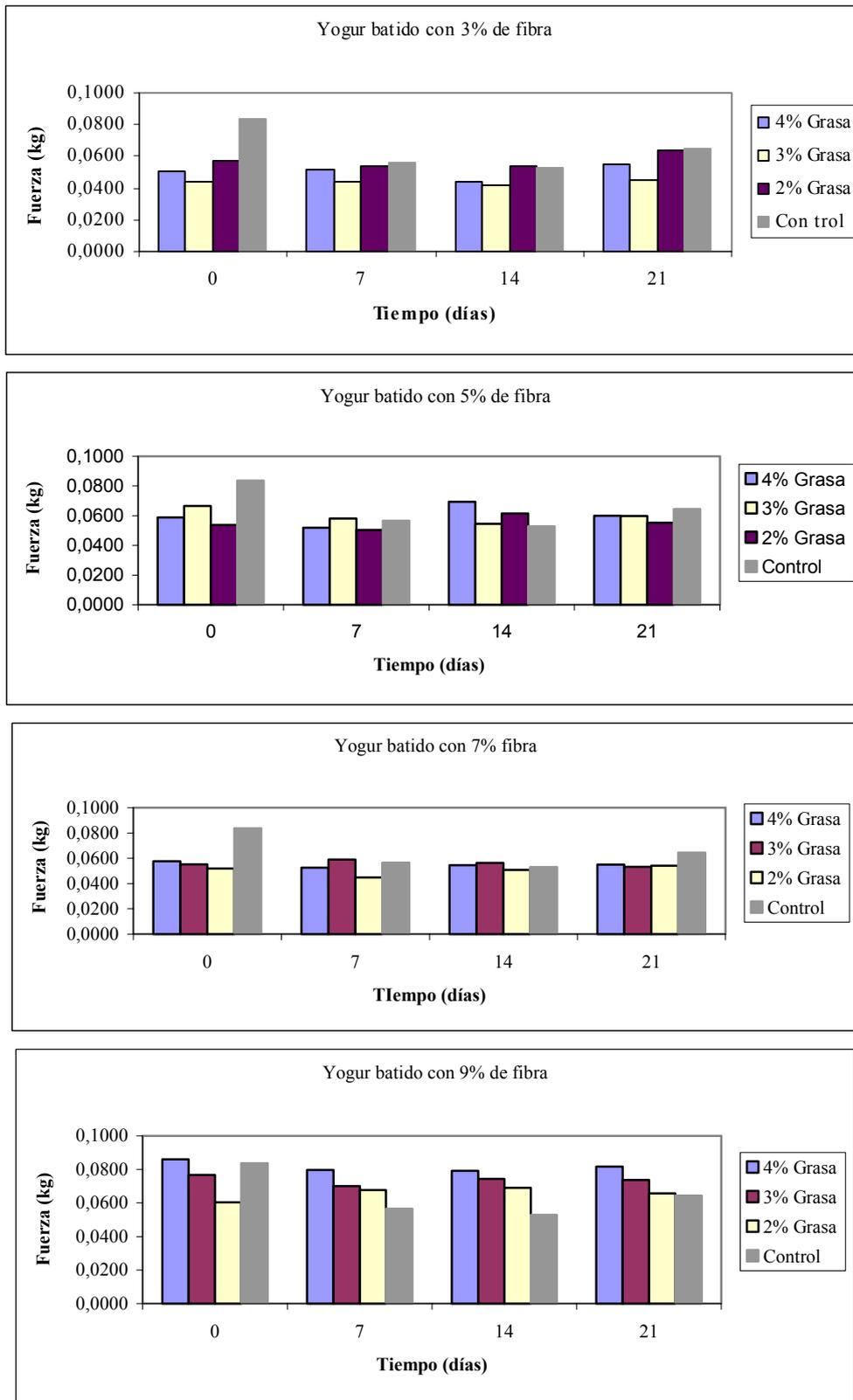


Fig. 8. Variación de la textura en yogur batido con 4 niveles de fibra y 3 niveles de grasa: a) 3%, b) 5%, c) 7%, d) 9% de fibra.

Densidad: el valor de la densidad tuvo una variación de 1047 a 1380 kg/m<sup>3</sup> para los diferentes sistemas estudiados, que en general son valores superiores a lo reportado por otros autores, como Tavman y Tavman (1999), Rivas (2001), Aguirre (2002), y Alatraste (2002); esta diferencia en densidad, principalmente se debe al efecto de la fibra que resulta en un yogur más rico en sólidos y por lo tanto más denso.

## 7.2 Evaluación sensorial

El resumen de las evaluaciones promedio de los valores asignados, por parte de los 20 jueces, a cada sistema se muestra en la Tabla 4; el grupo evaluador funcionó como panel homogéneo. Se puede apreciar con algunas excepciones, que el yogur asentado fue mejor calificado que el batido, indicando que el enriquecimiento con fibra no favorece una mejor aceptación de yogur bebible y que por lo tanto sería mejor incorporarla en yogur de tipo asentado. En el día 10 (primera evaluación), se analizaron 2 aspectos: efecto del nivel de fibra y del nivel de grasa. Primeramente se evaluó el efecto de la fibra en los atributos sensoriales, se proporcionaron 6 sistemas con niveles de fibra 5 y 9%, encontrándose que si hubo diferencia significativa en la

percepción por parte de los jueces en cuanto al contenido de la fibra; el yogur con 5 g fue mejor evaluado. El otro aspecto que se evaluó, fue el nivel de grasa sobre los mismos parámetros de aceptación sensorial para los mismos 6 sistemas, dando como resultado que el yogur con 3% de grasa obtuvo la calificación más alta. Para los otros 6 sistemas se llevó a cabo la misma dinámica, obteniéndose que para 3 y 7% de fibra, la mejor aceptación correspondió al yogur de 3% de fibra y 3% de grasa; este patrón de preferencia fue el mismo tanto para el yogur asentado como para el batido.

Para la segunda etapa (día 21), los resultados obtenidos fueron esencialmente los mismos, detectando que el yogur mejor aceptado fue el de 3% de fibra con 3% de grasa, seguido por un nivel de 5% de fibra con 3% de grasa.

Del análisis de varianza, se observó por un lado, que si existió una diferencia significativa en la percepción por parte de los jueces, pero por otro, que los sistemas evaluados con mejor calificación (3 g fibra con 3% de grasa y 5 g fibra con 3% de grasa), no mostraron una diferencia significativa entre ellos y tampoco con respecto al control que fue el que presentó la mejor calificación.

Tabla 4. Calificaciones promedio del panel de jueces para los yogures asentado y batido.

Asentado/Batido	Sabor	Color	Textura	Aceptación General
Muestra				
A (4G-5F)	5.20/4.59	6.40/5.59	5.27/4.82	5.43/4.24
B (4G-9F)	4.30/4.54	5.20/5.5	5.31/4.65	4.92/3.26
C (3G-5F)	6.20/5.24	6.53/6.05	5.80/5.24	6.17/5.52
D (3G-9F)	4.50/4.23	5.02/5.46	5.02/4.23	5.11/5.03
E (2G-5F)	5.87/4.94	6.60/5.47	5.61/4.59	5.80/4.18
F (2G-9F)	4.00/4.36	5.12/5.31	4.82/4.03	5.34/4.03
G (4G-3F)	6.31/5.12	7.33/6.11	6.33/4.88	6.13/4.71
H (4G-7F)	5.61/5.00	5.22/5.78	5.31/4.56	5.03/3.98
I (3G-3F)	6.40/5.59	7.27/6.12	6.67/5.94	6.87/5.82
J (3G-7F)	5.82/4.98	5.13/5.04	5.22/5.03	4.93/4.63
K (2G-3F)	5.73/4.47	7.23/5.06	6.33/4.47	6.13/4.24
L (2G-7F)	5.13/4.23	5.15/4.98	5.03/4.12	4.32/3.98
CONTROL	7.13/6.06	7.93/6.82	7.13/5.47	7.13/6.18

Tabla 5. Calificaciones promedio para el yogur asentado (3g de fibra y 3% de grasa), adicionado con sabor.

Muestra	Sabor	Color	Textura	Aceptación General
Piña Colada	7.714	8.000	7.9286	7.643
Café	4.571	7.500	6.9286	5.286
Vainilla	7.571	7.643	7.6429	7.429
Mango	8.643	8.071	8.3571	8.643

Finalmente, para tratar de mejorar el grado de aceptación del yogur enriquecido con fibra, se utilizó yogur asentado con 3% de grasa y 3 g de fibra para la adición de sabor, eligiendo 4 sabores: vainilla, café, mango y piña colada. Así los diferentes sabores se evaluaron sensorialmente para tratar de determinar el grado de aceptación y de preferencia por parte de otro grupo de jueces, los resultados promedio de esta prueba sensorial se incluyen en la tabla 5, donde se observa un incremento generalizado en los atributos evaluados por parte del panel, con respecto a la evaluación del yogur sin sabor adicionado.

Del análisis de varianza aplicado al yogur con sabor, se concluyó que el color fue el único parámetro que no presentó una diferencia significativa en cuanto a las muestras, lo que se puede interpretar como que a los jueces les da igual el color del yogur probado. Mientras que para la apariencia general, el sabor y la textura si existió una diferencia significativa, resultando como mejor evaluado el yogur con sabor a mango, con calificaciones por arriba de 7.5 y siendo el de sabor café, el menos gustado. Y aunque ya no se probó en este trabajo, es posible que la incorporación de sabor en yogur asentado con un mayor contenido de fibra (> 3g), contribuya a una mayor aceptación de este producto por parte del consumidor.

### Conclusiones

La elaboración de un yogur enriquecido con fibra es una muy buena opción para el consumidor ya que tiene

efectos benéficos a la salud. El salvado además de ser una fuente muy rica de fibra insoluble, posee un alto contenido proteico y de  $\beta$ glucano, que hacen del yogur un alimento funcional.

La adición de fibra y el control del nivel de grasa del yogur, tienen un efecto en ciertas propiedades fisicoquímicas. Particularmente, en este estudio, desde el punto de vista estadístico se tiene una diferencia significativa en parámetros como acidez, color, pH, sinéresis, y textura. La viscosidad aparente y/o las propiedades reológicas también fueron afectadas importantemente por la fibra adicionada, el nivel de grasa y el tiempo de almacenamiento.

El porcentaje de acidez es un parámetro que aumentó durante el tiempo de almacenamiento debido a la actividad metabólica de los microorganismos iniciadores agregados para la elaboración del yogur, lo que incrementó el valor de ácido láctico durante el almacenamiento, ocasionando una disminución en el pH. En cuanto al color, el parámetro L fue afectado por el nivel de grasa, ya que este componente afecta la luminosidad o claridad del yogur. Por otro lado, entre mayor fue el contenido de fibra, menor resultó el valor de L; los parámetros a y b representan el croma, a mostró tendencia hacia los colores rojos debido a la fibra presente en el yogur, mientras que b tendió hacia colores amarillos.

La viscosidad y la textura como parámetros físicos del yogur, que representan la consistencia y el estado

físico de los componentes en el gel, resultaron mas altos en los sistemas con alto contenido de fibra y alto contenido de grasa ya que entre mayor sea el contenido de grasa se forma un gel con mayor consistencia y firmeza. En cuanto al flujo, el yogur se comportó como fluido no newtoniano de carácter pseudoplástico, en el cual las propiedades reológicas del reograma ascendente, fueron ajustadas satisfactoriamente por el modelo de Ostwald. El aumento del contenido de fibra tuvo como consecuencia un aumento del coeficiente de consistencia y aparentemente también incrementó la pseudoplasticidad; en ambos parámetros reológicos la influencia de la grasa fue muy importante.

Prácticamente todos los factores arriba mencionados, fueron afectados significativamente por el tiempo de almacenamiento, lo que básicamente refleja la pérdida de calidad que sufre el yogur durante su vida de anaquel. Se puede considerar que aún después de tres semanas de almacenamiento el yogur enriquecido con fibra y con 3% de grasa, tiene buena aceptación; aceptación que se mejora por la incorporación de sabores, siendo el mango el que mejores resultados mostró en la evaluación sensorial efectuada.

## Referencias

- Aguirre, S. (2002). Evaluación del efecto de la adición de calcio y reducción del nivel de grasa en las propiedades físicas, químicas y sensoriales del yogurt. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas-Puebla.
- Alatríste, K. (2002). Efecto de la adición de fibra y calcio en un yogurt con sabor. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas-Puebla.
- AOAC (2000). *Official Methods of Analysis* (17<sup>th</sup> ed.) Association of Official Analytical Chemist, Washington, EUA.
- Aportela, A. (2003). Estudio de las propiedades físicas, químicas y sensoriales en un yogurt saborizado, enriquecido con fibra y calcio. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas-Puebla.
- Basak, S. y Ramaswamy, H. (1994). Simultaneous evaluation of shear rate and time dependency of stirred yogurt rheology as influenced by added pectin and strawberry concentrate. *Journal of Food Engineering* 21 385-393.
- Brookfield (1995). Manual del viscosímetro. Brookfield Engineering Laboratorios Inc. Middleboro, MA. EUA.
- Clemens, R. A. (2001). Redefining fiber. *Food Technology* 55 (2), 100.
- Díaz, B. (2002). Evaluación del efecto de la adición de fibra y modificación del nivel de grasa en las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales del yogurt. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas-Puebla.
- Drake, M., Chen, X., Tamarapu, S. y Leenanon, B. (2000). Soy protein fortification affects sensory, chemical, and microbiological properties of dairy yogurts. *Journal of Food Science* 65 (7), 1244-1247.
- Egan, H., Kirk, R. y Sawyer, R. (1987). *Análisis Químico de Alimentos de Pearson*. C.E.C.S.A., D.F., México.
- Fennema, O. R. (1996). Química de los Alimentos. 2<sup>o</sup> Ed. Acribia. S.A., Zaragoza, España.
- IFT (1989). Dietary fiber. A scientific status summary. *Food Technology* 43 (10), 133-139.
- Keogh, M.K. y O'Kennedy, B.T. (1999). Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein, and hydrocolloids. *Journal of Food Science*. 63 (1), 108-112.
- Lopez-Malo, A., (2000), *Manual de Prácticas de Análisis de Alimentos*. Universidad de las Américas, Puebla. Inédito.
- Penna, A.L.B., Oliveira, M.N. y Tamime, A.Y. (2003) Influence of carrageenan and total solids content on the rheological properties of lactic beverage made with yogurt and whey. *Journal of Texture Studies* 34, 95-113.
- Pirkul, T., Temiz A. y Kemal Y. (1998) Fortification of yoghurt with calcium salts and its effects on starter microorganisms and yoghurt quality. *International Dairy Journal* 11 547-551.
- Ramaswamy, H.S. y Basak, S. (1992). Pectin and raspberry concentrate on the rheology of stirred commercial yogurt. *Journal of Food Science* 57 (2), 357-360.

- Rivas, A., (2001), Efecto de la adición de calcio sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de dos tipos de yogur. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de las Américas-Puebla.
- Rohm, H. y Schmid, W. (1993). Influence of dry matter fortification on flow properties of yogurt. 1. Evaluation of flow curves. *Milchwissenschaft* 48 (10), 556-560.
- Saxelin, M., Korpela, R., Mäyrä-Makinen, A. (2003) Introduction: classifying functional dairy products. En: *Functional Dairy Products* (Eds. T. Mattila-Sandholm y M. Saarela). Pp 1-16. CRC Press. Cambridge, Inglaterra.
- Shah, N. (2001). Functional foods from probiotics and prebiotics. *Food Technology* 55 (11), 50-54.
- Tamime, A.Y. y Robinson, R.K. (1991). *Yogurt Ciencia y Tecnología* (1ª ed.), Ed. Acirbia, Zaragoza, España.
- Tavman, I. y Taiman, S., (1999). Measurement of thermal conductivity of dairy products. *Journal of Food Engineering* 41, 109-114.
- Tridjoko, W., Bouillannie, C., Landon, M. y Desmazeaud, M. (1992). Bacterial growth and volatile compounds in yogurt-type products from soymilk containing *Bifidobacterium ssp.* *Journal of Food Science* 55, 153-155.
- Trowell, H.C. (1976). Dietary fiber redefined. Lancet, Southgate DAT.
- Tudorica, C.M., Brennan, C.S., Kuri, V. y Jones, T.E.R. (2002). Yoghurt rheology and microstructure as affected by barley  $\beta$  glucan inclusion. En: *Progress in Rheology: Theory and Applications* (eds. F.J. Martínez, A. Guerrero, P. Partal, J. Franco y J. Muñoz) Pp 425-427. Publicaciones Digitales S.A., Sevilla, España.
- Vélez, J. F. (2004). *Apuntes de Procesamiento de Productos Acteos*. Universidad de las Américas, Puebla. Inéditos.
- Vélez-Ruiz, J.F. y Barbosa-Cánovas, G.V. (1997). Rheological properties of selected dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37 (4), 311-359.
- Vélez, J. y Rivas, A. (2001). Propiedades y características del yogur. *Revista Internacional Información Tecnológica* 12 (6) 35-42.