

# TEXTURA Y MICROESTRUCTURA DE QUESOS TIPO PANELA BAJOS EN GRASA Y EN COLESTEROL: DIFERENTES METODOLOGÍAS

## TEXTURE AND MICROSTRUCTURE OF LOW-FAT AND LOW-CHOLESTEROL PANELA TYPE CHEESES: DIFFERENT METHODOLOGIES

Consuelo Lobato-Calleros<sup>1\*</sup>; Ivanhoe Lozano-Castañeda<sup>1</sup>; E. Jaime Vernon-Carter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Preparatoria Agrícola y Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, México, D. F., C. P. 09340, MÉXICO.

Correo-e: consuelobato@yahoo.com (\*Autor responsable).

### RESUMEN

Tres quesos Panela bajos en grasa fueron preparados a partir de leche (13.5 g grasa·L<sup>-1</sup> leche) adicionada con los siguientes hidrocoloides: pectina de bajo metoxilo (Q<sub>PE</sub>), concentrado de proteína de lactosuero (Q<sub>CP</sub>) y proteína de lactosuero microparticulada (Q<sub>PM</sub>). Adicionalmente se elaboró un queso Panela bajo en grasa a partir de leche (6.75 g grasa·L<sup>-1</sup>) incorporada con 6.1 g de aceite de canola emulsionado en agua·L<sup>-1</sup> (Q<sub>EM</sub>) y un queso Panela bajo en grasa a partir de leche homogenizada (13.5 g grasa·L<sup>-1</sup> leche) (Q<sub>HM</sub>). Como controles se elaboraron un queso bajo en grasa (Q<sub>BG</sub>) (13.5 g grasa·L<sup>-1</sup> leche) y un queso completo en grasa (Q<sub>CG</sub>) (27 g grasa·L<sup>-1</sup> leche). Los quesos de los diferentes tratamientos, después de 48 h, fueron sujetos a análisis de composición química, determinación instrumental de textura (Análisis de Perfil de Textura), evaluación sensorial de textura (por medio de un panel de jueces entrenados) y análisis de microestructura (Microscopía Electrónica de Barrido). Los quesos Q<sub>PE</sub>, Q<sub>PM</sub> y Q<sub>EM</sub> tuvieron una matriz proteínica relajada, porosa y abierta que estuvo asociada con valores bajos de dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad; por su parte, los quesos Q<sub>BG</sub> y Q<sub>HM</sub> mostraron una matriz proteínica compacta y densa, relacionada con altos valores de dureza, elasticidad y masticabilidad. El queso Q<sub>CP</sub> presentó características texturales instrumentales comparables a aquellas del queso Q<sub>CG</sub>, aún cuando su matriz proteínica fue aparentemente más compacta y lisa que la correspondiente a este último. En general, los valores de la evaluación sensorial de textura tuvieron una buena correlación con las determinaciones instrumentales.

**Palabras clave adicionales:** pectina de bajo metoxilo, proteína de lactosuero, emulsiones, evaluación sensorial.

### ABSTRACT

Three low-fat Panela cheeses were prepared from milk (13.5 g fat·L<sup>-1</sup> milk) added with the following hydrocolloids: low methoxyl pectin (Q<sub>PE</sub>), whey protein concentrate (Q<sub>CP</sub>), and microparticulated whey protein (Q<sub>PM</sub>). Additionally a low-fat Panela cheese was prepared from milk (6.75 g fat·L<sup>-1</sup>) incorporated with 6.1 g of emulsified canola oil in water·L<sup>-1</sup> (Q<sub>EM</sub>), and a low-fat Panela cheese was made from homogenized milk (13.5 g fat·L<sup>-1</sup> milk) (Q<sub>HM</sub>). As controls, a low-fat cheese (Q<sub>BG</sub>) (13.5 g fat·L<sup>-1</sup> milk), and a full-fat cheese (Q<sub>CG</sub>) (27 g fat·L<sup>-1</sup> milk) were prepared. After 48 h of manufactured, the different cheese treatments were subjected to chemical composition analysis, instrumental texture determination (Texture Profile Analysis), sensory texture evaluation (by a trained panel of judges), and microstructural analysis (Scanning Electron Microscopy). The Q<sub>PE</sub>, Q<sub>PM</sub>, and Q<sub>EM</sub> cheeses had a relaxed, porous and open protein matrix associated with low values of hardness, springiness, cohesiveness, and chewiness; while the Q<sub>BG</sub> and Q<sub>HM</sub> cheeses showed a compact and dense protein matrix related with high values of hardness, springiness and chewiness. The Q<sub>CP</sub> cheese presented instrumental textural characteristics comparable to those of the Q<sub>CG</sub> cheese even though its protein matrix was apparently more compact and smoother than the corresponding to this latter. In general terms, the sensory texture characteristics correlated well with the instrumental textural characteristics.

**Additional key words.** Low methoxyl pectin, whey protein, emulsions, sensory evaluation.

## INTRODUCCIÓN

Las tendencias de los consumidores a nivel mundial se han enfocado al consumo de productos “sanos”, tales que además de su contribución nutricional, ofrezcan beneficios a la salud (Lobato-Calleros *et al.*, 2008). Esto ha conducido a los industriales a desarrollar productos que cumplan con estas expectativas. Sin embargo, dicho desarrollo se efectúa de forma empírica, sin un entendimiento claro acerca del efecto de la formulación en la composición, la microestructura y las características texturales de los productos.

La producción de derivados lácteos “light”; como por ejemplo, los elaborados a partir de leche descremada o baja en grasa, se ha incrementado ampliamente en los últimos años; entre este grupo de alimentos destacan distintos tipos de queso (Barrantes *et al.*, 1994). Aparentemente, la mayoría de las compañías de alimentos tienen como meta inmediata o mediata, el desarrollo de productos bajos en grasa que den respuesta a la creciente demanda de este grupo de alimentos, considerados como más saludables por los consumidores. El reto es cómo disminuir o eliminar la grasa de un alimento, sin perder las propiedades que ésta le confiere (Clark, 1990). La textura y el sabor del queso son factores de calidad que inciden directamente sobre su aceptación por el consumidor (Drake y Gerard, 1999), dependiendo ambos de la composición química del producto y del arreglo estructural de sus componentes, este último alterado por cambios en el contenido y en el tipo del componente graso del queso. Entre los atributos de los productos lácteos relacionados con la grasa se encuentran: sabor, cremosidad, color, acidez, viscosidad, cuerpo, resistencia a la aplicación de un esfuerzo, sensación bucal, fusión, emulsión, aireación, opacidad, brillo, saciedad, textura, entre otros (Lucca y Tepper, 1994), siendo los relacionados con la textura los más difíciles de emular.

Lo mencionado ha llevado a la realización de diversas investigaciones en las que diversos tipos de queso han sido sujetos a modificaciones en su composición química y proceso de elaboración, con la finalidad de reducir considerablemente sus contenidos en grasa láctea de tipo saturado y al mismo tiempo lograr que muestren una textura similar a las de sus contrapartes completas en grasa. Entre las metodologías que se han aplicado se pueden citar: la homogenización de la leche, la modificación de las temperaturas de procesamiento del queso, la sustitución parcial de la grasa láctea por ingredientes de naturaleza sacárida y/o proteínica, la incorporación de emulsiones aceite-en-agua y modificaciones en la dieta de las vacas productoras de leche, entre otras (Tunick *et al.*, 1993; Mistry y Anderson 1993; McMahon *et al.*, 1996; Lobato-Calleros *et al.*, 2002; Lobato-Calleros *et al.*, 2008). No obstante, la mayoría de estos estudios se han enfocado sobre una de las metodologías señaladas, sin aplicar de manera conjunta varias de ellas.

Los objetivos de este trabajo fueron: (a) evaluar la microestructura y la textura (sensorial e instrumental) generadas en quesos tipo Panela bajos en grasa y en colesterol, al aplicar metodologías consistentes en el uso de sustitutos de grasa, emulsiones aceite-en-agua y homogenización de la leche; (b)

comparar las características estructurales y texturales de los quesos tipo Panela bajos en grasa y en colesterol estudiados con aquellas de un queso tipo Panela bajo en grasa y de uno completo en grasa y (c) determinar la metodología más adecuada para la obtención de un queso tipo Panela bajo en grasa y en colesterol, con características texturales comparables a las mostradas por su contraparte completa en grasa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tratamientos de queso

Se elaboraron como controles un queso tipo Panela completo en grasa ( $Q_{CG}$ ) a partir de leche con  $27.0 \pm 0.1$  g de grasa láctea- $L^{-1}$  y uno bajo en grasa ( $Q_{BG}$ ) usando leche con  $13.5 \pm 0.1$  g de grasa láctea- $L^{-1}$ . Adicionalmente, se prepararon cinco tratamientos de queso tipo Panela bajos en grasa (Cuadro 1) a partir de leche conteniendo (13.5 o 6.75 g de grasa láctea- $L^{-1}$ ):  $Q_{HM}$ , leche homogenizada;  $Q_{EM}$ , leche adicionada con aceite de canola (CO, Capullo®, Unilever de México, S.A. de C.V., Tultitlan, Edo. de México) emulsionado;  $Q_{CP}$ , leche adicionada con concentrado de proteína de lactosuero (CP, WPC-80, Lácteos PROMINE S.A. de C.V., Ciudad de México);  $Q_{PM}$ , leche adicionada con proteína de lactosuero microparticulada (PM, Simplese 100®, CP Kelco de México, S.A., Ciudad de México) y  $Q_{PE}$ , leche adicionada con pectina de bajo metoxilo (PE, Slendid 200®, Química Hércules de México, S.A. de C.V., Ciudad de México).

### Acondicionamiento de la leche usada para la elaboración de los quesos

Para la elaboración de todos los tratamientos de queso se utilizaron lotes de 15 L de leche cruda (Unidad de Tecnología Lechera de la Universidad Autónoma Chapingo). El contenido en grasa láctea de la leche se estandarizó de acuerdo al Cuadro 1. La leche usada para la elaboración del queso  $Q_{HM}$  se homogenizó en un paso usando un homogenizador Ultra-Turrax® T50 basic (IKA® Works, Inc., Wilmington, E.U.A), manteniendo una temperatura de  $40 \pm 1$  °C y una velocidad de agitación de 7000 rpm, durante 10 min. Para la elaboración del queso  $Q_{CP}$  se

**Cuadro 1. Contenidos de grasa láctea, aceite de canola emulsionado y sustitutos de grasa en la leche usada para la elaboración de los tratamientos de queso tipo Panela.**

Código del queso	Grasa láctea en leche (g- $L^{-1}$ )	Aceite de canola en leche (g- $L^{-1}$ )	Sustituto de grasa en leche (g- $L^{-1}$ )
$Q_{CG}$	$27.0 \pm 0.1$	-	-
$Q_{BG}$	$13.5 \pm 0.1$	-	-
$Q_{HM}$	$13.5 \pm 0.1$	-	-
$Q_{EM}$	$6.75 \pm 0.1$	6.1	-
$Q_{CP}$	$13.5 \pm 0.1$	-	10.0
$Q_{PM}$	$13.5 \pm 0.1$	-	10.0
$Q_{PE}$	$13.5 \pm 0.1$	-	2.5

CG: completo en grasa; BG: bajo en grasa; HM: leche homogenizada; EM: aceite de canola emulsionado; CP: concentrado de proteína de lactosuero; PM: proteína de lactosuero microparticulada y PE: pectina de bajo metoxilo.

dispersaron 150 g de CP en 1 L de leche ( $13.5 \pm 0.1$  g de grasa láctea·L<sup>-1</sup>,  $40 \pm 1$  °C), mediante agitación constante (CAFRAMO, modelo RZR1, Cole-Parmer, Vernon Hills, IL, E.U.A.). Posteriormente, la dispersión se calentó a  $75 \pm 1$  °C, durante 10 min, aplicando agitación moderada, se enfrió a  $40 \pm 1$  °C e incorporó a 14 L de leche cruda ( $13.5 \pm 0.1$  g de grasa láctea·L<sup>-1</sup>,  $40 \pm 1$  °C). El procedimiento para la dispersión y adición de la PM a la leche usada para la preparación del queso Q<sub>PM</sub> fue igual al antes descrito para CP en el queso Q<sub>CP</sub>.

La leche destinada a la preparación del queso Q<sub>EM</sub> fue adicionada con 6.1 g de aceite de canola emulsionado·L<sup>-1</sup>. La preparación de la emulsión aceite de canola-en-agua (O/W) se llevó a cabo de la siguiente manera: 91.5 g de aceite de canola se adicionaron con 10.1 g de una mezcla de emulsificantes compuesta por 5.1 g de monoestearato de sorbitán polioxietileno (P), 2.0 g de monoestearato de sorbitán (S) y 3.0 g de monoestearato de glicerilo (G) (todos ellos obtenidos de Canamex, S.A. de C.V., Ciudad de México) (Lobato-Calleros *et al.*, 2007); se aplicó agitación mecánica moderada y se calentó hasta alcanzar una temperatura de  $60 \pm 1$  °C. La mezcla aceite de canola-emulsificantes se incorporó a 1 L de leche ( $6.75 \pm 0.1$  g de grasa láctea·L<sup>-1</sup>,  $60 \pm 1$  °C), gota a gota, formando la emulsión mediante el homogenizador Ultra-Turrax® T50 basic operado a una velocidad de 4000 rpm. Después de adicionar la última gota de aceite de canola-emulsificantes, se continuó la homogenización a 6000 rpm, durante 10 min. Posteriormente, la emulsión obtenida fue agregada lentamente a 14 L de leche ( $6.75 \pm 0.1$  g de grasa láctea·L<sup>-1</sup>,  $40 \pm 0.1$  °C), homogenizando a 4000 rpm durante 10 min. Para el caso del queso Q<sub>PE</sub>, 37.5 g de pectina de bajo metoxilo se añadieron a 1 L de agua destilada agitando vigorosamente con el equipo CAFRAMO hasta dispersión completa, se aplicó calentamiento hasta alcanzar una temperatura de  $75 \pm 1$  °C, la cual se mantuvo durante 10 min, se enfrió la dispersión acuosa de pectina a  $40 \pm 1$  °C y se adicionó a 15 L de leche ( $13.5$  g de grasa·L<sup>-1</sup>,  $40 \pm 0.1$  °C).

### Preparación de los quesos

El manejo de la leche destinada a la preparación de los distintos quesos después de su acondicionamiento fue el mismo y consistió en: pasterización ( $63 \pm 1$  °C, 30 min), enfriamiento ( $38 \pm 1$  °C), adición de cloruro de calcio ( $0.15$  g·L<sup>-1</sup>), adición de cuajo ( $0.15$  mL·L<sup>-1</sup>, renina fuerza 1:10000, Industrias Cuamex, S.A. de C.V., Ciudad de México). Después de un tiempo de coagulación de aproximadamente 30 min, la cuajada se cortó en cubos de 1 cm<sup>3</sup> con liras de acero inoxidable y se agitó lentamente durante 5 min para promover el desuerado y favorecer la formación de granos de cuajada más pequeños y uniformes en tamaño. El grano de cuajada se dejó reposar durante 10 min más para favorecer la separación del suero; transcurrido este tiempo, se eliminó cerca del 85 % de suero y se adicionó la sal (13 g de sal de mesa·L<sup>-1</sup> de leche), agitando moderadamente y dejando reposar durante 10 min. Una vez realizado el salado, la cuajada se colocó en moldes de plástico (de aproximadamente 1 kg de capacidad), permaneciendo en éstos a temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C) durante media hora; después, los quesos se voltearon y se volvieron a colocar en los moldes, dejándolos desuerar a

temperatura ambiente por 2 h más. Los quesos se sacaron de los moldes y se mantuvieron a temperatura ambiente por 2 h, antes de ser colocados en bolsas de polietileno, las cuales se sellaron térmicamente. Los quesos se mantuvieron bajo refrigeración por 48 h a una temperatura de  $4 \pm 0.5$  °C antes de su caracterización. De cada uno de los tratamientos se prepararon tres réplicas, aplicando un diseño experimental completamente al azar.

### Análisis de Microestructura

El estudio de la microestructura de los quesos se realizó mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido, usando muestras cilíndricas (0.5 cm de diámetro) tomadas del centro de cada pieza de queso con un sacabocados de igual diámetro interno, a las cuales se ajustó su altura a 1 cm con una navaja. La preparación de las muestras se llevó a cabo por el método propuesto por Lobato-Calleros *et al.* (1998); las muestras se secaron a punto crítico en un equipo CPA II Technics Critical Point Dryer (Tousimis Rockville, MD) y se recubrieron con una capa delgada de oro en un equipo Fine Coat Ion Sputter JFC-1100 (Jeol Ltd, Akishima, Japón). La observación de las muestras se realizó en un microscopio electrónico de barrido de alto vacío, JEOL Scanning Microscope JMS-35 (Jeol Ltd, Akishima, Japón) a 15 KV. Se tomaron seis micrografías representativas de las muestras de cada tratamiento a ampliaciones de 540 y 2000×.

### Análisis instrumental de textura

Los quesos, después de 48 h de su elaboración, se sometieron a Análisis de Perfil de Textura (APT) (Bourne 2002), empleando un texturómetro (Stable Micro Systems, Mod. TA-XT2i, Gran Bretaña). Muestras cilíndricas de cada uno de los tratamientos fueron tomadas del centro de cada pieza de queso con un sacabocados de ½ pulgada de diámetro interno; posteriormente se ajustó su altura a 1.1 cm. Las muestras de queso se colocaron en cajas Petri y se conservaron a temperatura ambiente por 2 h, después de lo cual se sometieron a la compresión del 50 % de su altura, en dos ciclos, usando una sonda P50 y una velocidad del cabezal de 120 mm·min<sup>-1</sup>. Cada réplica de los tratamientos de queso se analizó por cuatruplicado. Las características texturales de dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad (Szczesniak, 1963), se calcularon a partir de las curvas fuerza-tiempo y fuerza-distancia, usando el software del equipo.

### Análisis sensorial de textura

Las características sensoriales de los quesos fueron evaluadas por un panel de jueces entrenados (n=6). A partir de un grupo de 15 personas, integrado por estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo de edades entre 18 y 22 años, se seleccionaron seis personas (cuatro mujeres y dos hombres) para que siguieran entrenamiento sensorial. Dicha selección se realizó con base en sus habilidades para la distinción de quesos mexicanos (Panela, tipo Manchego, Blanco, Asadero, queso Crema, entre otros) con diversas composiciones químicas y diferentes características texturales; para ello se llevaron a cabo cinco sesiones en las que los aspirantes al panel tuvieron que

realizar pruebas de triángulo (cinco por sesión) (Anzaldúa, 1994). Fueron seleccionados los aspirantes al panel que incrementaron su habilidad discriminativa a lo largo de las cinco sesiones hasta llegar a un porcentaje de aciertos mayor al 95 %. Los integrantes del panel fueron entrenados para pruebas de diferenciación, análisis descriptivo y ordenamiento por más de 150 h, de acuerdo a los procedimientos y recomendaciones de Gellinek (1985) y Meilgaard *et al.* (1991).

Para la evaluación sensorial de las características texturales de los quesos, se tomaron muestras del centro de cada pieza, de geometría cúbica (1 cm<sup>3</sup>), las cuales se mantuvieron en cajas Petri a temperatura ambiente (20 ± 2°C) durante 2 h. Los jueces evaluaron las características texturales de los quesos usando una prueba descriptiva de calificación por medio de una escala de intervalo de 15 cm con 3 puntos (extremos mínimo y máximo y un punto central asignado al queso Q<sub>CG</sub>) (Anzaldúa, 1994). Se solicitó a los jueces que: (a) evaluaran las siguientes características texturales de cada uno de los quesos: firmeza (fuerza requerida para penetrar completamente una muestra con los dientes molares); elasticidad (proporción en la cual una muestra deformada regresa a su condición original después de que la fuerza de compresión es removida); cohesividad (extensión a la que una muestra puede deformarse antes de que se rompa); masticabilidad (número de masticadas requeridas para reducir una muestra a un estado fácil de deglutir) y recubrimiento bucal (tipo y grado de recubrimiento que causa en la boca el contenido de grasa-aceite de la muestra después de la masticación) y (b) señalaran la intensidad de cada característica, marcando con una línea transversal una posición sobre la escala usando una línea transversal. Muestras de cada tratamiento fueron evaluadas por triplicado por cada juez (n=18).

### Análisis de datos

Se aplicó análisis de varianza de una vía y pruebas de Tukey en caso pertinente, para determinar deferencias entre las medias de los datos de composición y de textura de los quesos. La significancia se estableció en  $P \leq 0.05$ . El análisis de datos se llevó a cabo con el paquete estadístico Statgraphics Plus (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc., Cambridge, MA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química y rendimiento

Los tratamientos de queso variaron en sus contenidos de grasa, humedad y proteína ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 2). El queso Q<sub>CG</sub> mostró un contenido graso significativamente más elevado que el resto de los tratamientos, puesto que la leche usada en su preparación contuvo 27 ± 0.1 g de grasa·L<sup>-1</sup>, en comparación con 13.5 ± 0.1 y 6.75 ± 0.1 g de grasa·L<sup>-1</sup> en la leche utilizada para la elaboración de los quesos bajos en grasa. Estos últimos, presentaron contenidos grasos similares ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 2), a excepción del queso Q<sub>EM</sub> que tuvo menor contenido graso ( $P \leq 0.05$ ); resultado que indica que hubo pérdida de aceite de canola durante su elaboración.

**Cuadro 2. Composición química y rendimiento (medias ± desviación estándar) de los quesos.**

Código del queso	Grasa (% b.h.)	Humedad (%)	Proteína (% b.h.)	Rendimiento (%)
Q <sub>CG</sub>	16.0 ± 0.0 <sup>c</sup>	60.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	15.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	15.3 ± 0.9 <sup>ab</sup>
Q <sub>BG</sub>	9.5 ± 0.0 <sup>b</sup>	65.1 ± 1.0 <sup>cd</sup>	19.8 ± 1.6 <sup>c</sup>	12.8 ± 0.8 <sup>a</sup>
Q <sub>HM</sub>	10.0 ± 0.0 <sup>b</sup>	62.0 ± 0.9 <sup>ab</sup>	19.6 ± 1.1 <sup>c</sup>	13.4 ± 0.9 <sup>ab</sup>
Q <sub>EM</sub>	8.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	65.6 ± 0.1 <sup>cd</sup>	20.6 ± 0.4 <sup>c</sup>	15.2 ± 1.8 <sup>ab</sup>
Q <sub>CP</sub>	9.8 ± 0.4 <sup>b</sup>	63.4 ± 1.3 <sup>bc</sup>	20.5 ± 0.8 <sup>c</sup>	14.4 ± 0.5 <sup>ab</sup>
Q <sub>PM</sub>	9.3 ± 0.4 <sup>b</sup>	65.3 ± 0.3 <sup>cd</sup>	19.7 ± 0.3 <sup>c</sup>	15.7 ± 1.0 <sup>b</sup>
Q <sub>PE</sub>	9.5 ± 0.0 <sup>b</sup>	66.9 ± 0.3 <sup>d</sup>	17.7 ± 0.7 <sup>b</sup>	16.1 ± 0.3 <sup>b</sup>

CG: completo en grasa; BG: bajo en grasa; HM: leche homogenizada, EM: aceite de canola emulsionado; CP: concentrado de proteína de lactosuero; PM: proteína de lactosuero microparticulada y PE: pectina de bajo metoxilo.

<sup>a, b, c, d</sup>: diferentes superíndices en una misma columna indican que las medias difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ).

El queso Q<sub>CG</sub> mostró menor contenido de humedad que la gran mayoría de los quesos bajos en grasa; siendo solamente el queso Q<sub>HM</sub> el que presentó una retención de agua tan baja ( $P > 0.05$ ) como la mostrada por el primero (Cuadro 2). El queso Q<sub>BG</sub> mostró mayor contenido de humedad ( $P \leq 0.05$ ) que el queso Q<sub>CG</sub>, como consecuencia de la disminución porcentual de su contenido graso; resultados acordes con lo informado para queso Monterrey Jack (Drake *et al.*, 1995) y para queso tipo Manchego (Lobato-Calleros *et al.*, 2001). Los quesos bajos en grasa Q<sub>CP</sub>, Q<sub>EM</sub>, Q<sub>PM</sub> y Q<sub>PE</sub> exhibieron contenidos de humedad semejantes a los del queso Q<sub>BG</sub> ( $P > 0.05$ ) y más elevados ( $P \leq 0.05$ ) que el correspondiente al queso Q<sub>CG</sub> (Cuadro 2).

El queso Q<sub>CG</sub> mostró menor contenido de proteína ( $P \leq 0.05$ ) que los quesos bajos en grasa (Cuadro 2). A su vez, el queso Q<sub>BG</sub> exhibió un contenido proteínico similar ( $P > 0.05$ ) a aquellos observados en la mayoría de los quesos bajos en grasa. En particular, cabe señalar que el queso Q<sub>PE</sub> adicionado con pectina, tuvo menor cantidad de proteína que el resto de los quesos bajos en grasa, resultado que se explica al considerar la naturaleza sacárida de la pectina y su elevada capacidad para retener agua. El pH de todos los quesos varió en el rango de 6.5 a 6.8.

### Microestructura

La microestructura del queso Q<sub>CG</sub> (Figura 1a) consistió de una matriz proteínica porosa y abierta, en la que numerosos glóbulos de grasa de tamaño muy variable y forma semiesférica (observada por los espacios vacíos), estuvieron uniformemente distribuidos, dando lugar a una estructura semejante a la de un panal de abejas. Además, pudo apreciarse la apariencia rugosa de la red proteínica y la coalescencia que sufrieron algunos glóbulos grasos a través de la formación de espacios de mayor tamaño. En contraste, el queso Q<sub>BG</sub> (Figura 1b) mostró una red proteínica más compacta y más densa que aquella del queso Q<sub>CG</sub> (Figura 1a), con zonas de elevada densidad proteínica, originadas por la reducción en el número de glóbulos grasos presentes. Tales zonas en las que predominó la proteína, impartieron lisura a la red. Las diferencias observadas en las estructuras de los



quesos  $Q_{CG}$  y  $Q_{BG}$ , coincidieron con las informadas para otros tipos de queso, como el tipo Manchego (Lobato-Calleros *et al.*, 2001), Mozzarella, Suizo y quesos procesados (Mistry y Anderson, 1993), y Cheddar (Mistry y Anderson, 1993; Bryant *et al.*, 1995).

La red proteínica del queso  $Q_{HM}$  elaborado a partir de leche homogenizada (Figura 2a), tuvo una apariencia más densa y más cerrada que la red proteínica del queso  $Q_{CG}$  (Figura 1a), pero comparable a la del queso  $Q_{BG}$  (Figura 1b); diferenciándose de este último por el tamaño considerablemente menor de los glóbulos grasos distribuidos en la matriz proteínica (Figura 2a).

El queso  $Q_{EM}$  (Figura 2b), exhibió una red proteínica más abierta y relajada que las observadas en los quesos  $Q_{CG}$  (Figura 1a) y  $Q_{HM}$  (Figura 2a), en la que estuvieron dispersas partículas grasas de dos tipos: gotas de aceite emulsionadas y glóbulos de grasa láctea; las primeras de menor tamaño que las segundas. La matriz proteínica del queso  $Q_{EM}$  mostró una apariencia cavernosa, altamente rugosa, en la que la presencia de estos dos tipos de partículas grasas confirió a la red proteínica gran porosidad y heterogeneidad de estructura; observándose que las áreas de proteína en las que no se encontraron glóbulos de grasa láctea, estuvieron interrumpidas por numerosas gotas pequeñas de aceite.

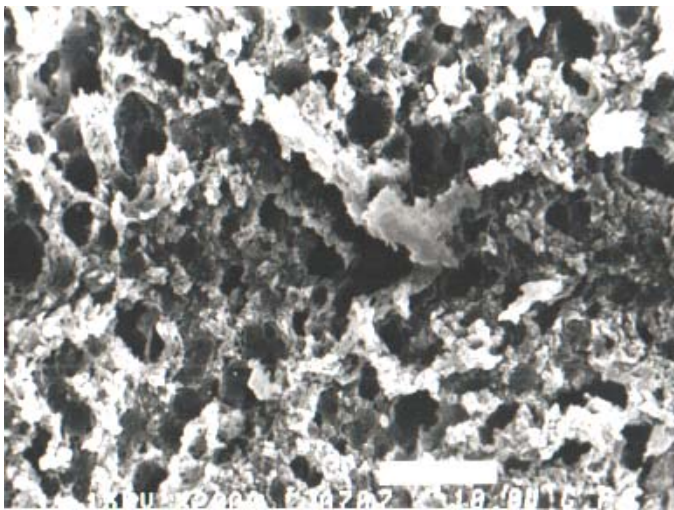
La incorporación de distintos sustitutos de grasa en la elaboración de queso tipo Panela bajo en grasa, resultó en la formación de diferentes arreglos estructurales, dependiendo de la naturaleza química y de las propiedades funcionales de dichos sustitutos de grasa. De esta manera, el CP contribuyó a que el queso  $Q_{CP}$  (Figura 2c) mostrara una matriz proteínica lisa, de apariencia compacta, interrumpida por glóbulos grasos de tamaño variable, similares a los observados en el queso  $Q_{BG}$  (Figura 1b), pero distribuidos más uniformemente. El queso  $Q_{PM}$  (Figura 2d), que contenía PM, mostró una red proteínica abierta, relajada y

poco densa, interrumpida por menor número de glóbulos grasos que los presentes en el queso  $Q_{CG}$  (Figura 1a), pero con igual dispersión uniforme; en contraste, con la dispersión más heterogénea de los glóbulos grasos observada en el queso  $Q_{BG}$  (Figura 1b) las pequeñas áreas proteínicas circundantes a los glóbulos grasos en el queso  $Q_{PM}$  (Figura 2d), presentaron mayor finura y porosidad que las correspondientes al queso  $Q_{CG}$  (Figura 1a), y estuvieron caracterizadas por la unión de cadenas de caseína en la forma de agregados más pequeños que los observados en este último queso y en los quesos bajos en grasa antes discutidos. La limitada agregación de las cadenas de caseína en el queso  $Q_{PM}$ , pudo deberse a la presencia de agregados de proteína de lactosuero, distribuidos a través de la matriz proteínica. Se ha informado que estos agregados proteínicos consisten de partículas muy pequeñas de proteína de lactosuero coagulada térmicamente, con diámetros de 1 a 2  $\mu\text{m}$  (Lucca y Tepper, 1994).

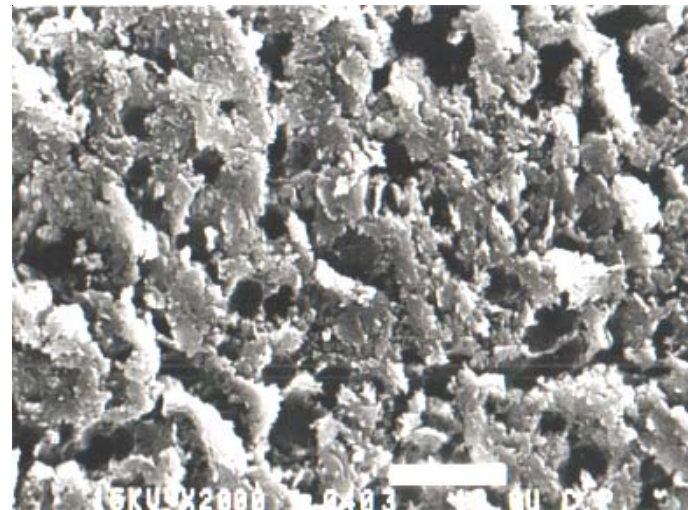
La matriz proteínica del queso  $Q_{PE}$  (Figura 2e), mostró gran rugosidad y mayor porosidad que las redes proteínicas del resto de los quesos; en ella, los glóbulos grasos estuvieron uniformemente distribuidos y pueden apreciarse canales de lactosuero que la atraviesan. La red proteínica del queso  $Q_{PE}$  (Figura 2e) tuvo la apariencia de una esponja, en la que las cadenas de caseína circundantes a los sitios vacíos que ocuparon originalmente los glóbulos grasos, formaron una estructura de gran porosidad, posiblemente debido a la elevada capacidad ligante de agua de la pectina. En la Figura 2e, puede apreciarse la presencia de un glóbulo graso, cuya membrana permaneció intacta durante la preparación de la muestra.

### Textura Instrumental

Los quesos de los distintos tratamientos presentaron diferencias en sus características texturales de dureza,



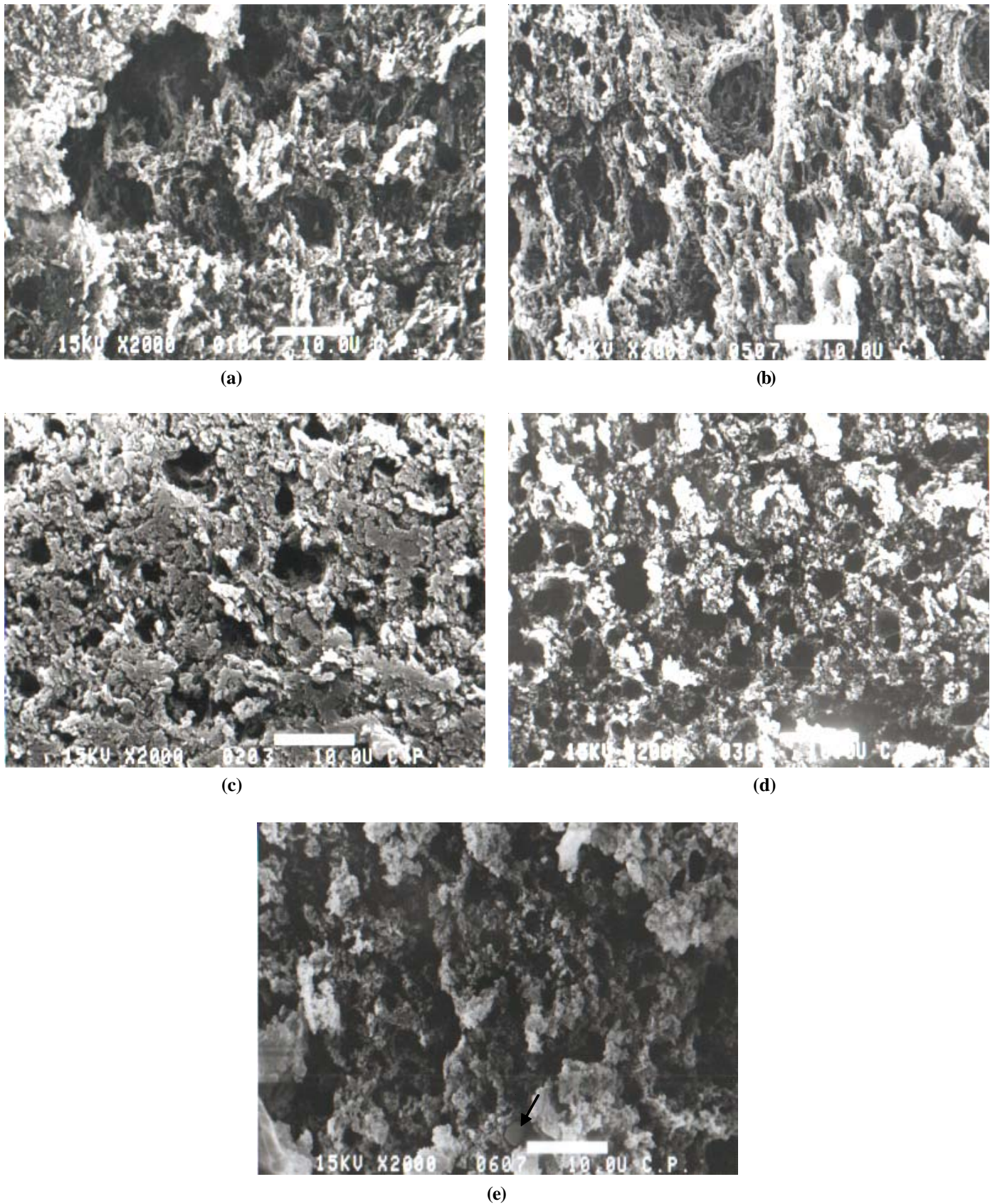
(a)



(b)

**Figura 1. Micrografías de los quesos tipo Panela: (a) completo en grasa ( $Q_{CG}$ ) y (b) bajo en grasa ( $Q_{BG}$ ). Ampliación 2 000  $\times$ , barra de escala: 10  $\mu\text{m}$ .**





**Figura 2.** Micrografías de los quesos tipo Panela bajos en grasa: (a) elaborado a partir de leche homogenizada ( $Q_{HM}$ ); (b) conteniendo aceite de canola emulsionado ( $Q_{EM}$ ); (c) conteniendo concentrado de proteína de lactosuero ( $Q_{CP}$ ); (d) conteniendo proteína de lactosuero microparticulada ( $Q_{PM}$ ) y (e) conteniendo pectina de bajo metoxilo ( $Q_{PE}$ ); la flecha señala la presencia de un glóbulo de grasa láctea. Ampliación 2000  $\times$ , barra de escala: 10  $\mu$ m.

masticabilidad y cohesividad ( $P \leq 0.05$ ), pero no así en elasticidad ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 3).

Los quesos  $Q_{BG}$  y  $Q_{HM}$  presentaron mayor dureza ( $P \leq 0.05$ ) que el queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 3), debido en el primer caso a las áreas continuas de proteína, relativamente grandes, no interrumpidas por glóbulos grasos (Figura 1b). Estas áreas presentaron densidad y compactación elevadas, como resultado de interacciones caseína-caseína; las cuales, sin la interrupción de glóbulos grasos, fueron favorecidas. La alta dureza del queso  $Q_{HM}$  posiblemente se deba al tamaño muy reducido de los glóbulos grasos inmersos en la red proteínica (Figura 2a). El tamaño reducido de los glóbulos grasos del queso  $Q_{HM}$  disminuyó su efecto estructural durante la formación del gel de caseína del queso, dando origen a una red en la que pueden observarse áreas proteínicas compactas y densas, como resultado de interacciones caseína-caseína (Figura 2a).

El queso  $Q_{CP}$  mostró dureza similar ( $P > 0.05$ ) a la del queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 3), a pesar de que los arreglos estructurales de ambos quesos fueron distintos (Figuras 1a y 2c). Este resultado indica que aún cuando la matriz de proteína del queso  $Q_{CG}$  estuvo interrumpida por mayor número de glóbulos grasos que la matriz del queso  $Q_{CP}$ , la estructura de esta última exhibió una susceptibilidad a la deformación similar a la de la matriz del queso  $Q_{CG}$ . Lobato-Calleros *et al.* (2001), encontraron que queso tipo Manchego bajo en grasa adicionado con concentrado de proteína de lactosuero tuvo dureza similar a la presentada por su contraparte completa en grasa, atribuyéndolo a la presencia de uniones proteína de lactosuero-caseína y proteínas de lactosuero-agua. La inclusión de las uniones mencionadas en la red proteínica del queso, interrumpe la continuidad de uniones caseína-caseína, las que imparten gran dureza a la red proteínica, creando una especie de “espacios débiles” que reducen la rigidez de la estructura. Además, cabe mencionar, que el queso  $Q_{CP}$  contuvo mayor humedad que el queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 2).

Los quesos  $Q_{EM}$ ,  $Q_{PM}$  y  $Q_{PE}$  presentaron menor dureza ( $P \leq 0.05$ ) que el queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 3). La sustitución de una parte de la grasa láctea por aceite de canola emulsionado en el queso  $Q_{EM}$ , dio origen a la formación de una red proteínica con menor dureza ( $P \leq 0.05$ ) que aquellas mostradas por los quesos:  $Q_{BG}$ ,

$Q_{HM}$  y  $Q_{CP}$  (Cuadro 3). La menor dureza del queso  $Q_{EM}$  respecto a los quesos mencionados, puede explicarse con base en la composición en ácidos grasos, punto de fusión y distribución en la matriz proteínica del aceite de canola emulsionado. Los glóbulos de grasa láctea están constituidos por una capa de triglicéridos de alto punto de fusión que recubren una porción interna líquida de bajo punto de fusión (Heertje, 1993); por su parte, el aceite de canola presenta bajo punto de fusión y se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, por lo que su contribución a la dureza del queso es menor a la de la grasa láctea (Lobato-Calleros *et al.*, 2002). Adicionalmente, el tamaño de las gotas de aceite en el queso  $Q_{EM}$  (Figura 2b) fue considerablemente menor al correspondiente a los glóbulos de grasa láctea (Figura 1b), lo que resultó en la presencia de numerosas gotas de aceite que irrumpieron la continuidad de la matriz proteínica del queso  $Q_{EM}$ . Lobato-Calleros *et al.* (2002), encontraron que la proporción usada de monoestearato de sorbitán polioxietileno en la mezcla emulsificante usada para la preparación de la emulsión aceite de canola-leche descremada que se adicionó a la leche a partir de la que se preparó el queso  $Q_{EM}$ , rindió la formación de pequeñas gotas de aceite estables. Las moléculas de monoestearato de sorbitán polioxietileno, de carácter hidrosoluble, se difunden rápidamente a la interfase aceite-agua, estando la mayor parte de sus moléculas proyectadas en la fase acuosa, causando así disminución en la tensión superficial y la formación de pequeñas gotas de aceite (Dickinson, 1992).

La menor dureza del queso  $Q_{PM}$ , en comparación con las de los quesos  $Q_{CG}$ ,  $Q_{BG}$ ,  $Q_{HM}$  y  $Q_{CP}$  (Cuadro 3), puede ser atribuida a la constitución de la matriz proteínica del primero, por cadenas cortas de caseína (Figura 2d), con menor grado de entrecruzamiento que el observado para las cadenas de caseína del queso  $Q_{CG}$  (Figura 1a) y para los quesos bajos en grasa señalados (Figuras 1b, 2a y 2c). En la finura y abertura de la matriz proteínica del queso  $Q_{PM}$  influyeron las micropartículas de lactosuero que se adicionaron a la leche usada en su preparación, las cuales limitaron las interacciones caseína-caseína y dieron origen a una estructura proteínica relajada y abierta. Es importante mencionar que la proteína de lactosuero microparticulada se utiliza como sustituto de grasa en diversos productos lácteos, debido a que los tamaños de estas partículas

**Cuadro 3. Características texturales instrumentales (medias  $\pm$  desviación estándar) de los quesos.**

Código del queso	Dureza (N)	Cohesividad (adimensional)	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (N.mm)
$Q_{CG}$	7.7 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	0.80 $\pm$ 0.0 <sup>cd</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	17.2 $\pm$ 1.5 <sup>c</sup>
$Q_{BG}$	10.1 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>	0.80 $\pm$ 0.0 <sup>cd</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	22.8 $\pm$ 1.8 <sup>e</sup>
$Q_{HM}$	9.4 $\pm$ 0.6 <sup>de</sup>	0.81 $\pm$ 0.0 <sup>d</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	21.8 $\pm$ 1.4 <sup>de</sup>
$Q_{EM}$	5.9 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	0.76 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>
$Q_{CP}$	8.6 $\pm$ 0.8 <sup>cd</sup>	0.81 $\pm$ 0.0 <sup>d</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	19.7 $\pm$ 2.2 <sup>c</sup>
$Q_{PM}$	5.9 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	0.71 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	11.9 $\pm$ 2.1 <sup>b</sup>
$Q_{PE}$	4.5 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	0.59 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	7.8 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>

CG: completo en grasa; BG: bajo en grasa; HM: leche homogenizada, EM: aceite de canola emulsionado; CP: concentrado de proteína de lactosuero; PM: proteína de lactosuero microparticulada y PE: pectina de bajo metoxilo.

<sup>a, b, c, d</sup>: diferentes superíndices en una misma columna indican que las medias difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ).



de gel son comparables a los de los glóbulos grasos de la leche (Tamime *et al.*, 1995), o aún mayores (2 a 37  $\mu\text{m}$  de diámetro) (Sandoval-Castilla *et al.*, 2004), de tal manera que previenen la fusión de cadenas de caseína.

El queso  $Q_{PE}$  mostró menor dureza ( $P \leq 0.05$ ) que el resto de los quesos (Cuadro 3), comportamiento mecánico relacionado con el efecto de la naturaleza química y las propiedades funcionales de la pectina de bajo metoxilo incorporada en su elaboración, sobre su composición química (Cuadro 2) y su microestructura (Figura 2e).

La mayoría de los quesos bajos en grasa mostraron cohesividad similar ( $P > 0.05$ ) a la exhibida por el queso  $Q_{CG}$ . Únicamente los quesos  $Q_{PM}$  y  $Q_{PE}$ , adicionados con proteína de lactosuero microparticulada y pectina de bajo metoxilo, respectivamente, fueron menos cohesivos (Cuadro 3). Lobato-Calleros *et al.* (2001), encontraron que reducciones de 46.7 a 56.6 % del contenido graso de queso tipo Manchego, sin y con la adición de sustitutos de grasa (proteína de lactosuero microparticulada, pectina de bajo metoxilo y concentrado de proteína de lactosuero), no causaron modificaciones en su cohesividad, la cual fue similar a la del queso tipo Manchego completo en grasa. En esta investigación se observó que la adición de sustitutos de grasa basados en proteína de lactosuero microparticulada y pectina de bajo metoxilo a queso tipo Panela bajo en grasa, sí causó disminución en su cohesividad, convirtiéndolo en un producto más desmorable. El efecto antes mencionado, puede estar relacionado con los elevados contenidos de humedad de estos quesos (65.3 % para el  $Q_{PM}$  y 66.9 % para el queso  $Q_{PE}$ ) y la amplia abertura de su matriz proteínica (Figuras 2d y 2e). Los quesos bajos en grasa con mayor cohesividad ( $P \leq 0.05$ ) fueron  $Q_{BG}$ ,  $Q_{HM}$  y  $Q_{CP}$  (Cuadro 3), los cuales también presentaron las matrices de proteína más compactas (Figuras 1b, 2a y 2c). Disminuciones en la densidad y compactación de la red proteínica del queso  $Q_{EM}$  (Figura 2b) resultó en una cohesividad menor ( $P \leq 0.05$ ) a la exhibida por los quesos señalados (Cuadro 3). Bryant *et al.* (1995), informaron que incrementos en la densidad proteínica de la red de quesos bajos en grasa, estuvieron asociados con valores más altos de cohesividad.

Todos los quesos bajos en grasa mostraron valores de elasticidad comparables ( $P > 0.05$ ) al correspondiente al queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 3), resultado contrario al esperado. Chen *et al.* (1979), después de analizar la textura de diferentes variedades de queso, concluyeron que la elasticidad estuvo correlacionada principalmente con la proteína presente en el queso y no con sus contenidos en grasa y humedad. Lobato-Calleros *et al.* (2001), informaron que queso tipo Manchego bajo en grasa exhibió mayor elasticidad que su contraparte completa en grasa, pero los quesos bajos en grasa adicionados con concentrado de proteína de lactosuero, proteína de lactosuero microparticulada y pectina de bajo metoxilo, no presentaron valores de elasticidad distintos a aquél del queso completo en grasa. Posiblemente se requiere de mayores variaciones entre los contenidos proteínicos de un queso completo en grasa y aquellos bajos en grasa, respecto a los observados en esta investigación, para que instrumentalmente se detecte su efecto sobre la elasticidad de los mismos.

El queso  $Q_{CP}$  fue el único que mostró un valor de masticabilidad comparable ( $P > 0.05$ ) al correspondiente al queso  $Q_{CG}$  (Cuadro 3). Los quesos  $Q_{BG}$  y  $Q_{HM}$  presentaron valores de masticabilidad mayores ( $P \leq 0.05$ ) al del queso  $Q_{CG}$  y semejantes entre ellos; mientras que los quesos  $Q_{EM}$ ,  $Q_{PM}$  y  $Q_{PE}$  fueron menos masticables ( $P \leq 0.05$ ) que el queso  $Q_{CG}$ . La tendencia de los valores de masticabilidad de los tratamientos de queso fresco fue muy similar a la observada en los valores de dureza. Cabe señalar que el cálculo de los valores de masticabilidad consiste en la multiplicación de los valores de dureza, cohesividad y elasticidad (Bourne, 1982).

### Textura sensorial

Los quesos bajos en grasa exhibieron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en sus características texturales sensoriales como resultado de variaciones en su composición química y en su proceso de elaboración. Los quesos con mayor firmeza sensorial ( $P \leq 0.05$ ) fueron el  $Q_{BG}$  y el  $Q_{HM}$  (Cuadro 4); el primero también presentó la mayor dureza instrumental, seguido del queso  $Q_{HM}$  (Cuadro 3). El queso  $Q_{PE}$  mostró la menor firmeza sensorial ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 4) y también la menor dureza instrumental (Cuadro 3). Los quesos

**Cuadro 4. Características texturales sensoriales (medias  $\pm$  desviación estándar) de los quesos.**

Código del queso	Firmeza	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	Rec. Bucal
$Q_{CG}$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$Q_{BG}$	0.70 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	0.66 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	0.63 $\pm$ 0.1 <sup>de</sup>	0.64 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.44 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
$Q_{HM}$	0.74 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	0.66 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.67 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	0.69 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.42 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
$Q_{EM}$	0.35 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.39 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.36 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.46 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.51 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
$Q_{CP}$	0.58 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	0.60 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.52 $\pm$ 0.0 <sup>cd</sup>	0.55 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.37 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
$Q_{PM}$	0.44 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.33 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.42 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	0.51 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.50 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
$Q_{PE}$	0.21 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.21 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.23 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.13 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.50 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>

CG: completo en grasa; BG: bajo en grasa; HM: leche homogenizada, EM: aceite de canola emulsionado; CP: concentrado de proteína de lactosuero; PM: proteína de lactosuero microparticulada y PE: pectina de bajo metoxilo.

<sup>a, b, c, d</sup>: diferentes superíndices en una misma columna indican que las medias difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ).



$Q_{EM}$ ,  $Q_{CP}$  y  $Q_{PM}$  mostraron firmeza intermedia entre los quesos bajos en grasa mencionados. Sensorialmente, la firmeza de los quesos  $Q_{CP}$  y  $Q_{PM}$  fue percibida como cercana a la del queso  $Q_{CG}$  (fijada en un valor de 0.5) (Cuadro 4). Se observó buena correlación ( $P \leq 0.05$ ) entre los datos de firmeza sensorial y los de dureza instrumental. Los factores estructurales y de composición que explican las diferencias de comportamiento mecánico entre las matrices proteínicas de los distintos quesos ya fueron discutidos.

Los valores de elasticidad sensorial de los quesos bajos en grasa (Cuadro 4), contrariamente a aquellos de elasticidad instrumental (Cuadro 3), mostraron variaciones significativas ( $P \leq 0.05$ ); las diferencias en la medición de estas dos características texturales fueron demostradas por la no correlación ( $P > 0.05$ ) entre sus valores. La elasticidad sensorial de los quesos mostró una tendencia de comportamiento semejante a la observada en firmeza; los quesos de mayor firmeza también fueron los más elásticos y viceversa (Cuadro 4). La elevada elasticidad de los quesos  $Q_{BG}$ ,  $Q_{HM}$  y  $Q_{CP}$  ( $P \leq 0.05$ ), en comparación con el resto de los quesos bajos en grasa, puede atribuirse al predominio del componente proteínico en su microestructura. Emmons *et al.* (1980) informaron que queso Cheddar bajo en grasa fue más elástico que su contraparte completa en grasa, ya que al disminuir el número de glóbulos grasos se tuvo más caseína a deformar por unidad de volumen. Estos mismos autores, observaron que aumentos en la presión de homogenización de la leche a partir de la que se elaboraron quesos Cheddar bajos en grasa, resultó en decremento de su elasticidad, como consecuencia de aumento en su humedad. En este trabajo, el queso  $Q_{HM}$  no fue menos elástico que el queso  $Q_{BG}$ , probablemente debido a que las condiciones del proceso de homogenización de la leche, a partir de la cual se preparó el primero, fueron tales que no causaron aumento en su humedad, respecto a la contenida en el queso  $Q_{BG}$  (Cuadro 2). La elevada elasticidad del queso  $Q_{CP}$  puede explicarse con base en la alta capacidad de las proteínas de lactosuero para interactuar con la red proteínica, ocurriendo así cierto reforzamiento de la misma. En contraste, el queso  $Q_{PM}$  también incorporado con un sustituto de base proteínica como el queso  $Q_{CP}$ , presentó menor elasticidad ( $P \leq 0.05$ ) que este último; fenómeno asociado a la formación de una estructura de red más abierta y relajada en el queso  $Q_{PM}$  (Figura 2d), en la que hubo menos interacciones entre las cadenas de caseína y entre la proteína de lactosuero microparticulada y las cadenas de caseína. El queso  $Q_{EM}$  y sobre todo el queso  $Q_{PE}$ , mostraron baja elasticidad; reforzando la teoría de que la elasticidad sensorial de los quesos disminuyó conforme la red proteínica fue más abierta, más relajada y menos densa. De los quesos bajos en grasa, el que presentó una elasticidad más cercana a la del queso  $Q_{CG}$  fue el queso  $Q_{CP}$  (Cuadro 4). El análisis de varianza de los valores de recubrimiento bucal en los quesos QBG no reveló diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4).

## CONCLUSIONES

Variaciones en la metodología para elaborar quesos tipo Panela bajos en grasa, resultaron en la formación de matrices

proteínicas con distintos arreglos estructurales y características texturales instrumentales y sensoriales. El queso bajo en grasa ( $Q_{BG}$ ) y el elaborado a partir de leche homogenizada ( $Q_{HM}$ ) presentaron matrices proteínicas compactas y densas, con valores de dureza y masticabilidad instrumentales más elevados que los mostrados por el queso completo en grasa ( $Q_{CG}$ ); la estructura de este último consistió de una red proteínica porosa y abierta con glóbulos de grasa de tamaño muy variable. En contraste, el queso conteniendo proteína de lactosuero microparticulada ( $Q_{PM}$ ) y el queso conteniendo pectina de bajo metoxilo ( $Q_{PE}$ ), con redes proteínicas porosas y poco densas, mostraron menor dureza, masticabilidad y cohesividad instrumentales que el queso  $Q_{CG}$ . El queso conteniendo proteína de lactosuero ( $Q_{CP}$ ) presentó valores de dureza, masticabilidad y cohesividad instrumentales, similares a los exhibidos por el queso  $Q_{CG}$ , aún cuando presentó una matriz proteínica más compacta y lisa que este último. Los valores de las características texturales de los quesos obtenidos mediante evaluación sensorial, presentaron buena correlación con los valores de las características texturales determinados instrumentalmente, a excepción de los correspondientes a elasticidad.

## LITERATURA CITADA

- Anzaldúa M.A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 220 p.
- Barrantes E.; Tamime A.Y.; Muir D.D.; Sword A.M. 1994. The effect of substitution of fat by microparticulate whey protein on the quality of set type, natural yogurt. *Journal of the Society of Dairy Technology* 47(2): 61-68.
- Bourne M.C. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Segunda Edición. Academic Prentice. E. U. A. 427 p.
- Bryant A.; Ustunol Z.; Steffe J. 1995. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. *Journal of Food Science* 60: 1216-1236.
- Chen A.H.; Larking J.W.; Clark C.J.; Irwing W.E. 1979. Textural analysis of cheese. *Journal of Dairy Science* 62: 901-907.
- Clark D. 1990. Fat replaces and fat substitutes. *Food Technology* 44(12): 86-88.
- Dickinson E. 1992. An introduction to Food Colloids. Oxford University Press. Inglaterra. 207 p.
- Drake M.A.; Gerard P.D. 1999. Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. *Journal of Texture Studies* 30: 451-476.
- Drake M.A.; Herrett W.; Boylston T.D.; Swanson B. G. 1995. Sensory evaluation of reduced fat cheeses. *Journal of Food Science* 60: 898-901.
- Emmons D.B.; Kalab M.; Larmond E.; Lowrie R.J. 1980. Milk gel structure. X. Texture and microstructure in Cheddar cheese made from whole milk and from homogenized low-fat milk. *Journal of Texture Studies* 11: 15-34.
- Heertje I. 1993. Structure and function of food products: a review. *Food Structure* 12: 343-364.
- Jellinek G. 1985. Sensory Evaluation of Food. Ellis Harwood Ltd., Chichester, Inglaterra. 429 p.
- Lobato-Calleros C.; Ramírez-Santiago C.; Osorio-Santiago V.J.; Vernon-Carter E.J. 2002. Microstructure and texture of manchego cheeses-like products made with canola oil, lipophilic and hydrophilic emulsifiers. *Journal of Texture Studies* 33: 165-182.

- Lobato-Calleros C.; Robles M.J.C.; Caballero P.J.F.; Aguirre M.E.; Vernon C.J. 2001. Fat replacers in low-fat mexican manchego cheese. *Journal of Texture Studies* 32: 1-14.
- Lobato-Calleros C.; Sosa-Pérez A.; Rodríguez-Tafoya J.; Sandoval-Castilla O.; Pérez-Alonso C.; Vernon-Carter E.J. 2008. Structural and textural characteristics of reduced-fat cheese-like products made from  $W_1/O/W_2$  emulsions and skim milk. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 41: 1847-1856.
- Lobato-Calleros C.; Vernon C.J.; Hornelas U.Y. 1998. Microstructure and texture of cheese analogs composed of different fat types. *Journal of Texture Studies* 29: 569-586.
- Lucca A.P.; Tepper J.B. 1994. Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends in Food Science and Technology* 5: 12-18.
- McMahon D.J.; Alleyne M.C.; Fife R.L.; Oberg C.J. 1996. Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 79(11): 1911-1921.
- Meilgaard M.; Civille G.V.; Carr B.T. 1991. *Sensory Evaluation Techniques Descriptive analysis techniques*. Second edition. CRC Press, Boca Raton, Fl. 376 p.
- Mistry V.V.; Anderson D.L. 1993. Composition and microstructure of comercial full-fat and low-fat cheeses. *Food Structure* 12: 259-266.
- Sandoval-Castilla O.; Lobato-Calleros C.; Aguirre-Mandujano E.; Vernon-Carter E.J. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal* 14(2): 151-159.
- Szczesniak A.S. 1963. Objective measurements of food texture. *Journal of Food Science* 28: 410-420.
- Tamime A.Y.; Kalab M.; Muir D.D.; Barrantes E. 1995. The structure of set-style, natural yoghurt made by substituting microparticulate whey protein for milk fat. *Journal of the Society of Dairy Technology* 48: 101-111.
- Tunick M.H.; Malin E.L.; Smith P.W.; Shieh J.J.; Sullivan B.C.; Kevin L.M.; Holsinger V. H. 1993. Proteolysis and rheology of low-fat and full-fat Mozzarella cheeses prepared from homogenizad milk. *Journal of Dairy Science* 76: 3621-3628.