



Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad

C. Ramírez-López*, J.F. Vélez-Ruiz.

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

El objetivo de la presente revisión se centra en describir uno de los productos lácteos de mayor consumo en México, el queso fresco; su proceso de elaboración, las principales propiedades que afectan su calidad como resultado de diversos factores ligados a su formulación, condiciones de proceso y almacenamiento, así como una revisión general de las metodologías existentes para la medición de las mismas. Esta revisión está dirigida principalmente a investigadores en tecnología de los alimentos, a los fabricantes de queso fresco y estudiantes en el campo de la ciencia de los alimentos y productos lácteos, que deseen conocer más de cerca los aspectos científico-técnicos en torno a las propiedades del queso fresco.

Palabras clave: queso fresco, propiedades, calidad

Abstract

The aim of this review focuses on describing one of the most consumed dairy products in Mexico (“queso fresco”), its manufacturing process, its main properties that affect its quality as a result of different factors related to its formulation, process and storage conditions, as well as, an overview of the existing methodologies for measuring them. This review is primarily targeted to researchers in food technology, cheese manufacturers and students in the field of food science and dairy products who want to learn more about the scientific and technical aspects of “queso fresco”.

Keywords: queso fresco, properties, quality.

Introducción

El queso es un alimento de amplio consumo a nivel mundial, cuyas características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales difieren entre cada tipo. Se estiman más de 2000 variedades de queso (Gunasekaran y Ak,

2003), entre madurados, semi-madurados y frescos. No obstante en nuestro país predomina el consumo de quesos frescos, mismos que forman parte de una enorme variedad de platillos que constituyen nuestro legado gastronómico.

La práctica en torno a la elaboración del queso ha sufrido importantes cambios, transformándola de un arte empírico, a una tecnología industrial con fuertes bases

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: carolina.ramirezlz@udlap.mx

científicas. Se han identificado diversos factores como causantes de modificaciones en las propiedades del queso (microestructura, propiedades fisicoquímicas, texturales, reológicas y sensoriales), entre ellos la formulación, las condiciones de proceso y almacenamiento y las alteraciones provocadas por microorganismos. Razón por la cual, la comprensión de los aspectos científico-técnicos en torno a la elaboración del queso es de suma importancia para un adecuado control de las condiciones que pudieran afectar dichas propiedades en el queso y en consecuencia su calidad y aceptación por parte del consumidor.

El objetivo de la presente revisión es brindar al lector un panorama actual del conocimiento respecto a la ciencia y tecnología de quesos frescos, destacando sus propiedades principales, clasificación y métodos de elaboración. Así mismo, se incluye una descripción de los conceptos texturales y reológicos relacionados con este producto lácteo, las pruebas más comunes, su interpretación y correlación con otras técnicas como la evaluación sensorial, que contribuyan en su conjunto al desarrollo de productos de gran calidad y amplia aceptabilidad por parte del consumidor.

Revisión bibliográfica

1. Definición del queso

El queso es el producto obtenido por coagulación de la leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada y descremada), constituido esencialmente por caseína de la leche en forma de gel más o menos deshidratado (Eck, 2000). Mediante este proceso se logra preservar el valor nutritivo de la mayoría de los componentes de la leche, incluidas las grasas, proteínas y otros constituyentes menores, generando un sabor

especial y una consistencia sólida o semisólida en el producto obtenido (Vélez-Ruiz, 2009).

De acuerdo al *Codex Alimentarius* de la FAO/OMS (2008), el queso es el producto sólido o semisólido, madurado o fresco, en el que el valor de la relación suero proteínas/caseína no supera al de la leche, y que es obtenido por coagulación (total o parcial) de la leche por medio de la acción del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados, con un escurrido parcial del lactosuero (Scott *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista fisicoquímico, el queso se define como un sistema tridimensional tipo gel, formado básicamente por la caseína integrada en un complejo caseinato fosfato cálcico, el cual por coagulación, engloba glóbulos de grasa, agua, lactosa, albúminas, globulinas, minerales, vitaminas y otras sustancias menores de la leche, las cuales permanecen adsorbidas en el sistema o se mantienen en la fase acuosa retenida (Walstra *et al.*, 2006).

1.1. Proceso de elaboración

El proceso de elaboración del queso es bastante simple, no obstante involucra fenómenos físicos y químicos muy complejos. Se trata esencialmente de un proceso de concentración, a partir de la coagulación de la proteína mayoritaria de la leche (caseína) por la acción enzimática (cuajo) u otro coagulante de tipo ácido (comúnmente ácido láctico) (Johnson y Law, 2011).

En la Fig. 1 se muestra un esquema general para la elaboración de queso fresco. Para el caso de quesos suaves (panela, fresco, blanco y crema), la coagulación se desarrolla a temperatura de aproximadamente 38°C, mientras que para el queso tipo Oaxaca la temperatura debe alcanzar los 42°C, además algo distintivo es que se requiere una pre-

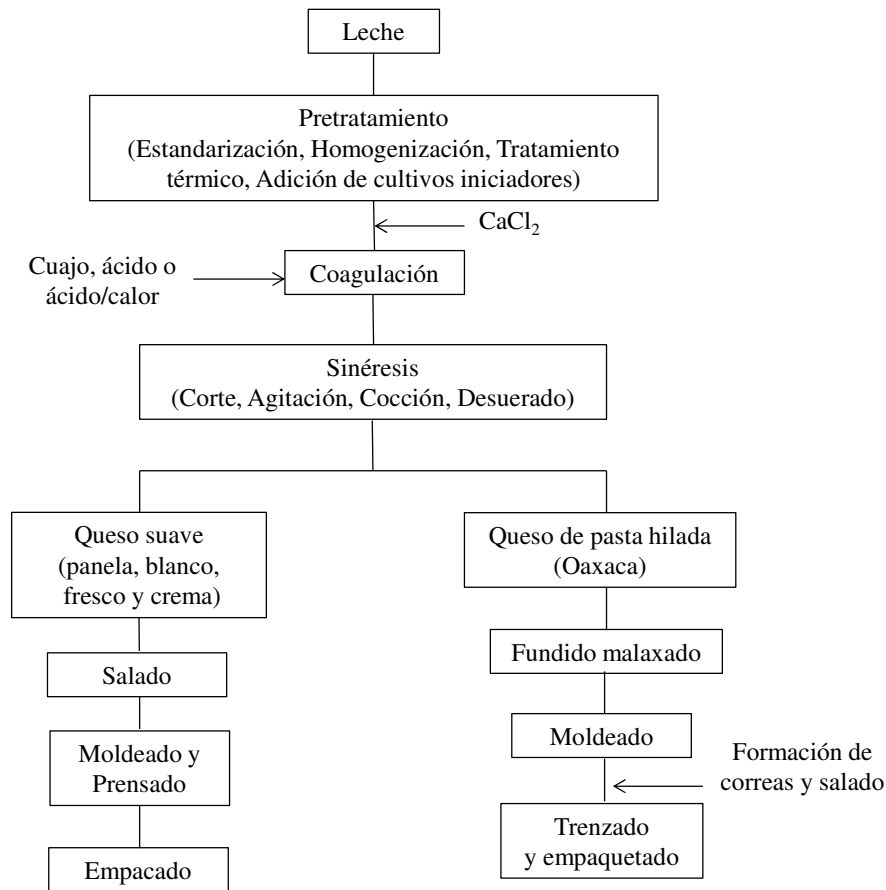


Fig. 1. Diagrama general para la elaboración de queso fresco. Adaptado de Gunasekaran y Ak, (2003).

acidificación de la leche, la cual se logra por la adición de cultivos iniciadores (Caro *et al.*, 1998).

El paso indispensable en la elaboración de los quesos, es la coagulación de la caseína, provocada mediante la acción combinada de enzimas proteolíticas (cuajos de distintos tipos) y calcio. El proceso de formación del coágulo incluye 2 etapas (Fig. 2). En la primera, se desarrolla un proceso enzimático modulado por la quimosina, la cual rompe los enlaces entre los aminoácidos fenilalanina y metionina (Fen-105 y Met-106) presentes en la κ -caseína, liberándose el glicomacropéptido en la solución. En la segunda etapa, los agregados de para- κ -caseína producen el coágulo (Udayarajan, 2007). Hasta la etapa de

coagulación, los procedimientos básicos en la elaboración de los diferentes tipos de quesos son muy similares; sin embargo, las etapas siguientes varía de acuerdo con el tipo de queso a producir.

Una vez que la leche se ha coagulado, se debe proceder al cortado del coágulo (cortes verticales y horizontales) en pequeños cubos, para favorecer la eliminación del suero (desuerado). Posteriormente se procede a su moldeado.

El moldeado tiene como finalidad dar forma al queso y ayudar a que los gránulos de la cuajada se aglomeren. Los moldes pueden ser cilíndricos, cuadrados o alargados. Generalmente, el moldeo y el prensado se

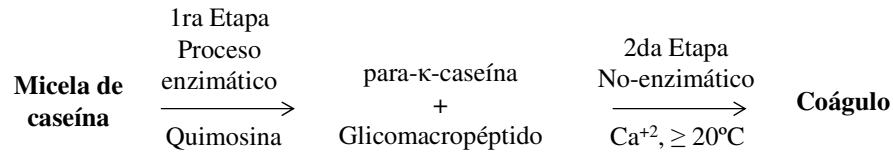


Fig. 2. Formación del coágulo de caseína. Adaptado de Udayarajan (2007).

realizan utilizando el mismo equipo, pues los moldes tienen dispositivos que ejercen presión sobre el queso. Comúnmente en el caso de quesos suaves como del tipo fresco, no es necesario aplicar presión, pues es suficiente con la que provoca el propio peso del queso (autoprensado).

El salado, además de proporcionar sabor al producto, evita la proliferación de microorganismos y contribuye a la formación de la corteza del queso. En el proceso, se utiliza sal cristalizada o salmueras de diferentes concentraciones, de acuerdo con el tipo de queso.

1.2. Clasificación y criterios de clasificación

El queso es producido en todo el mundo con una gran diversidad de sabores, aromas, texturas y formas, habiéndose recopilado en diversos catálogos y trabajos más de 2000 variedades y tipos (Fox *et al.*, 2000). No obstante, la mayoría de los quesos que se elaboran en México son frescos o de corta duración, algunos con buena aptitud para el fundido (con pH entre 5.1 a 5.3) y algunos con propiedades de desmoronamiento o fragmentación (García-Islas, 2006; Jiménez-Guzmán *et al.*, 2009).

Existen diversos criterios de clasificación con base en las condiciones de proceso o las

características fisicoquímicas del tipo de queso:

- a) Por contenido de humedad, se clasifican en quesos duros (20-42%), semiduros (44-55%) y blandos o suaves (aprox. 55%) (Scott *et al.*, 1998).
- b) De acuerdo al tipo de coagulación de la caseína, se clasifican en quesos de coagulación enzimática, quesos de coagulación ácida y quesos de coagulación ácida/térmica (Dalglish, 1999; Fox *et al.*, 2000; Gunasekaran y Ak, 2003).
- c) De acuerdo a su estado de maduración: frescos (6 días), semi-madurados (40 días) y madurados (>70 días) (McSweeney, 2004).

En la Fig. 3 se muestra una representación que engloba estos criterios de clasificación (Farkye, 2004).

El queso fresco presenta distintos nombres según la región de producción y numerosas variantes en cuanto a las técnicas de elaboración. De acuerdo a la norma oficial mexicana (NOM-121-SSA1-1994) el queso fresco se caracteriza por un contenido de humedad elevado, un sabor suave y un periodo de vida de anaquel corto, por lo que debe ser refrigerado. Se consideran como quesos frescos los siguientes: panela, fresco, ranchero, blanco, Oaxaca, asadero, adobera, requesón, queso crema, entre otros.

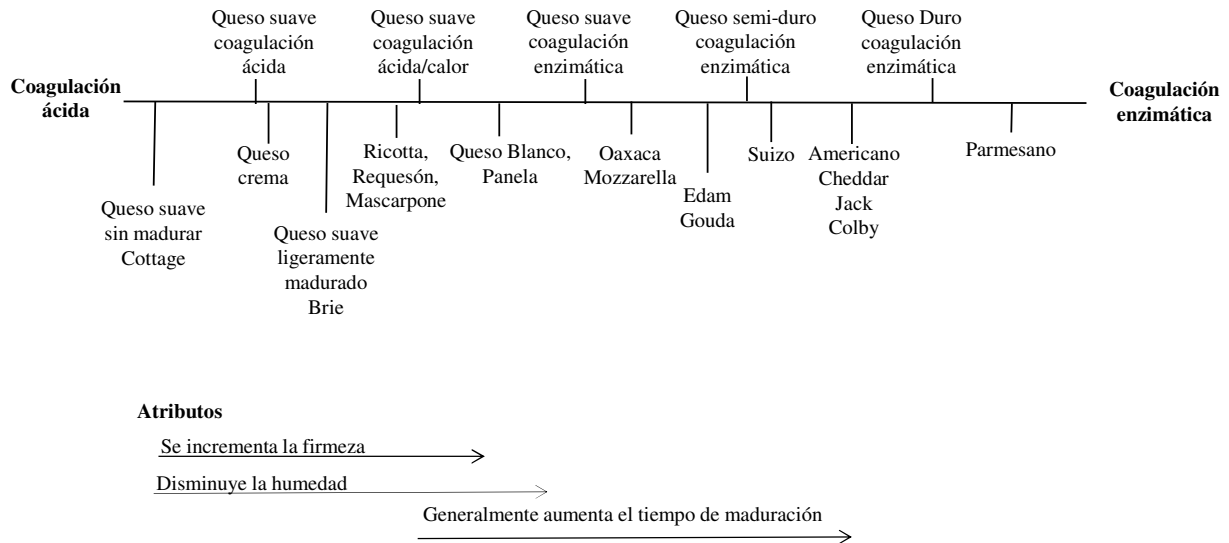


Fig. 3. Criterios de clasificación del queso. Adaptado de Farkye (2004).

1.3. Descripción de algunos tipos de quesos frescos

Queso fresco mexicano. Se dice que es, por mucho, el queso hispano más popular en los EE.UU. y México. Es un queso obtenido por coagulación con cuajo, elaborado a partir de leche descremada o semidescremada. Tiene un ligero sabor lácteo, con notas entre dulce y salado. En su proceso de elaboración, la cuajada se suele moler finamente antes de la salazón, lo que hace que el queso sea desmenuzable. Este tipo de queso contiene una humedad entre 46-57%, 18-29% de grasa, 17-21% de proteína, sal de 1-3% y un pH > 6.1 (Hwang y Gunasekaran, 2001; Path, 1991).

Queso blanco. Es un queso cremoso y blanco elaborado con leche descremada, de acuerdo al proceso es una mezcla entre queso Cotija y queso Mozzarella, tradicionalmente se coagula la leche con limón pero en la actualidad, en forma comercial, se elabora con cultivos y cuajo, por lo que tiene un sabor ligeramente ácido. Suele suavizarse con el calor, pero no se funde. La cuajada no se muele finamente, por

lo que el resultado es un queso con textura más dura que la de queso fresco. Contiene 51-53% de humedad, 19-25% de grasa, 20-22% de proteína, y 1.8-3% de sal y tiene un pH ≤ 5.6 (Farkye *et al.*, 1995).

Por sus características, el queso blanco puede ser producido en un periodo de tiempo muy corto. Primero la leche se calienta a 85°C y se añade un ácido orgánico hasta alcanzar un pH de 5,3 (esto ocasiona la precipitación de la proteína o formación de la cuajada). Después del desuerado, la cuajada es salada y moldeada en aros presionando para eliminar el exceso de suero. Finalmente el queso se empaqueta para su venta inmediata (Farkye *et al.*, 1995).

Queso panela. Es un queso fresco de coagulación enzimática de pasta blanda y fresca que no incluye maduración, prensado por su propio peso, elaborado con leche entera pasteurizada suplementada con cloruro de calcio. Una vez que la leche se coagula, ésta se corta en cubos de aproximadamente 1 pulgada y se cocina hasta alcanzar la firmeza deseada bajo agitación suave. Después se drena la

mitad del lactosuero para proceder con la adición de sal, la cual se puede añadir directamente o en solución. Después de mezclar durante unos pocos minutos, la cuajada húmeda se transfiere a los moldes en forma de canasta o cesta para drenar durante la noche. El queso se envasa para su venta inmediata. Contiene alrededor de 53-58% de humedad, 19-25% de grasas, 18-20% de proteínas, 1.3-1.8% de sal y un pH de 5.6 a 6.4 (Guisa, 1999; Path, 1991).

Requesón. Es un queso blando unttable, que tiene un sabor ligeramente salado y textura granulada, similar al queso Ricotta. Se fabrica a partir de suero de leche pasteurizada complementado con leche entera o crema. La mezcla de suero de leche/leche se calienta a 85°C; se añade vinagre para ocasionar la coagulación de las proteínas de la leche y se añade sal para condimentar. La cuajada húmeda se transfiere a recipientes para drenar durante la noche; el queso terminado contiene alrededor de 75% de humedad (Van Hekken y Farkye, 2003).

Queso Oaxaca. Es quizás el tipo de queso fresco de “pasta hilada” de mayor consumo en México. Es un queso suave de coagulación enzimática que incluye, sin embargo, adición previa de microorganismos (30-35°C), es generalmente elaborado a partir de leche entera cruda y es producido ampliamente a nivel casero e industrializado en diferentes regiones de nuestro país. Respecto a sus propiedades fisicoquímicas, contiene una humedad entre 40-46%, 23% de grasas y 24%

de proteína, así como un pH entre 5.0-5.5 (Guisa, 1999). Se caracteriza por tener una textura fibrosa única, excelentes propiedades de fundido, sabor ligero, cuya presentación final en madeja de hilo es también muy característica (De Oca-Flores *et al.*, 2009).

El proceso de elaboración del queso Oaxaca es similar al del queso Mozzarella, con algunas consideraciones (Fig. 1). Después de la cuajada, la pasta se cuece a 40-42°C, se deja reposar en el suero para alcanzar el pH deseado. A continuación, la pasta se sumerge en agua caliente y se amasa. El queso fundido se estira en una hebra larga y plana, la cual se enfría al colocarla en agua fría, posteriormente el queso se saca del tanque después de que se solidifica. El salado se realiza frotando sal de grano sobre cada lado de la hebra, para a continuación enrollar la cadena en forma de bola de hilo (Van Hekken y Farkye, 2003).

2. Características y propiedades de los quesos frescos y sus métodos de medición

2.1. Composición química y valor nutritivo

El queso comparte casi las mismas propiedades nutricionales con la leche; a excepción de la lactosa, los otros componentes se encuentran más concentrados (Tabla I). Además de brindar un excelente aporte de proteínas de alto valor biológico, el queso se destaca por ser una fuente importante de calcio y fósforo (Alais, 1985; Van Hekken y Farkye, 2003; García-Islas, 2006).

Tabla I. Composición química y valor nutritivo de la leche de vaca con respecto a los quesos frescos típicamente consumidos en México.

	Leche entera de vaca ^a	Quesos fresco ^b	Queso Panela ^c	Queso Oaxaca ^c	Queso blanco ^c	Queso Asadero ^c	Requesón ^c
Humedad (%)	87.5	46-57	53.2-58.3	49.3-52.4	51-53	40-46	74-75
Grasa (%)	3.5	18-29	18.8-12.1	20.6-24.2	19-25	23-25	7.0-8.0
Proteína (%)	3.5	17-21	18.4-20.5	20.4-22.4	20-22	24-27	11.0-12.0
Ceniza (%)	0.7-0.9	-	2.5-2.7	3.2-3.7	-	1.4-1.8	
Lactosa (%)	4.7	-	3.4-4.2	0.1-0.3	-	-	
Calcio (%)	1.3-1.8	-	23.9	-	-	-	
Fósforo (%)	1.0-2.3	-	18.4	-	-	-	
Sal		1.0-3.0	1.3-1.8	1.4-2.3	1.8-3.0	1.4-1.8	<1.0
pH	6.7	6.1	5.6-6.4	5.0-5.3	5.6	5.0-5.5	
Valor nutrimental (kcal/100 g)	62-66	255 ± 37	255 ± 37	288 ± 22	-	-	

^a Alais, 1985^b Van Hekken y Farkye, 2003^c García-Islas, 2006

2.2. Microestructura

Existe una estrecha relación entre la microestructura del queso y su reología, ambas propiedades a su vez están determinadas por la composición química del queso. El análisis de microestructura es útil cuando se desea evaluar el efecto de diferentes ingredientes en la formulación o el uso de alguna tecnología de procesado y conservación (Buffa *et al.*, 2004).

En el queso, el análisis de microestructura se ha utilizado principalmente para observar la distribución de los glóbulos de grasa y micelas de proteína (Lobato-Calleros *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2010), para evaluar la incorporación de gomas (Liu *et al.*, 2008; Tan *et al.*, 2007) o el efecto de procesos enzimáticos, proteólisis y lipólisis, durante la maduración (Karami *et al.*, 2009) o por acción microbiana (Pereira *et al.*, 2009), el efecto del procesamiento térmico de la leche (Morales-Celaya *et al.*, 2012) y almacenamiento en condiciones de congelación (Kuo y Gunasekaran, 2003; Ribero *et al.*, 2009), entre otros aspectos.

Para la observación de la microestructura del queso se han empleado diversas técnicas, entre las más comunes tenemos a la microscopía electrónica de barrido (Lobato-Calleros *et al.*, 2007; Kuo y Gunasekaran, 2003), la microscopía electrónica de transmisión (Udayarajan, 2007; Kuo y Gunasekaran, 2009) y la microscopía confocal de barrido láser sobre todo cuando se busca evidenciar la presencia de otros componentes no lácteos en la fórmula, tales como el almidón (Trivedi *et al.*, 2008a y 2008b).

Recientemente se ha hecho uso de la micro-tomografía de rayos X, de la que se señalan como principales ventajas no sólo el proporcionar un porcentaje preciso de la cantidad de grasa presente en productos como el queso, sino que también nos ayuda a revelar su distribución espacial (Laverse *et al.*, 2011).

2.3. Propiedades texturales y reológicas

Sin lugar a dudas para el consumidor la textura juega un rol importante en términos de inferir la calidad de un alimento. Particularmente en el queso, la textura es uno de los atributos más

importantes que ayudan a determinar la identidad del mismo (Bourne, 2002).

Otro aspecto importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico. De manera general se puede definir a la reología, como el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados (Muller, 1973; Bourne, 2002; Shoemaker *et al.*, 1987).

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos (mezclado, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), en la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, en el control de calidad de productos intermedios y finales, en estudios de tiempo de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otros (Steffe, 1996; Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1997; Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2005; Foegeding y Drake, 2007).

El queso posee propiedades viscoelásticas, siendo los estudios reológicos esenciales para expresar sus características físicas y propiedades mecánicas (Bohlin *et al.*, 1984). Para tal efecto, se han desarrollado numerosos instrumentos y métodos para evaluar las propiedades reológicas de los alimentos, en particular en lo que concierne a la textura de quesos. Esta diversidad de instrumentos suele ser agrupada y reconocida en tres grupos; empírico, imitativo y fundamental (Segards y Kapsalis, 1987; Rosenthal, 1999; Bourne, 2002; Gunasekaran y Ak, 2003; Kilcast, 2004; Vélez-Ruiz, 2009).

Las mediciones empíricas son aquellas pruebas que tienden a relacionar una variable medida con una propiedad del material, sin una base científica rigurosa. El penetrómetro, el tensómetro, la prueba de punción, y las

pruebas con compresores de bola, son ejemplos típicos de mediciones empíricas

(Gunasekaran y Ak, 2003). Cabe señalar, que estas pruebas no se consideran de precisión y frecuentemente los resultados que se obtienen son difícilmente comparables a los obtenidos con equipos de pruebas fundamentales (Bourne, 2002).

Por otro lado, las pruebas imitativas (también denominadas pruebas semi-fundamentales), incluyen sistemas de medición mecánica con poco control de variables experimentales (tales como, el tipo de sonda, el tamaño y forma de la muestra, entre otras). Como su nombre lo indica son pruebas que tratan de imitar mecánicamente la evaluación sensorial realizada por evaluadores humanos. De hecho se recomienda emplearlas junto con la evaluación sensorial, a fin de obtener modelos más exactos de los atributos de textura del alimento (Gunasekaran y Ak, 2003). Una de las pruebas imitativas más comunes es el Análisis de Perfil de Textura (TPA, por sus siglas en inglés).

Finalmente, las pruebas fundamentales miden las propiedades físicas de acuerdo al módulo de viscosidad o elasticidad. Las muestras utilizadas en estas determinaciones deben tener una geometría específica y ser deformadas de manera controlada, a fin de permitir definir lo más exactamente posible la respuesta reológica del alimento. Dentro de esta clasificación se incluyen; la prueba de compresión uniaxial a velocidad constante, la prueba de relajación y Creep y las pruebas dinámicas oscilatorias (Bourne, 2002).

Sin embargo, desde un punto de vista práctico en la caracterización reológica de queso, las técnicas de compresión uniaxial a velocidad constante, la relajación ante el esfuerzo y el denominado TPA, son las pruebas más ampliamente utilizadas (Ibáñez *et*

al., 1998; Pavia *et al.*, 1999). Por lo que a continuación se describen con más detalle.

2.3.1. Compresión uniaxial a velocidad constante

El método consiste en comprimir una muestra de queso de geometría y dimensiones conocidas mediante un plato descendente a velocidad constante, hasta un nivel de deformación superior al punto de fractura (generalmente a una distancia >75% de su altura original). Los parámetros reológicos obtenidos a través de este método se esquematizan en la Fig. 4 y son: el módulo de deformabilidad (MD), estimado como la regresión lineal de la parte inicial de la curva, la tensión o esfuerzo (σ_f), la deformación (ϵ_f) y la energía (W_f) a la fractura (Castañeda, 2002).

2.3.2. Relajación y creep

El comportamiento viscoelástico del queso se puede describir mediante las pruebas de relajación y creep. En esta prueba se le aplica una deformación inicial a la muestra de queso, la cual se mantiene constante y se monitorea el esfuerzo necesario para mantener constante esta deformación. Por otro lado, la relajación del esfuerzo se describe como la habilidad del material para aliviar la aplicación de un esfuerzo impuesto en una deformación constante. Los datos obtenidos en la prueba de creep y en la relajación se representan gráficamente y/o mecánicamente por medio de curvas (Fig. 5) y modelos como el Maxwell y el de Kelvin (Steffe, 1996).

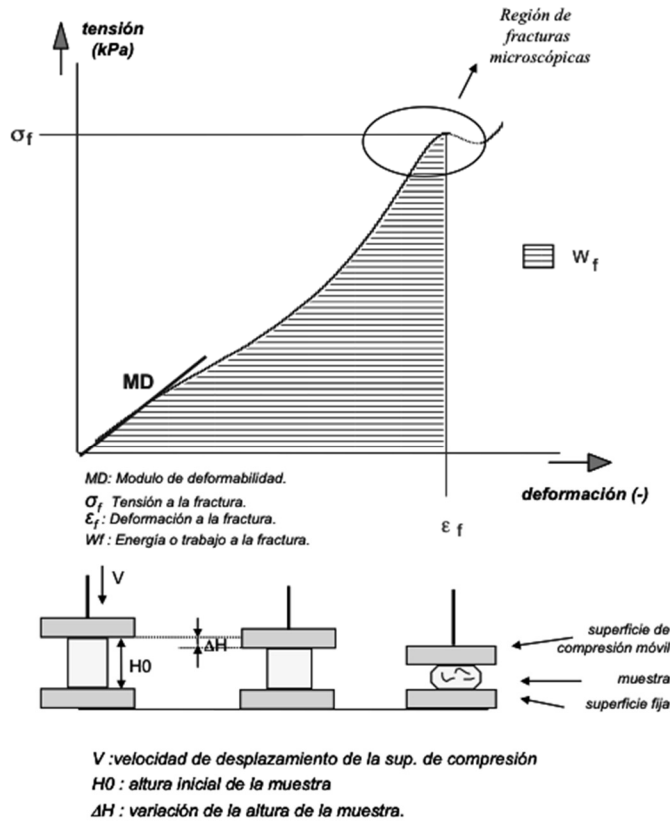


Fig. 4. Curva de compresión uniaxial a velocidad constante. Adaptado de Castañeda (2002).

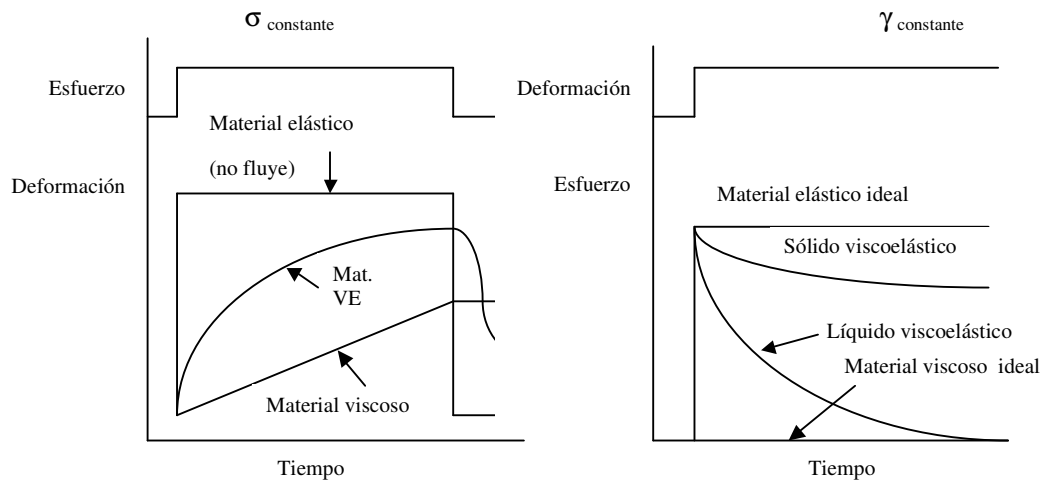


Fig 5. Curvas de creep y relajación del esfuerzo. Modificado de Steffe (1996).

2.3.3. Análisis de Perfil de Textura

El análisis de perfil de textura consiste en una prueba de doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión del 80 a 90% de su altura inicial, la cual resulta casi siempre en la ruptura del alimento. Bourne (2002) cita los siguientes parámetros texturales obtenidos con el TPA: fractura, dureza, cohesión, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, en la Fig. 6 se muestran un esquema típico de una prueba de TPA, y los parámetros obtenidos.

En la Tabla II, se muestran los rangos de valores de la caracterización funcional (fundibilidad) y textural (dureza, masticabilidad y rigidez) para algunos quesos frescos mexicanos.

Así mismo, en la Tabla III se describen las condiciones para algunas de las pruebas texturales aplicadas a diferentes tipos de queso fresco.

Tabla II. Caracterización textural y funcional de algunos quesos frescos tradicionales mexicanos.

Tipo de queso	Dureza (mJ)	Masticabilidad (kPa)	Rigidez (N s)	Fundibilidad (N)
Oaxaca	55-56	130-230	14-33	2.1-2.4
Panela	42-45	47-64	28-52	1.0-1.3
Queso Fresco	17-33	19-21	19-28	1.0-1.4
Queso Blanco	43-54	52-74	36-56	1.0-1.3

Adaptado de Van Hekken y Farkye, 2003

3. Factores que afectan las propiedades del queso fresco

Independientemente del origen de la leche, las propiedades físicas del queso se rigen por la interacción entre las moléculas de caseína (Tunick, 2000). Algunos de los factores que influyen en estas interacciones varían en función del tipo de queso, el grado de maduración (Lucey *et al.*, 2003), su composición química (en particular, el contenido de caseína y la distribución de la humedad y la grasa), el contenido de sal, pH y acidez (Guo *et al.*, 2012; Scholz, 1995), así como determinadas condiciones

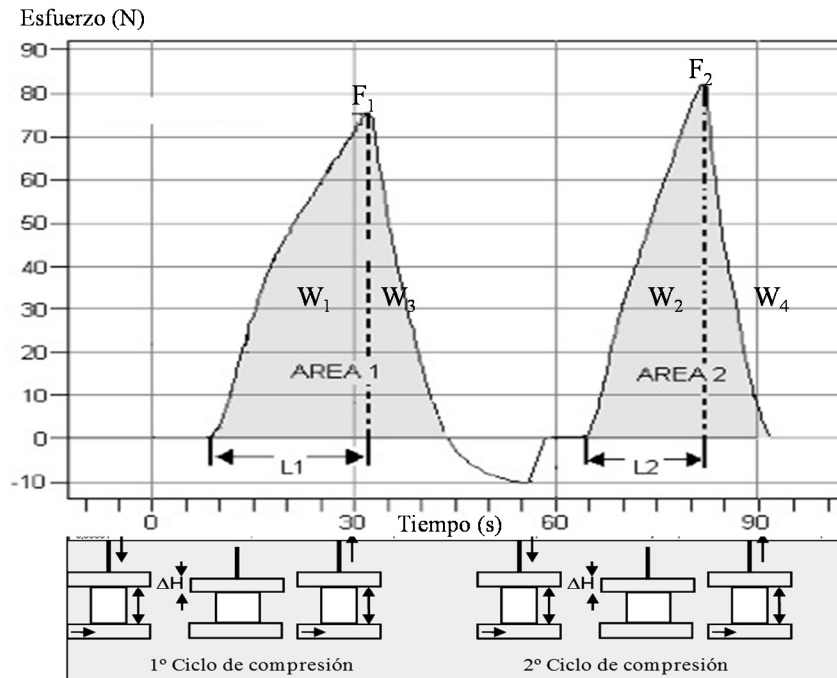


Fig. 6. Curva típica de TPA, en la cual los parámetros reológicos obtenidos son: la firmeza dada por la fuerza máxima registrada durante el 1º ciclo de compresión (F_1), la fuerza máxima registrada durante la compresión en el 2º ciclo (F_2), el trabajo registrado hasta F_1 (W_1) y el trabajo registrado hasta F_2 (W_2). Luego se calculan las siguientes relaciones: Cohesividad que es igual trabajo durante el 1º ciclo de compresión dividido el trabajo realizado en el 2º ciclo de compresión ($(W_1+W_3)/(W_2+W_4)$), la Dureza estimada como el cociente F_2/F_1 , y la Elasticidad que es igual al cociente porcentual entre el trabajo recuperado (W_3) sobre el trabajo total (W_1+W_3) en el 1º ciclo de penetración.

medioambientales como la temperatura (Johnson y Law, 2011).

3.1. Cambios bioquímicos y propiedades fisicoquímicas

En términos generales, se habla de que existen dos fenómenos opuestos que controlan la firmeza del queso. El primero consiste en la acción de las diferentes enzimas proteolíticas sobre la matriz proteica, principalmente sobre la α_{s1} -caseína, que da como resultado una disminución de la firmeza y en consecuencia, modificaciones en algunas propiedades como el color, la elasticidad y textura del queso (Lawrence *et al.*, 1987; Lucey *et al.*, 2003). El segundo es el efecto de pérdida de humedad, que al provocar una disminución de la hidratación de las proteínas conduce a una mayor interacción de las mismas provocando

el aumento de la firmeza de la matriz proteica (Adda *et al.* 1982; Walstra, 1990).

Otro de los cambios bioquímicos que ocurren en el queso es la lipólisis. En la estructura del queso, la grasa se encuentra distribuida como material de relleno en la matriz proteica, por lo tanto si se incrementa su contenido en la formulación, el queso presentará menor firmeza y mayor elasticidad, mientras que cuando su contenido se reduzca (ya sea por acción lipolítica o intencional para fines de obtener un producto con bajo contenido en grasa) se obtendrán quesos más duros y rígidos (Theophilou y Wilbey, 2007; Brighenti *et al.*, 2008).

Se reconoce también que el pH es uno de los parámetros que afecta sobretodo las propiedades texturales del queso, debido a su

Tabla III. Condiciones para la determinación de propiedades texturales en algunos tipos de queso fresco.

Prueba textural	Tipo de queso	Geometría de la muestra	Equipo utilizado	Condiciones de la prueba	Parámetros calculados	Referencia
Compresión uniaxial	Queso fresco (sin iniciadores lácticos)	Cilindros de 25 mm de diámetro por 20 mm de altura	TA-TX2 Texture Analyzer ^a	Temperatura: 4°C % de compresión: 80% con respecto a la altura original. Plato de 50 mm de diámetro. Velocidad: 0.8 mm/s No. de mediciones por muestra: 6	Fuerza de fractura (σ) Fuerza de deformación (ϵ)	Zamora, 2009
Compresión uniaxial	Queso fresco elaborado con leche de cabra cruda, pasteurizada y tratada por altas	Cubos de 10 mm de cada lado.	TA-TX2 Texture Analyzer ^a	Temperatura: 20°C 80% de compresión con respecto a su altura original. Velocidad: 80 mm/min = 1.3 mm/seg. No. de mediciones por muestra: 6 NOTA: Las mediciones se realizaron bajo condiciones lubricadas.	Fuerza de fractura (σ) Fuerza de deformación (ϵ)	Buffa <i>et al.</i> , 2001
TPA	Queso suave de leche de cabra	Bloques cilíndricos de aprox. 14.5 mm de diámetro y altura.	Máquina universal de ensayos (modelo SM-25-155, Material Testing Products Systems Corp., Eden Prairie, MN).	Doble compresión a 75% de su altura orig Velocidad: 100 mm/min No. de mediciones por muestra: 4	A partir de las gráfica de fuerza contra tiempo se calcularon: la dureza, cohesividad y fracturabilidad. Así como la masticabilidad (producto de	Van Hekken <i>et al.</i> , 2005
TPA	Queso fresco de México	Cilindros de 15 mm de diámetro y 15 mm de altura.	Máquina universal de ensayos Sintech 1/G (MSS Systems, Eden Prairie, MN).	Doble compresión a 75% de su altura original. Velocidad: 100 mm/ min = 1.6 mm/s No. de mediciones por muestra: 4	Dureza y cohesividad	Tunick y Van Hekken, 2010
Relajación del esfuerzo	Queso untable	Cubos de 2 cm.	Texture Analyzer TA.XT2 ^b empleando el software Texture Expert versión 1.22.	Se utilizó un plato de 3.6 cm de diámetro, se aplicó una fuerza de 0.5 N con 1 mm/s de velocidad, con una deformación del 50%.	Tiempo de relajación	Carvajal-Cuéllar, 2004
Creep	Queso untable	Cubos de 2 cm.	Texture Analyzer TA.XT2 ^b empleando el software Texture Expert versión 1.22.	Se utilizó un plato de 3.6 cm de diámetro, se aplicó una fuerza de 0.2N con una velocidad de 1mm/s, midiendo distancia contra tiempo.	Deformación como función del tiempo	Carvajal-Cuéllar, 2004
Penetración	Queso crema	Bloques rectangulares de (12 × 6.8 × 3 cm).	TA.XT2 Texture Analyzer ^b	Se utilizó una sonda cónica con de acero inoxidable con ángulo de 45° (AT-15) la cual se introdujo 15 mm en las muestras a una velocidad de 1 mm/s.	Dureza	Brighenti <i>et al.</i> , 2008

efecto sobre la red de proteínas. Un pH cercano al punto isoeléctrico provoca fuertes fuerzas iónicas e hidrófobas, que resultan en una red de caseína compacta típica de los quesos duros, mientras que en el caso de un pH más alto las caseínas presentan una carga negativa, lo que genera repulsión entre los agregados proteicos, generándose un queso con mayor humedad, más elástico y menos compacto (Watkinson *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2008).

En los quesos frescos, la elevada humedad y el bajo pH, son condiciones que afectan notoriamente la textura y sabor durante la conservación, de forma que una excesiva proteólisis podría ocasionar defectos como una textura excesivamente blanda y un sabor amargo (Fox y McSweeney, 1996). Un

ejemplo donde se hace más evidente este defecto es en el queso Oaxaca, que con el tiempo se ablanda, pierde elasticidad y definición visual del hilado, semejante al que se observa en el queso Mozzarella (Imm *et al.*, 2003; Zisu y Shah, 2005).

La sal además de tener un papel en el sabor y conservación del queso, en altas concentraciones disminuye la actividad enzimática proteolítica, aumentando la salida de agua presente en la red proteica de la cuajada (sinéresis) ocasionando con ello, menor humedad y por lo tanto mayor dureza en el queso (Pinho *et al.*, 2004; Guo *et al.*, 2012).

La acidez, en el queso es otro factor que no sólo tiene incidencia sobre el sabor, sino

también directamente en los cambios que experimenta la red de proteína (cuajada) del queso, teniendo ésta una correlación directa en los fenómenos de sinéresis (es decir; a mayor acidez, mayor sinéresis) y textura final (Pinho *et al.*, 2004). Además de la acidez, la sinéresis está afectada también por circunstancias propias del proceso de elaboración y por la presencia de calcio libre, el cual provoca la unión de la caseína en la red protéica de la cuajada (Walstra, 1990).

3.2. Condiciones de proceso

No obstante que la composición original del queso es determinante en las características texturales del mismo, otros aspectos como la tecnología aplicada, la adición de cultivos iniciadores y las condiciones de maduración tendrían mayor impacto, determinando con ello la identidad y aceptabilidad del queso (Fox *et al.*, 2000; Walstra *et al.*, 2006; Johnson y Law, 2011).

3.2.1. Tratamiento térmico/Pasteurización

Aunque no existe un mecanismo claro, se ha observado que la pasteurización de la leche produce una desnaturalización ligera de las proteínas séricas (α_{S1} y β -caseínas), así como modificaciones leves en la capacidad de coagulación de la leche (Grappin y Beuvier, 1997). Provoca también la disminución significativa de péptidos de cadena corta y aminoácidos libres – compuestos precursores de aromas y sabores en el queso (Tunick y Van Hekken, 2010) y origina quesos con alto contenido de humedad con respecto a los elaborados con leche cruda (Ortigosa *et al.*, 2001).

Para evitar los efectos del tratamiento térmico en las proteínas de la leche, se ha investigado la aplicación de altas presiones en queso y su potencial uso en la industria láctea (Buffa *et al.*, 2001; Trujillo *et al.*, 2002; Juan *et al.*, 2007; Evert-Arriagada *et al.*, 2012). Las

altas presiones inactivan el crecimiento de los microorganismos presentes en la leche y el queso, así mismo alteran las velocidades de las reacciones enzimáticas (Ávila *et al.*, 2007).

3.3. Alteraciones causadas por microorganismos

Como ya se mencionó, las propiedades físicas del queso pueden verse afectadas como consecuencia de procesos bioquímicos, tales como la proteólisis y la lipólisis. Las enzimas involucradas en estos procesos pueden estar presentes en el cuajo, la leche o bien, ser producidas por microorganismos (Sousa *et al.*, 2001).

Algunos microorganismos utilizados como cultivos iniciadores, además de metabolizar la lactosa, pueden producir y liberar otros compuestos en el queso. Jiménez-Guzmán *et al.*, (2009), evaluaron la presencia de un exopolisacárido producido por una cepa de *Streptococcus thermophilus* en la composición y propiedades de queso Panela, concluyendo que la presencia de dicho compuesto incrementó la retención de humedad y grasa dentro de la matriz del queso.

El principal mecanismo a través del cual un cultivo iniciador puede afectar las propiedades texturales, reológicas y funcionales del queso, tiene que ver con su capacidad de producción de ácido, que como ya se mencionó afecta la red proteica y a su capacidad para retener agua. Un aumento en el contenido de humedad provocará una textura más blanda, menor firmeza, y en el caso del queso de pasta hilada, una mayor capacidad de fusión (fundibilidad) (Zisu y Shah, 2005).

3.4. Otros factores

El uso de cuajo artesanal da como resultado quesos de mayor dureza (bajo prueba de compresión y penetración), adhesividad y elasticidad con respecto al cuajo comercial

(Álvarez, 2003). Esto se puede deber a la mayor capacidad proteolítica del coagulante artesanal frente al comercial, derivando en una mayor cremosidad de este tipo de quesos.

Algunos estudios demuestran que el cambio de dieta del animal lactante modifica la composición de la leche y en consecuencia, puede ocasionar un cambio de leve a moderado en las propiedades reológicas y texturales de queso (Jaramillo *et al.*, 2010; Álvarez, 2003)

Finalmente, la oxidación de las grasas de los quesos es otro fenómeno presente en el queso en mayor o menor extensión. En quesos frescos la exposición a la luz es la causa principal de oxidación, aparición de aromas atípicos (desagradables) y cambios en el color (Mortensen *et al.*, 2004).

Conclusiones y comentarios finales

A lo largo de esta revisión se ve la importancia de factores tales como la composición química y condiciones de proceso que afectan en menor o mayor medida las propiedades y características que por definición corresponden a los quesos frescos.

La mayoría de las técnicas mencionadas para el análisis de las propiedades de los quesos frescos, han sido estandarizadas y ampliamente aceptadas por la comunidad científica. No obstante, dados los avances tecnológicos en los equipos empleados para la medición de las mismas, éstas se han perfeccionado e inclusive han surgido otras técnicas como la micro-tomografía de rayos X

en el caso del análisis de microestructura o los recientes estudios sobre análisis de textura mediante espectroscopía de infrarrojo cercano acoplada a sonda de fibra óptica, cuya aplicación resulta novedosa. Sin embargo, habría que reflexionar sobre el costo-beneficio de dichas técnicas.

Respecto a las diferentes pruebas que se emplean para evaluar los parámetros texturales y reológicos, una de las ventajas de los métodos reológicos fundamentales, es la posibilidad de poder evaluar la influencia de modificaciones mínimas a la formulación, mientras que dichas diferencias, cuando son muy pequeñas, no pueden ser detectadas con métodos empíricos o imitativos.

Finalmente se destaca que el conocimiento de las características y propiedades del queso como resultado de su formulación, elaboración y proceso, así como el dominio de las técnicas y métodos para su caracterización, son de gran relevancia no sólo para garantizar su calidad y aceptabilidad; sino también como una herramienta de identidad útil para diferenciar los diversos tipos de quesos frescos.

Agradecimientos

La autora Carolina Ramírez López, agradece a la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento recibido para la realización de este trabajo. Así mismo al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado a través de la licencia laboral otorgada a su servidora para la realización de estudios de doctorado.

Referencias

Adda, J., Gripon, J.C. y Vassal, L. 1982. The chemistry of flavour and texture generation in cheese. *Food Chemistry*. 9(1):115-129.

- Alais, C. 1985. *Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera*. Cuarta edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. 873 pp.
- Álvarez, S. 2003. Influencia de la alimentación del ganado caprino en la caracterización físico-química y organoléptica del queso Majorero (D.O.). Tesis Doctoral, *Universidad de La Laguna, España*.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, EE.UU.
- Ávila, M., Calzada, J., Nuñez, M. y Garde S. 2007. Effect of a bacteriocin-producing *Lactococcus lactis* strain and high-pressure treatment on the esterase activity and free fatty acids in Hispánico cheese. *International Dairy Journal*. 17: 1415-1423.
- Bohlin, L., Hegg, P.O. y Ljusberg-Wahren H. 1984. Viscoelastic properties of coagulating milk. *Journal Dairy Science*. 67, 729-734.
- Bourne, M.C. 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2da Edición. Academic Press. San Diego California, EE.UU. 427 pp.
- Brighenti, M., Govindasamy-Lucey, S., Lim K., Nelson, K., y Lucey, J.A. 2008. Characterization of rheological, textural and sensory properties of samples of commercial US cream cheese with different fat contents. *Journal of Dairy Science*. 91: 4501-4517.
- Buffa, M.N., Guamis, B., Saldo J., y Trujillo, A.J. 2004. Changes in organic acids during ripening of cheese made from raw, pasteurized or high-pressure treated goat's milk. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. Food Science and Technology*. 37(2):247-253.
- Buffa, M.N., Trujillo, A.J., Pavia, M. y Guamis, B. 2001. Changes in textural, microstructural, and color characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goat's milk. *International Dairy Journal*. 11: 927-934.
- Carvajal-Cuéllar, D.M. 2004. Estudio del comportamiento fisicoquímico y reológico de un queso untable. Tesis de Maestría. *Universidad de las Américas Puebla*. México.
- Caro, I., Franco M.J., Mateo J. y Alonso, C. 1998. Influencia en la acidificación del queso tipo Oaxaca de la adición de distintas cantidades de fermentos mesófilos y termófilos a distintos tiempos de inoculación. *XI Congreso Nacional de Microbiología de la SEM*. Libro de ponencias, comunicaciones y posters. Pamplona, España.
- Castañeda, R. 2002. La reología en la tipificación y la caracterización de quesos. En: *Tecnología Láctea Latinoamericana*. 20(26): 48-53.
- Cunha, C.R., Dias, A.I. y Viotto, W.H. 2010. Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International*. 43 (3): 723-729.
- Dalgleish, D.G. 1999. The Enzymatic Coagulation of Milk. En: P.F. Fox (Ed). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volumen 1. Aspen Publishers, Maryland, EE.UU. pp. 69-100.
- De Oca-Flores, E. M., Castelán-Ortega, O. A., Estrada-Flores, J. G. y Espinoza-Ortega, A. 2009. Oaxaca cheese: manufacture process and physicochemical characteristics. *International Journal of Dairy Technology*. 62(4):535-540.
- Eck, A. 2000. What is a cheese?. En: A. Eck y J.C. Gilis (Eds). *Cheesemaking: From Science to Quality Assurance*. Lavoisier Publishing. pp. 661-662.
- Evert-Arriagada, K., Hernández-Herrero, M.M., Juan, B., Guamis, B. y Trujillo, A.J. 2012. Effect of high pressure on fresh cheese shelf-life. *Journal of Food Engineering*. 110 (2): 248-253.
- FAO/OMS. 2008. Leche y productos lácteos. 2da edición. Norma general del Codex para el queso. Codex Stan 283-1978. Revisión 1999, Enmienda 2006.
- Farkye, N.Y. 2004. Cheese technology. *International Journal of Dairy Technology*. 57(2-3):91- 98.
- Farkye, N.Y., Prasad, B.B., Rossi, R., y Noyes, O.R. 1995. Sensory and textural properties of Queso Blanco-type cheese influenced by acid type. *Journal of Dairy Science*. 78:1649.
- Foegeding, E.A. y Drake, M.A. 2007. Invited Review: Sensory and mechanical properties of cheese texture. *Journal of Dairy Science*. 90:1611-1624.
- Fox, P.F., Guinne, T.P., Timothy, M.C. y McSweeney P.L.H. 2000. *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers, Maryland, EE.UU. pp. 392- 422.
- Fox, F.P. y McSweeney P.L.H. 1996. Proteolysis in cheese during ripening. *Food Reviews International*. 12, 457-509.
- García-Islas, B. 2006. Caracterización fisicoquímica de diversos tipos de quesos elaborados en el Valle de Tulancingo Hgo con el fin de proponer normas de calidad. Tesis de licenciatura. *Universidad*

Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hgo. México. 98 pp.

- Grappin, R. y Beuvier, E. 1997. Possible implications of milk pasteurization on the manufacture and sensory quality of ripened cheese. *International Dairy Journal*. 7: 751-761.
- Guisa, F.L. 1999. Types of Mexican cheeses. Exploring cheeses of Mexico and Latin America. Artisan course. *Universidad de Wisconsin*, Madison. EE.UU.
- Guo, L., Van Hekken, D.L., Tomasula, P.M., Tunick, M.H. y Huo, G. 2012. Effect of salt on microbiology and proteolysis of Queso Fresco cheese during storage. *Milchwissenschaft*. 67:74–77.
- Gunasekaran, S. y Ak, M.M. 2003. *Cheese Rheology and Texture*. CRC Press. Nueva York, EE.UU. 437 pp.
- Hwang, C.H. y Gunasekaran, S. 2001. Measuring crumbliness of some commercial Queso Fresco-type Latin American cheeses. *Milchwissenschaft*. 56: 446-450.
- Ibáñez, F. C., Loygorri, S., Ordoñez, A. y Torre I.P. 1998. Evaluación instrumental y sensorial de la textura en quesos de oveja con denominación de origen. *Alimentaria*. 292:49-53.
- Imm, J.Y., Oh, E.J., Han, K.S., Park, Y.W. y Kim S.H. 2003. Functionality and physico-chemical characteristics of bovine and caprine Mozzarella cheeses during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science*. 86:2790-2798.
- Jaramillo, D.P., Buffa, M., Rodríguez, I., Pérez-Baena, I., Guamis, B. y Trujillo, A.J. 2010. Effect of the inclusion of artichoke silage in the ration of lactating ewes on the properties of milk and cheese characteristics during ripening. *Journal of Dairy Science*. 93(4):1412-1419.
- Jiménez-Guzmán, J., Flores-Nájera, A., Cruz-Guerrero, A.E. y García-Garibay, M. 2009. Use of an exopolysaccharide-producing strain of *Streptococcus thermophilus* in the manufacture of Mexican Panela cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*. 42:1508-1512.
- Johnson, M. y Law, B.A. 2011. The fundamentals of cheese technology. En: Law B.A. y Tamime A.Y. (Eds). *Technology of cheesemaking*. Segunda edición. Wiley Blackwell, Reino Unido.
- Juan, B., Trujillo, A.J., Guamis, V., Buffa M., y Ferragut, V. 2007. Rheological textural and sensory characteristics of high-pressure treated semi-hard ewe's milk cheese. *International Dairy Journal*. 17: 248-254.
- Karami, M., Ehsani M.R., Mousavi S.M., Rezaei K., Safari M. 2009. Microstructural properties of fat during the accelerated ripening of ultrafiltered-Feta cheese. *Food Chemistry*. 113 (2): 424-434.
- Kilcast, D. 2004. *Texture in Foods*. Vol. 2 Solid Food. CRC Press. Nueva York, EE.UU. pp. 205-236.
- Kuo, M.I. y Gunasekaran, S. 2003. Effect of frozen storage on physical properties of pasta filata and non-pasta filata Mozzarella cheeses. *Journal of Dairy Science*, 86:1108–1117.
- Kuo, M.I. y Gunasekaran, S. 2009. Effect of freezing and frozen storage on microstructure of Mozzarella and pizza cheeses. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie- Food Science and Technology*. 42(1): 9-16.
- Laverse, J., Mastromatteo, M., Frisullo, P., Del Nobile, M.A. 2011. X-ray microtomography to study the microstructure of cream cheese-type products. *Journal of Dairy Science*. 94 (1): 43-50.
- Lawrence, R.C., Creamer, L.K. y Gilles, J. 1987. Symposium: cheese ripening technology. Texture development during cheese ripening. *Journal of Dairy Science*. 70 (8): 1748-1760.
- Liu, H., Xu, M.X. y Guo, S.D. 2008. Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology*. 43(9): 1581-1592.
- Lobato-Calleros, C., Reyes-Hernández, J., Beristain, C.I., Hornelas-Urbe, Y., Sánchez-García, J.E. y Vernon-Carter, E.J. 2007. Microstructure and texture of white fresh cheese made with canola oil and whey protein concentrate in partial or total replacement of milk fat. *Food Research International*. 40:529–537
- Lu, N., Shirashoji, N. y Lucey, J.A. 2008. Effects of pH on the textural properties and meltability of pasteurized process cheese made with different types of emulsifying salts. *JFS: Food Engineering and Physical Properties*. 73(8):E363-E369.
- Lucey, J.A., Johnson, M.E. y Horne, D.S. 2003. Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal Dairy Science*. 86: 2725-2743.

- McSweeney, P.L.H. 2004. Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*. 57(2-3):127-144.
- Morales-Celaya, M.F., Lobato-Calleros, C., Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Cardé, E.J. 2012. Effect of milk pasteurization and acidification method on the chemical composition and microstructure of a Mexican pasta filata cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie-Food Science and Technology*. 45(2): 132-141.
- Mortensen, G., Bertelsen, G., Mortensen, B.K. y Stapelfeldt, H. 2004. Light-induced changes in packaged cheeses –a review. *International Dairy Journal*. 14:85-102.
- Muller, H.G. 1973. An introduction to Food Rheology. William Heineman Ltd., Heineman, Londres. p. 14.
- NOM-121-SSA1-1994. Norma oficial. Bienes y servicios. Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias para lácteos y sus derivados.
- Path, J. 1991. Hispanic cheeses: A promising new market for the specialty cheesemaker. *UW Dairy Pipeline*. 3(4):1-4.
- Pavia, M., Trujillo, A.J., Guamis, B. y Ferragut, V. 1999. Evolución de la composición y textura de un queso de oveja en la maduración. *Alimentaria*. 306: 43-47.
- Pereira, C.I., Gomes, A.M.P., y Malcata, F.J. 2009. Microstructure of cheese: Processing, technological and microbiological considerations. *Trends in Food Science and Technology*. 20(5): 213-219.
- Pinho, O., Mendes, E., Alves, M.M., Ferreira, IMPLVO. 2004. Chemical, physical, and sensorial characteristics of “Terrincho” ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science*. 87(2):249-257.
- Ortigosa, M., Torre, P. y Izco, J.M. 2001. Effect of pasteurization of ewe’s milk and use of a native starter culture on the volatile components and sensory characteristics of roncal cheese. *Journal of Dairy Science*. 8 (6):1320-1330.
- Ribero, G.G., Rubiolo, A.C. y Zorrilla, S.E. 2009. Microstructure of Mozzarella as affected by the immersion freezing in NaCl solutions and by the frozen storage. *Journal of Food Engineering*. 91: 516-520.
- Rosenthal, A.J. 1999. Relation between instrumental and sensory measures of food texture. En: A.J. Rosenthal (Ed). *Food texture, measurement and perception*. Aspen Publishers Inc. Nueva York, EE.UU.
- Scholz, W. 1995. Elaboración de quesos de oveja y de cabra. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 145 p.
- Scott, R., Robinson, R.K. y Wilbey, R.A. 1998. Cheese varieties. En: Scott, R., Robinson, R.K. y Wilbey, R.A. (Eds). *Cheesemaking Practice*, Tercera edición. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, EE.UU. 449 pp.
- Segards, R.A. y Kapsalis, J.G. 1987. Texture, rheology, psychophysics. En: J.G. Kapsalis (Ed). *Objective methods in food quality assessment*. CRC Press. Nueva York, EE.UU. pp. 155-184.
- Shoemaker, C.F., Lewis, J.I. y Tamura, M.S. 1987. Instrumentation for rheological measurements of food. *Food Technology*. 41: 80-84.
- Sousa, M.J., Ard, Y. y McSweeney, P.L.H. 2001. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *International Dairy Journal*. 11, 327-345.
- Steffe, J. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Segunda edición. Freeman Press, Michigan, EE.UU. pp. 1-10, 295-317, 258-262.
- Tabilo-Munizaga, G. y Barbosa-Cánovas, G. 2005. Rheology for food industry. *Journal of Food Engineering*. 67:147-156.
- Tan, Y.L., Ye, A.A., Singh, H. H. y Hemar, Y.Y. 2007. Effects of biopolymer addition on the dynamic rheology and microstructure of renneted skim milk systems. *Journal of Texture Studies*. 38(3): 404-422.
- Theophilou, P., y Wilbey, R.A. 2007. Effects of fat on the properties of halloumi cheese. *International Journal of Dairy Technology*. 60(1):1-4.
- Trivedi, D., Bennett, R.J., Hemar, Y., Reid, D.W., Lee, S., y Illingworth, D. 2008a. Effect of different starches on rheological and microstructural properties of (I) model processed cheese. *International Journal of Food Science and Technology*. 43(12):2191-2196.
- Trivedi, D., Bennett, R.J., Hemar, Y., Reid, D.W., Siew, K.L. y Illingworth, D. 2008b. Effect of different starches on rheological and microstructural properties of (II) commercial processed cheese. *International Journal of Food Science and Technology*. 43(12): 2197-2203.
- Trujillo, A. J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R., y Guamis, B. 2002. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review.

Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3: 295–307.

- Tunick M.H. 2000. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. En: Symposium: Dairy products rheology. *Journal of Dairy Science*. 83:1892-1898.
- Tunick, M.H. y Van Hekken, D.L. 2010. Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk. *Journal of Food Quality*. 33:204-215.
- Udayarajan, C. 2007. Relating physicochemical characteristics of cheese to its functional performance. Tesis doctoral. (PhD of Philosophy Food Science). *Universidad de Wisconsin-Madison*, EE.UU. 29 pp.
- Van Hekken, D.L. y Farkye, N. 2003. Hispanic Cheeses: The quest for queso. *Food Technology*. 57:32-38.
- Van Hekken, D.L., Tunick, M.H. y Park, Y.W. 2005. Effect of frozen storage on the proteolytic and rheological properties of soft caprine milk cheese. *Journal of Dairy Science*. 88:1966–1972.
- Vélez-Ruiz, J.F. y Barbosa-Cánovas, C.G. 1997. Rheological properties of selected dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 37:311-359.
- Vélez-Ruiz, J.F. 2009. Rheology and Texture of Cheese. En: Sosa-Morales, M.E. y Vélez-Ruiz, J.F. (Eds). *Food Processing and Engineering Topics*. Ed. Nova Science Publishers. Nueva York. EE.UU. pp 87-122.
- Walstra, P. 1990. On the stability of casein micelles. *Journal of Dairy Science*. 73:1965-1979.
- Walstra P., Wouters J.T.M. y Geurts T.J. 2006. Dairy Science and Technology. CRC Press. Nueva York, EE.UU. 140-155 pp.
- Watkinson P., Coker C., Crawford R., Dodds C., Johnston K., McKenna A. y White N. 2001. Effect of cheese pH and ripening time on model cheese textural properties and proteolysis. *International Dairy Journal*. 11: 455–464.
- Zamora A. 2009. Ultra high pressure homogenisation of milk: Effects on cheese making. PhD Tesis. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Zisu B., y Shah N.P. 2005. Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*. 15, 957-972.