

RECYT

Año 16 / N° 22 / 2014 / 58–66

## Reología y textura de quesos bajos en grasa

### Rheology and texture of low-fat cheese

Andrea C. Castro<sup>1,\*</sup>, Carlos F. Novoa<sup>2</sup>, Néstor Algecira<sup>3</sup>, Gustavo Buitrago<sup>4</sup>

1 - Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

2 - Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

3 - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

4 - Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

\* E-mail: anccastrova@unal.edu.co

#### Resumen

Las propiedades reológicas constituyen un factor determinante de la calidad y aceptabilidad de los quesos. La tendencia actual hacia el desarrollo de productos bajos en grasa, ha incrementado el interés de la industria por la caracterización de dichos parámetros, que definen su comportamiento cuando son consumidos o procesados. Existen diversas técnicas empleadas en la determinación de textura de los quesos, en las cuales se varía la fuerza o deformación a la que es sometida la muestra, geometría, temperatura y velocidad de análisis, entre otros. Sin embargo, ninguna ha logrado sustituir la evaluación sensorial, que define atributos específicos del producto cuando es consumido. Esta revisión recopila algunas de las principales herramientas empleadas en el análisis reológico y textural de quesos, dando un énfasis hacia los productos bajos en grasa.

Palabras clave: Perfil de textura; Análisis sensorial de textura; Ensayos dinámicos; Compresión.

#### Abstract

Rheology properties represent an important aspect of cheese quality and acceptability. Current trends for low fat food development have increased the industry interest for the determination of physic parameters that define cheese behavior when it is consumed or processed. There are several techniques for cheese texture evaluation, which could modify stress, strain, geometry, temperature and speed of analysis. However, none of them have been able to replace sensory evaluation, which defines the specific attributes of a product when consumed. This review compiles some tools used for cheese rheological and textural analysis, giving emphasis to low-fat products.

Keywords: Texture profile; Texture sensory analysis; Dynamic test; Compression..

#### Introducción

En los últimos años, las tendencias alimenticias de los países occidentales han cambiado drásticamente, los consumidores son más conscientes de la relación entre la dieta diaria y la salud. La demanda de productos más saludables con características sensoriales similares a los tradicionales, ha llevado a la industria al desarrollo de alimentos de consumo diario con bajos contenidos de grasa o libre de esta.

Debido al alto contenido de grasa saturada presente en los quesos, el mercado de quesos bajos en grasa se ha incrementado de manera importante, representando un área de gran interés para la industria de los derivados lácteos. Sin embargo, la elaboración de este tipo de queso, no siempre resulta exitosa.

La eliminación o reducción de grasa en quesos, genera

cambios altamente perceptibles, entre los que se describen, baja intensidad de sabor, *off-flavors*, textura gomosa, granulosa, color indeseable, poca capacidad de fusión y liberación de aceite (1-5), así como bajos rendimientos e incluso aumento en tiempos de maduración(6).

Entre los atributos de calidad en quesos considerados como decisivos por los consumidores y fabricantes, están algunas características físicas como textura, cuerpo y consistencia. Estas determinan la respuesta al esfuerzo o deformación, ya sea en su estado de materia prima, durante el porcionado, tajado, desmenuzado, rallado y la masticación; o cuando es usado como ingrediente, en procesos de reducción de tamaño, calentamiento y en interacción con otros ingredientes.

El estudio de las propiedades reológicas de los diferentes tipos de quesos, en especial aquellos en los que se ha disminuido el contenido de grasa, permite establecer su

comportamiento durante la manipulación, empaque, transporte, almacenamiento, refrigeración, cocción y consumo.

Aunque la reología y textura de los quesos, y los factores que la afectan han sido ampliamente revisados (7-16), este documento presenta una recopilación de los principales aspectos y técnicas aplicadas al estudio de la reología y textura de diferentes quesos bajos en grasa.

### Estructura de los quesos y su influencia en las propiedades reológicas

El queso es un alimento heterogéneo, compuesto principalmente de caseínas (organizadas en una red continua), materia grasa, agua y minerales (ocuidos dentro de la red proteica). La red de caseína es formada a partir de las micelas presentes en la leche, ya sea por acidificación hasta alcanzar el punto isoeléctrico de las proteínas (pH 4,6) mediante la adición de cultivos bacterianos o de un ácido grado alimenticio; o por la adición de enzimas proteolíticas (renina o quimosina) que hidrolizan la  $\kappa$ -caseína, desestabilizando la estructura micelar y dando origen a la formación de un gel por interacción proteica.

La reología del queso varía considerablemente dependiendo del tipo de queso y edad, siendo una función de diferentes factores dentro de los que se incluyen la composición, estado fisicoquímico de los componentes (grasa en estado libre o coalescente, grado de hidratación y proteólisis de la matriz de para-caseína, calcio soluble, insoluble, pH, entre otros), micro y macroestructura (ojos, grietas y fisuras) (8, 9, 17).

#### Proteína

La concentración de proteína cumple un papel fundamental en las propiedades reológicas de los quesos. Las caseínas forman una estructura heterogénea en quesos obtenidos a partir de coagulación enzimática, donde la matriz proteica está constituida básicamente de fosfopara-caseinato de calcio. Durante la coagulación, las moléculas de para-caseína se unen mediante atracciones electrostáticas y de Van der Waals, dando lugar a filamentos irregulares que se entrecruzan, manteniendo la integridad de la matriz (18).

El número de filamentos formados determina la capacidad de soportar un esfuerzo. Existe una correlación positiva entre el volumen de la fracción proteica y la firmeza del queso. A mayor número de filamentos, existirá un aumento de enlaces intra e inter-filamentos, formando una matriz más elástica y por tanto más difícil de deformar (8). En quesos a los que se les ha disminuido el contenido de grasa, el aumento de la fracción proteica y un mayor entrecruzamiento de filamentos, ocasiona un aumento de la firmeza y elasticidad, así como una disminución en la adhesividad y capacidad de fusión y flujo (19-22).

#### Grasa

La grasa está presente en los quesos inmersa entre la matriz de caseínas, en forma de glóbulos de 2-4 $\mu$ m, agregados globulares o como grandes áreas de grasa libre de 10-50 $\mu$ m (17). El estado de la grasa es importante para determinar las propiedades físicas y sensoriales de los quesos. A baja temperatura, los glóbulos grasos son sólidos y contribuyen a la rigidez del producto. A temperaturas intermedias, los glóbulos son plásticos e influyen sobre la viscosidad y a altas temperaturas, la materia grasa es líquida y contribuye poco a la firmeza, pero interviene en la percepción del *flavor* y la funcionalidad del queso (23).

El efecto de la temperatura en la grasa, se ve reflejado en la reología del producto, con una disminución inversamente proporcional al incremento de temperatura, en los parámetros de esfuerzo máximo ( $\sigma_{max}$ ), esfuerzo de fractura ( $\sigma_f$ ) y módulo elástico  $G'$  (8). Durante el corte y rallado del queso se emplean bajas temperaturas, que garantizan cierta elasticidad y reducen la tendencia de aglutinación del queso. Por el contrario, al ser usado como ingrediente y ser sometido a altas temperaturas, los glóbulos grasos son fracturados y en su estado líquido, lubrican las capas de caseína, permitiendo el flujo y la fusión del queso (17).

En general, la disminución de grasa genera un incremento en los niveles de humedad, proteína y minerales. El aumento de la fracción proteica ha sido asociado con un incremento en la firmeza de quesos, reflejados en un elevado esfuerzo y deformación de fractura (21, 24). Los glóbulos grasos ocuidos en la matriz de caseínas, ocupan un determinado espacio y actúan como un extensor de la red. Así, a menor número y tamaño de glóbulos, las micelas tienden a agregarse y contraerse con mayor intensidad, generando una estructura más rígida.

Para disminuir los efectos generados por la disminución de grasa en los quesos, se emplean proteínas, carbohidratos o triglicéridos modificados, como sustitutos de grasa. Los imitadores basados en proteína y carbohidratos, expanden la matriz proteica y mejoran la formación de canales de agua, simulando la función de los glóbulos grasos en la red de caseínas (17). El uso de estos aditivos, ha permitido mejorar las características reológicas y funcionales de diversos tipos de quesos, incluyendo madurados y frescos (2, 11, 22, 25).

### Análisis reológico de quesos

La reología del queso puede ser definida como el estudio de su deformación y flujo cuando es sometido a un esfuerzo (aplicado durante el procesamiento o consumo). Las propiedades reológicas incluyen características intrínsecas tales como elasticidad, viscosidad y viscoelasticidad que se relaciona principalmente con la composición, estructura y la fuerza de atracción entre los elementos estructurales

del queso (9).

El esfuerzo es definido como la distribución de fuerza sobre el área del queso, soportada por los filamentos de caseína y los glóbulos grasos. La deformación ( $\epsilon$ ), es definida como el desplazamiento en respuesta a la fuerza aplicada. El esfuerzo puede ser de corte o normal. El esfuerzo de corte ( $\tau$ ) es aquel que es aplicado de manera tangencial a la superficie de la muestra, mientras que el esfuerzo normal ( $\sigma$ ) es creado por una fuerza perpendicular aplicada a la superficie del producto.

Los ensayos reológicos pueden ser clasificados como empíricos o fundamentales. Los métodos empíricos, son relativamente simples y de baja precisión. Miden el efecto de la aplicación de una fuerza en un solo punto de la muestra (por ejemplo, durante la manipulación de la cuajada, o la presión con los dedos), mediante penetrómetros, bolas de compresión y tromboelastógrafos, entre otros (26).

Las pruebas fundamentales, son más sofisticadas y tienen en cuenta la geometría de la muestra y condiciones de experimentación (Tabla 1). Estas pruebas son realizadas con instrumentación especial y arrojan una explicación matemática, que puede ser interpretada y reproducida por los investigadores (7). Estos incluyen pruebas de compresión, de baja oscilación y transitorias.

### Ensayos dinámicos oscilatorios

Los quesos al igual que la mayoría de alimentos, presentan simultáneamente un flujo viscoso y elasticidad, denominado, viscoelasticidad. Si un alimento se deforma bajo una fuerza, su recuperación será siempre menor que

la inicial y dependerá de la composición, el tiempo al que es sometido, el historial de cargas, entre otras (27). La respuesta de los materiales viscoelásticos a ciertos esfuerzos y deformaciones es ampliamente dependiente del tiempo, por lo que es necesaria su inclusión como una variable independiente para definir las propiedades del material (28).

La caracterización reológica de los quesos en la región de viscoelasticidad lineal (donde el queso aún se puede recuperar de la deformación y donde existe una relación lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación obtenida), se realiza principalmente mediante reometría dinámica oscilatoria. Esta técnica consiste en aplicar una torsión de baja amplitud (deformación de baja oscilación) y medir el esfuerzo resultante.

En quesos bajos en grasa, el estudio del comportamiento viscoelástico mediante ensayos dinámicos ha sido bastante aplicado (Tabla 1), debido al papel que cumplen los glóbulos grasos en las propiedades elásticas y viscosas de los quesos. La geometría de platos paralelos es la más empleada, debido a que las muestras se pueden tomar con facilidad y es posible evitar algunos inconvenientes durante la prueba, como deshidratación, empleando una capa de aceite mineral o silicona sobre la superficie de la muestra (35); o el deslizamiento de la muestra mediante el uso de platos con superficies rugosas.

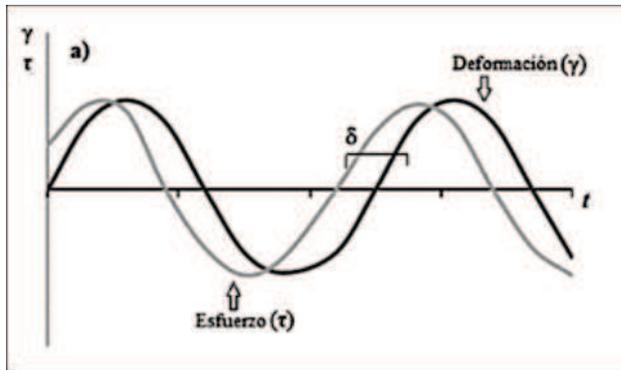
En la geometría de placas paralelas, la placa inferior está fija y la superior es móvil. La torsión aplicada por el plato móvil va desde "0" en el eje central hasta el límite máximo, resultando en la deformación de la muestra en función del tiempo. En términos generales, el esfuerzo

**Tabla 1:** Análisis reológicos fundamentales aplicados a diferentes tipos de quesos bajos en grasa.

Tipo de queso	Tipo de prueba	Dimensiones de la muestra	Condiciones de prueba	Deformación	Instrumento	Temperatura (°C)	Referencia
Blanco Iraní bajo en grasa	Dinámica baja amplitud	Cilindro: 25 mm $\phi$ X 1 mm	Barrido de frecuencia 0,1-10 Hz	0,02%	Reómetro Paar Physica UDS 200	20	(29)
Cheddar semigraso	Dinámica baja amplitud.	Cilindro: 40 mm $\phi$ X 2 mm	Frecuencia: 6.283 rad.s <sup>-1</sup>	0,05%	Reómetro Carri-Med CSL2/100	20-82	(2)
Imitación con almidón de arroz	Dinámica baja amplitud.	Cilindro: 24 mm $\phi$ X 15 mm	Frecuencia: 1 Hz Esfuerzo:100Pa	Barrido: 0,1-10%	Reómetro SR 2000	22-80	(30)
Mozzarella bajo en grasa	Dinámica baja amplitud.	Cilindro: 25,4 mm $\phi$ X 4 mm	Barrido de frecuencia: 0,1-100 rad.s <sup>-1</sup>	0,8%	Reómetro RDA-700	22	(10)
Tipo Imitación con almidón resistente	Dinámica baja amplitud.	Cilindro: 25 mm $\phi$ X 2,4 mm	Frecuencia: 1Hz	Barrido: 0,1-10%	Reómetro SR 2000	22-100	(31)
Blanco Iraní bajo en grasa	Compresión uniaxial. Plato de 49mm	Cubo: 15 mm <sup>3</sup>	Velocidad: 50 mm min <sup>-1</sup>	57%	UTM H5K-S	Ambiente	(29)
Feta bajo en grasa	Compresión uniaxial. Plato de 35mm	Cubo: 20 mm <sup>3</sup>	Velocidad: 60 mm min <sup>-1</sup>	70%	UTM 1011	19	(32)
Kefalograviera bajo en grasa	Compresión uniaxial. Plato de 35mm	Cilindro: 14 mm $\phi$ X 15 mm	Velocidad: 60 mm min <sup>-1</sup>	80%	UTM 1011	19	(33)
Tipo holandés bajo en grasa y graso	Relajación	Cilindro: 10mm $\phi$ X 0,5 mm	Duración: 420s	25%	Instron 1011	18	(6)
"Minas Frescal" bajo en grasa	Relajación	Cilindro: 20 mm $\phi$ X 24 mm	Velocidad: 1 mm s <sup>-1</sup> Duración: 10min	10%	Texturómetro TAXT2i	10	(34)
	Fluencia		Fuerza: 0,75N Duración: 180s				

$\phi$ = Diámetro; UTM= Universal Testing Machine.

resultante está fuera de fase con la deformación aplicada, por un ángulo  $\delta$  (Figura 2), denominado ángulo de desfase o de pérdida mecánica. Este ángulo se encuentra en el intervalo  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ , y relaciona la energía almacenada y la disipada, permitiendo describir el comportamiento viscoelástico del material.



**Figura 2:** Desfase entre el esfuerzo y la deformación (ángulo de desfase) en un ensayo dinámico.

Un material elástico almacena la energía y es expresado como módulo elástico o de almacenamiento  $G'$ , que se define como el esfuerzo en fase con la deformación, dividida por la deformación en una prueba sinusoidal; mientras que uno viscoso la disipa, perdiendo una parte de la energía contenida y es denominado módulo de pérdida o viscoso  $G''$  y es definido como el esfuerzo desfasado  $90^\circ$  respecto a la deformación, dividido por la deformación. Ambos módulos son funciones de la frecuencia y se pueden expresar en términos de la relación de amplitud del esfuerzo y el ángulo de desfaseamiento (28):

$$G' = (\tau_0/\gamma_0) \cos \delta \tag{1}$$

$$G'' = (\tau_0/\gamma_0) \sin \delta \tag{2}$$

Otra función empleada para describir el comportamiento viscoelástico de algunos materiales, es la tangente del ángulo de desfase, que indica la relación entre la parte viscosa y elástica del producto:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \tag{3}$$

Estudios en diferentes tipos de quesos indican una disminución de  $G'$  y  $G''$ , acompañada de un aumento de  $\delta$ , originada tras un incremento de temperatura en el rango correspondiente al encontrado normalmente durante el consumo y masticación (4-40° C). En quesos bajos en grasa, se ha encontrado un aumento en el módulo elástico  $G'$  a temperaturas cercanas a 40° C, debido probablemente al incremento en el contenido proteico y por tanto, a una

matriz de caseína más fuerte y elástica (2).

### Ensayos de compresión uniaxial

Las pruebas realizadas en la región de viscoelasticidad lineal, a bajas amplitudes de deformación, dan información acerca del comportamiento elástico o viscoso de los quesos. Sin embargo, en la práctica, durante el procesamiento o consumo de queso, se producen esfuerzos normales y de corte que originan grandes deformaciones sobre su estructura. Para simular estas condiciones y evaluar los efectos sobre los quesos a nivel industrial y comercial, se emplean pruebas de compresión mediante una placa cilíndrica de gran diámetro, que someten una muestra de queso, ya sea de forma cilíndrica, cuadrada o rectangular (Tabla 1), a deformaciones >50% (dependiendo del tipo de queso), imitando por ejemplo el efecto de la compresión molar cuando es consumido.

En un ensayo de compresión, una fuerza normal es aplicada, hasta originar la ruptura estructural del queso. La curva esfuerzo-deformación obtenida, puede ser usada para calcular el esfuerzo máximo para producir la fractura ( $\sigma_f$ ), la deformación de fractura ( $\epsilon_f$ ), el módulo de deformabilidad (la pendiente máxima en el inicio de la curva) y el trabajo necesario para fracturar la muestra, determinado por el área bajo la curva (26). Estos parámetros adquieren gran relevancia durante la evaluación de quesos bajos en grasa y su desarrollo industrial. En algunos tipos de quesos a los que se ha disminuido el contenido de grasa, se han encontrado mayores esfuerzos y deformaciones de fractura, asociados con una firmeza elevada y un aumento de la fracción proteica (29).

Es importante tener en cuenta que la forma y dimensiones de la muestra deben ser precisas, con el fin de obtener reproducibilidad en las medidas. El rozamiento entre la muestra y la superficie del instrumento de medida, es un parámetro clave que puede modificar considerablemente los resultados; para esto, es necesario bloquear el deslizamiento empleando algún tipo de pegamento o papel de lija (36), o favorecerlo aplicando una capa de aceite mineral sobre las caras de la muestra (23, 37).

### Ensayos de relajación y fluencia

El comportamiento viscoelástico de los quesos, puede también ser estudiado mediante pruebas reológicas dependientes del tiempo conocidas como relajación y fluencia “*creep*”. Estas pruebas denominadas transitorias, emplean deformaciones mayores que las dinámicas (similares a las aplicadas cuando la cuajada es prensada para la expulsión del suero o cuando los quesos son almacenados en apilamiento), causando el rompimiento de interacciones de componentes estructurales de rango corto, por lo cual, es posible obtener información de propiedades de la red de caseína y los demás componentes ocluidos.

En un ensayo de relajación, la muestra es sometida a una deformación constante (0,1-0,2%) por compresión entre dos platos paralelos y se monitorea el esfuerzo resultante sobre el tiempo. Como resultado de la deformación, el esfuerzo incrementa instantáneamente en un tiempo "0", pero decae espontáneamente con el tiempo ( $t$ ). La curva esfuerzo-tiempo es usada para determinar el tiempo de relajación o disminución del esfuerzo. En queso *Cheddar* graso y bajo en grasa, analizados a una deformación de 0,2% por 1 min, se han observado diferencias en la pendiente de compresión inicial, la pendiente de relajación y la fuerza residual, atribuidas a diferencias estructurales y a la mayor agregación micelar en la matriz de caseína (9).

Las pruebas de fluencia, consisten en aplicar un esfuerzo constante que posteriormente es removido, produciendo una deformación determinada sobre el tiempo. En las curvas obtenidas de deformación-tiempo, se pueden identificar tres regiones: 1) La región elástica, donde la deformación es instantánea y reversible. En esta región, los filamentos de la matriz de caseína absorben y almacenan energía del esfuerzo, la cual es inmediatamente liberada, permitiéndole recuperar sus dimensiones originales. 2) La región viscoelástica, donde la recuperación del componente elástico es lenta y la deformación es mayor alterando parcialmente la estructura del queso. 3) La región viscosa, donde se produce una deformación permanente, en la cual el queso es sometido a un esfuerzo superior a su límite elástico, originando el rompimiento de los enlaces entre los elementos estructurales y permitiendo que el queso fluya (9).

### Análisis de textura de quesos

La textura es considerada como uno de los factores más importantes para determinar la calidad de un alimento, y también uno de los más complejos. En los quesos, es un parámetro determinante de la identidad y tipo de queso, y afecta significativamente la preferencia de consumidores y la intención de compra (13).

La textura del queso puede ser definida como un grupo de características físicas, que se originan de sus elementos estructurales. Relacionadas con la deformación, desintegración y flujo cuando es sometido a una fuerza y son medidas objetivamente en función de la masa, tiempo y distancia (38).

Los atributos de calidad textural pueden ser evaluados mediante análisis descriptivos sensoriales y análisis instrumentales. La combinación de tiempo y alto costo asociado con el análisis sensorial ha motivado el desarrollo de pruebas mecánicas que se correlacionan positivamente con los análisis sensoriales (39). Las medidas instrumentales ofrecen mayor objetividad y reproducibilidad, pero no necesariamente relacionan la intensidad percibida por los sentidos humanos, debido principalmente a la dificultad de

reproducir y simular las condiciones de la boca cuando el alimento es consumido, tales como hidratación con saliva, temperatura y reducción de tamaño (40, 41).

### Análisis sensorial

La evaluación sensorial de los quesos abarca la medición, análisis e interpretación de las respuestas humanas a los estímulos inducidos por los componentes reológicos, estructurales y químicos de los quesos, experimentados mediante la vista, tacto, olfato, oído y gusto. Estas características son percibidas por los consumidores cuando observan, manipulan y consumen un trozo de queso y son expresadas usando términos descriptivos (12).

Los análisis de textura sensorial, pueden ser divididos en afectivos y analíticos. Las pruebas afectivas o hedónicas, involucran consumidores (mínimo 70) y la evaluación es realizada en base a la concepción personal de aceptación y textura. Estas pruebas son útiles para determinar la aceptabilidad, intención de compra y preferencia (7).

Las pruebas analíticas más empleadas para la evaluación de quesos son las descriptivas, ya que constituyen una herramienta para diferenciar cualitativa y cuantitativamente diversos tipos de quesos. Para realizar un análisis sensorial descriptivo, es necesario un líder de panel, quien se encarga de: 1) seleccionar un panel de 6-15 panelistas (grupo de personas que llevarán a cabo la evaluación); 2) entrenarlo (definir los descriptores y comprobar que los panelistas sepan identificarlos, diferenciar entre muestras y que la variación sea mínima) y 3) definir la escala de evaluación, usualmente numéricas, con el menor puntaje de calificación en el lado izquierdo y el mayor en el derecho (39).

Los descriptores aplicados para la evaluación de textura en quesos son divididos en mecánicos, geométricos y otras características relacionadas con la sensación en la boca (humedad y contenido de grasa). Los geométricos son los primeros que se perciben y están relacionados con el arreglo de los constituyentes físicos del queso, tales como superficie, tamaño, forma y orientación de partícula. Las características mecánicas son aquellas obtenidas como respuesta de un queso cuando es sometido a un esfuerzo, generalmente durante la masticación (42). Dentro de estos se encuentran, la firmeza, fracturabilidad, adhesividad y masticabilidad (Tabla 2).

La evaluación sensorial es indispensable en el desarrollo de productos. Es el mejor método para evaluar la textura de nuevos tipos de quesos en las primeras etapas de desarrollo y proporciona una base para diseñar métodos instrumentales, que puedan ser empleados en el control de producción y análisis de calidad de cada queso en particular (42). La producción de quesos bajos en grasa, por ejemplo, no ha logrado cubrir completamente los requerimientos sensoriales de los consumidores. Esto debido a que la grasa es determinante tanto en la textura y

**Tabla 2:** Definición y clasificación de algunos descriptores empleados en el análisis sensorial de textura de quesos (12, 43).

Características	Descriptor	Definición
Mecánicas	Firmeza	Fuerza requerida para deformar el queso.
	Elasticidad	Aptitud de la muestra de queso de recuperar su espesor inicial después de haber sido comprimido y deformado.
	Adherencia	Trabajo que se realiza con la lengua para despegar un producto pegado en el paladar y los dientes.
	Friabilidad	Aptitud que presenta la muestra de generar numerosos trozos desde el principio de la masticación.
	Deformabilidad	Facilidad de la muestra bucal para deformarse de forma sucesiva o estirarse antes de romperse.
Geométricas	Granulosidad	Se relaciona con la dimensión y la forma de las partículas del queso percibidas durante la masticación.
	Cristales	Percepción del número de pequeños cristales angulosos eventualmente presentes en el queso (su aplastamiento produce un crujido audible).
Otras	Solubilidad	Sensación que se pone de manifiesto cuando la muestra funde muy rápidamente en la saliva.
	Humedad	Percepción del grado de humedad de la muestra.

cuerpo de los quesos como en el desarrollo y la liberación de compuestos responsables del *flavor*.

Para solucionar este inconveniente, la industria ha empleado diferentes sustitutos de grasa, que logren simular las propiedades sensoriales de los quesos tradicionales. Los resultados de la evaluación sensorial de estos productos, son variables de acuerdo al tipo de queso, sustituto empleado y parámetro analizado. Algunos presentan una mejor calificación de textura sensorial, en los parámetros de firmeza y gomosidad (22), mientras que otros afectan negativamente el sabor y olor de los quesos (44).

**Análisis de Perfil de textura (TPA)**

El análisis de perfil de textura, es una prueba basada en la imitación del proceso de masticación (45). Es desarrollado como una doble compresión, sobre muestras de queso cilíndricas o cúbicas, mediante platos de mayor diámetro que la muestra.

La compresión inicial puede variar de acuerdo al tipo de queso (Tabla 3), hasta el punto de fractura, la cual es seguida de un aflojamiento del esfuerzo, relajación y una segunda compresión. El resultado obtenido relaciona la fuerza aplicada en función del tiempo, mediante una curva que permite definir una amplia variedad de parámetros de textura (Figura 3), tales como firmeza, fracturabilidad, adherencia, elasticidad, cohesión, gomosidad y masticabilidad, entre otros (39).

El perfil de textura aporta una ayuda indiscutible en la apreciación de la textura de los quesos. Sin embargo, es necesario considerar los resultados más en el marco de las comparaciones y como relativos, ya que no es sustituto completo de la evaluación sensorial. La complejidad del proceso de masticación, las diferencias individuales en la percepción de textura, el efecto del momento del día en la respuesta y otros factores, hacen que la evaluación sensorial sea una técnica compleja y compuesta difícil de reemplazar (9, 23).

**Correlación entre medidas sensoriales e instrumentales de quesos**

En el análisis de textura de quesos, se han desarrollado diversas investigaciones buscando explorar las relaciones entre las medidas instrumentales y las sensoriales. Algunos de los parámetros texturales han mostrado una correlación

**Tabla 3:** Análisis de perfil de textura instrumental (TPA) empleados en la evaluación de diferentes tipos de quesos bajos en grasa.

Tipo de queso	Dimensiones de la muestra	Velocidad	Deformación máxima	Instrumento	Temperatura (°C)	Referencia
Queso mozzarella bajo en grasa	Cubo: 25 mm <sup>3</sup>	60 mm min <sup>-1</sup>	30%	Texturómetro TAHDi	Ambiente	(46)
Queso blanco en salmuera bajo en grasa	Cilindro: 34 mm φ X 15 mm	120 mm min <sup>-1</sup>	33,3%	Texturómetro TAXT2i	22	(44)
Queso blanco turco bajo en grasa	Cilindro: 23 mm φ X 20 mm	1 mm s <sup>-1</sup>	80%	Texturómetro TA-XTplus	25	(47)
Queso blanco en salmuera bajo en grasa	Cilindro: 34 mm φ X 15 mm	120 mm min <sup>-1</sup>	33,3%	Texturómetro TAXT2i	20	(11)
Queso mozzarella bajo en grasa	Cilindro: 14,5 mm φ X 14,5 mm	100 mm min <sup>-1</sup>	75%	UTM SM-25-155	22	(10)
Queso mozzarella bajo en grasa	Cilindro: 20 mm φ X 20 mm	50 mm min <sup>-1</sup>	50%	UTM	22	(4)
Quesos Cheddar, Suizo y Gouda bajos en grasa	Cubo: 20 mm <sup>3</sup>	1 mm s <sup>-1</sup>	50%	UTM TA-XT2	Ambiente	(48)
Queso Kashar bajo en grasa	Cilindro: 25 mm φ X 25 mm	50 mm min <sup>-1</sup>	80%	UTM 1140	19	(22)
Queso mozzarella bajo en grasa	Cilindro: 20 mm φ X 20 mm	50 mm min <sup>-1</sup>	50%	UTM 5564	22	(49)
Queso mozzarella bajo en grasa	Cubo: 25 mm <sup>3</sup>	60 mm min <sup>-1</sup>	30%	Texturómetro TA-HDi	21-24	(50)
Queso Cheddar bajo en grasa	Cilindro: 20 mm φ X 25 mm	50 mm min <sup>-1</sup>	20%	UTM 4201	22,8	(21, 51)
Queso salado en salmuera	Cilindro: 23 mm φ X 15 mm	1 mm s <sup>-1</sup>	75%	Texturómetro TA-XT2i	15	(52)

φ= Diámetro; UTM= Universal Testing Machine.

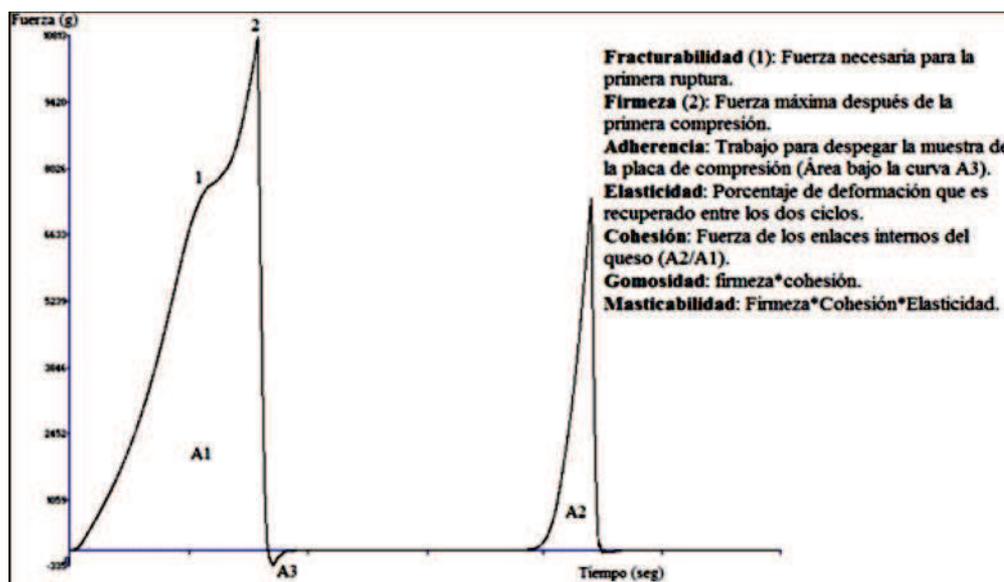


Figura 3: Curva obtenida de un perfil de textura (TPA) de un queso de pasta hilada semigrasa elaborado adicionando un dextrano como sustituto de grasa.

positiva con las percepciones sensoriales. Sin embargo, esta relación varía dependiendo del tipo de queso, descriptor evaluado y las condiciones de la prueba instrumental (7).

La evaluación de seis variedades de quesos comerciales de Australia, por ejemplo, arrojó una alta correlación en los parámetros de firmeza, cohesividad y adhesividad, en todos los quesos excepto el *Romano*, el cual obtuvo un resultado superior mediante la prueba instrumental (53). En quesos duros (Suizo, *Gouda* y *Cheddar*) con diferentes contenidos de grasa, se reportó una correlación positiva en la firmeza determinada instrumentalmente y los descriptores de firme, desmoronadizo, seco y harinoso; pero una correlación negativa con la cohesividad (48).

En queso blanco turquí bajo en grasa, se encontró una correlación negativa entre la firmeza, gomosidad y cohesividad, determinada instrumentalmente con valores mayores a los sensoriales, los cuales caracterizaron el queso como suave, más elástico y menos cohesivo y gomoso (47). En queso *Cheddar* bajo en grasa el uso de  $\beta$ -glucano como sustituto de grasa, mejoró las propiedades mecánicas de los quesos, mostrando una correlación positiva entre los parámetros instrumentales y sensoriales de firmeza, elasticidad y masticabilidad (21). Por el contrario, en queso *Kashar* fresco bajo en grasa, la adición de los sustitutos de grasa Simplese®D-100 y Raftiline®HP, no mejoró la correlación entre las mediciones instrumentales y sensoriales, arrojando un resultado negativo en los atributos de firmeza, elasticidad, masticabilidad, gomosidad, incluso a los 60 días de almacenamiento (22).

## Conclusiones

El análisis de las características reológicas y texturales de quesos bajos en grasa, es indispensable en la industria

láctea, para evaluar el desarrollo de productos con características sensoriales similares a los tradicionales, que sean aceptados por los consumidores. Estas propiedades en los quesos dependen de la estructura de la matriz proteica de caseína y la humedad y grasa ocluidos en esta. De tal manera que cuando se disminuye el contenido de grasa, se afecta la composición y por tanto se modifican algunos parámetros como firmeza, adhesividad, esfuerzo de fractura, deformabilidad, elasticidad, entre otros.

El análisis de las propiedades físicas de los quesos a través de numerosos métodos instrumentales, ya sean dentro de la región de viscoelasticidad lineal o por el sometimiento de muestras a amplias deformaciones, permite la evaluación de calidad y caracterización de los quesos, de manera útil y de bajo costo para la industria. Sin embargo, el análisis sensorial no ha logrado aún ser sustituido por dichas técnicas, debido a la dificultad de imitación de las condiciones de masticación del alimento y continúa siendo una herramienta fundamental en el análisis de la aceptabilidad de los quesos bajos en grasa.

## Referencias

1. Noronha N., Duggan E., Ziegler G.R., O'Riordan E.D., O'Sullivan M. Inclusion of starch in imitation cheese: Its influence on water mobility and cheese functionality. *Food Hydrocolloids*. 2008;22(8):1612-21.
2. Cooke D.R., Khosrowshahi A., McSweeney P. Effect of gum tragacanth on the rheological and functional properties of full-fat and half-fat Cheddar cheese. *Dairy Science & Technology*. 2013;93:45-62.
3. Kavas G., Oysun G., Kinik O., Uysal H. Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. *Food Chemistry*.

- 2004;88:381–8.
4. Zisu B., Shah N.P. 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*. 2005;15(6–9):957–72.
  5. Lobato-Calleros C., Reyes-Hernández J., Beristain C.I., Hornelas-Uribe Y., Sánchez-García J.E., Vernon-Carter E.J. 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*. 2007;40:529–37.
  6. Sadowska J., Białobrzewski I., Jeliński T., Markowski M. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering*. 2009;94(3–4):254–9.
  7. Allen Foegeding E., Brown J., Drake M., Daubert C.R. Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *International Dairy Journal*. 2003;13(8):585–91.
  8. Guinee T.P., Kilcawley K.N. Cheese as an ingredient. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2: Academic Press; 2004. p. 395–428.
  9. O'Callaghan D.J., Guinee T.P. Rheology and Texture of Cheese. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 1: Academic Press; 2004. p. 511–40.
  10. Van Hekken D.L., Tunick M.H., Malin E.L., Holsinger V.H. Rheology and melt characterization of low-fat and full fat Mozzarella cheese made from microfluidized milk. *LWT - Food Science and Technology*. 2007;40(1):89–98.
  11. Romeih E.A., Michaelidou A., Biliaderis C.G., Zerfiridis G.K. Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*. 2002;12(6):525–40.
  12. Delahunty C.M., Drake M.A. Sensory character of cheese and its evaluation. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 1: Academic Press; 2004. p. 455–87.
  13. Antoniou K.D., Petridis D., Raphaelides S., Ben Omar Z., Kesteloot R. Texture Assessment of French Cheeses. *Journal of Food Science*. 2000;65:168–72.
  14. Muliawan E.B., Hatzikiriakos S.G. Rheology of mozzarella cheese. *International Dairy Journal*. 2007;17(9):1063–72.
  15. Tunick M.H. Rheology of Dairy Foods that Gel, Stretch, and Fracture. *Journal of Dairy Science*. 2000:1892–8.
  16. Mounsey J.S., O'Riordan E.D. Influence of pre-gelatinised maize starch on the rheology, microstructure and processing of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*. 2008;84(1):57–64.
  17. Everett D.W., Auty M.. Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal*. 2008;18(7):759–73.
  18. Van Vliet T., Van Dijk H., Zoon P., Walstra P. Relation between syneresis and rheological properties of particle gels. *Colloid & Polymer Science*. 1991;269:620–7.
  19. Tunick M.H., Mackey K.L., Shieh J.J., Smith P.W., Cooke P., Malin E.L. Rheology and Microstructure of Low-Fat Mozzarella Cheese. *Int Dairy Journal*. 1993;3:649–62.
  20. Guinee T.P., Auty M., Fenelon M.A. The effect of fat content on the rheology, microstructure and heat-induced functional characteristics of Cheddar cheese. *International Dairy Journal*. 2000;10(4):277–88.
  21. Konuklar G., Ingletta G.E., Warnerb K., Carriere C.J. Use of a b-glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *Food Hydrocolloids*. 2004;18:535–45.
  22. Koca N., Metin M. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*. 2004;14(4):365–73.
  23. Roudot A-C. Reología y análisis de la textura de los alimentos. España: Editorial Acirbia S.A; 2004. 210 p.
  24. Carrillo E., Suarez-Solis V., Duquesne F. Queso pasta hilada con bajo contenido de grasa. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2009;15:69–74.
  25. Lashkari H., Khosrowshahi asl A., Madadlou A., Alizadeh M. Chemical composition and rheology of low-fat Iranian white cheese incorporated with guar gum and gum arabic as fat replacers. *Journal of Food Science and Technology*. 2012:1–8.
  26. Tunick M.H. Rheology of Dairy Foods that Gel, Stretch, and Fracture. *Journal of Dairy Science*. 2000;83:1892–8.
  27. Osorio Tobón J.F., Ciro Velásquez H.J., Mejía L.G. Caracterización reológica y textural del queso Edam. *Dyna*. 2005;72:33–45.
  28. Gutiérrez A. Efecto de la adición de fibra de avena en un queso tipo panela. México: Instituto Politécnico Nacional; 2011.
  29. Madadlou A., Mousavi M.E., Khosrowshahi asl A., Emam-Djome Z., Zargaran M. Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. *International Dairy Journal*. 2007;17(5):547–54.
  30. Mounsey J.S., O'Riordan E.D. Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches. *Food Hydrocolloids*. 2008;22(6):1160–9.
  31. Noronha N., O'Riordan E.D., O'Sullivan M. Replacement of fat with functional fibre in imitation cheese. *International Dairy Journal*. 2007;17(9):1073–82.
  32. Katsiari M.C., Voutsinas L.P., Kondyli E., Alichanidis E. Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. *Food Chemistry*. 2002;79(2):193–8.
  33. Katsiari M.C., Voutsinas L.P., Kondyli E. Improvement of sensory quality of low-fat Kefalograviera-type cheese with commercial adjunct cultures. *International Dairy*

- Journal. 2002;12(9):757-64.
34. **Cunha C., Viotto W.H., Viotto L.A.** Use of low concentration factor ultrafiltration retentates in reduced fat “Minas Frescal” cheese manufacture: Effect on composition, proteolysis, viscoelastic properties and sensory acceptance. *International Dairy Journal*. 2006;16(3):215-24.
  35. **Ye A., Hewitt S., Taylor S.** Characteristics of rennet–casein-based model processed cheese containing maize starch: Rheological properties, meltabilities and microstructures. *Food Hydrocolloids*. 2009;23(4):1220-7.
  36. **Kommineni A., Amamcharla J., Metzger L.** Effect of xylitol on the functional properties of low-fat process cheese. *Journal of Dairy Science*. 2012;95:6252–9.
  37. **Liu H., Ming Xu X., Dong Guo S.** 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*. 2008;43:1581–92.
  38. **Bourne M.C.** Chapter 1 - Texture, Viscosity, and Food. *Food Texture and Viscosity (Second Edition)*. London: Academic Press; 2002. p. 1-32.
  39. **Chen L., Opara U.L.** Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International*. 2013;51(2):823-35.
  40. **Funami T.** Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*. 2011;25(8):1904-14.
  41. **Funami T., Ishihara S., Nakauma M., Kohyama K., Nishinari K.** Texture design for products using food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 2012;26:412-20.
  42. **Bourne M.C.** Chapter 7 - Sensory Methods of Texture and Viscosity Measurement. *Food Texture and Viscosity (Second Edition)*. London: Academic Press; 2002. p. 257-91.
  43. **Montero H., Aranibar G.F., Cañameras C., Castañeda R.** Metodología para la caracterización sensorial de quesos Argentinos. *Jornadas de Análisis Sensorial. Tendencias actuales y aplicaciones “JASLIS 2005”*; Buenos Aires. Argentina: INTI LÁCTEOS; 2005.
  44. **Volikakis P., Biliaderis C.G., Vamvakas C., Zerfiridis G.K.** Effects of a commercial oat- $\beta$ -glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food Research International*. 2004;37(1):83-94.
  45. **Chen L., Opara U.L.** Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. *Journal of Food Engineering*. 2013;119:497-507.
  46. **Sheehan J.J., Guinee T.P.** Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal*. 2004;14(2):161-72.
  47. **Karaman A.D., Akalin A.S.** Improving quality characteristics of reduced and low fat Turkish white cheeses using homogenized cream. *LWT - Food Science and Technology*. 2013;50(2):503-10.
  48. **Adhikari K., Heymann H., Huff H.E.** Textural characteristics of lowfat, fullfat and smoked cheeses: sensory and instrumental approaches. *Food Quality and Preference*. 2003;14(3):211-8.
  49. **Zisu B., Shah N.** Texture characteristics and pizza bake properties of low-fat Mozzarella cheese as influenced by pre-acidification with citric acid and use of encapsulated and ropy exopolysaccharide producing cultures. *International Dairy Journal*. 2007;17(8):985-97.
  50. **Sheehan J.J., Huppertz T., Hayes M.G., Kelly A.L., Beresford T.P., Guinee T.P.** High pressure treatment of reduced-fat Mozzarella cheese: Effects on functional and rheological properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2005;6(1):73-81.
  51. **Konuklara G., Ingleta G.E., Warnerb K., Carriere C.J.** Use of a b-glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *Food Hydrocolloids*. 2004;18:535-45.
  52. **Skeie S., Alseth G.M., Østlie H., Abrahamsen R.K., Johansen A.G., Øyaas J.** Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy. *International Dairy Journal*. 2013;33:153-62.
  53. **Halmos A.L.** Relationship between instrumental texture measurements and sensory attributes. In: Katsuyoshi N., editor. *Hydrocolloids*. Amsterdam: Elsevier Science; 2000. p. 431-44.

Recibido: 17/12/2013

Aprobado: 13/08/2014