

Análisis de compresión uniaxial para diferentes formulaciones lácteas sólidas

A.R. Rodríguez-Damián¹, J.E. Botello-Álvarez², R. Miranda-López², A. Guzmán-López³ y M.G. Bravo-Sánchez²

1 Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. **2** Departamento de Bioquímica y Ambiental. **3** Departamento de Química, Tecnológico Nacional de México en Celaya. Antonio García Cubas 600, colonia Fovissste, C.P. 38010. Celaya, Gto. México. d1803015@itcelaya.edu.mx

RESUMEN

El queso es un producto lácteo constituido de proteína, grasa, vitaminas y minerales que son indispensables y de importancia nutricional. El queso panela es un queso suave, cremoso, con delicada textura y agradable sabor a leche fresca y sal, es una de las variedades de queso fresco, con bajo contenido de grasa. La humedad en este tipo de queso confiere desmoronamiento e inestabilidad en la estructura de queso, fenómeno que afecta la firmeza. La incorporación de estabilizantes a la matriz láctea sólida puede mejorar la textura y reología del queso. Actualmente la forma de medir la dureza del queso y otros alimentos similares es por medio del texturómetro, considerado un método instrumental que puede imitar fácilmente la masticación y genera la reproducibilidad de la medida de dureza y fracturabilidad. El análisis de textura uniaxial es una técnica que define lo más exactamente posible la respuesta de viscosidad o elasticidad de un alimento. Se analizaron tres formulaciones lácteas comerciales, sólidas, tipo panela para predecir cómo es el comportamiento de textura. En base a la composición química, se encontró que dos marcas de queso contienen grasa vegetal, esto puede influir en la dureza y firmeza del queso panela.

Palabras clave: Textura, compresión uniaxial, viscoelástico, fracturabilidad, dureza, firmeza.

ABSTRACT

Cheese is a dairy product composed of protein, fat, vitamins and minerals that are essential and of nutritional importance. Panela cheese is a soft, creamy cheese, with a delicate texture and a pleasant flavor of fresh milk and salt, it is one of the varieties of fresh cheese, with low fat content. The humidity in this type of cheese confers crumbling and instability in the cheese structure, a phenomenon that affects firmness. The incorporation of stabilizers into the solid milk matrix can improve the texture and rheology of the cheese. Currently the way to measure the hardness of cheese and other similar foods is through the texturometer, considered an instrumental method that can easily mimic chewing and generates reproducibility of the hardness and fracturability measurement. Uniaxial texture analysis is a technique that defines as accurately as possible the viscosity or elasticity response of a food. Three commercial, solid, panela-type dairy formulations were analyzed to predict texture behavior. Based on the chemical composition, it was found that two brands of cheese contain vegetable fat, this can influence the hardness and firmness of the panela cheese.

Key words: Texture, uniaxial compression, viscoelastic, fracturability, hardness, firmness.

INTRODUCCIÓN

El queso comparte casi las mismas propiedades nutricionales con la leche, excepto que contiene más grasas y proteínas concentradas. La composición de los quesos varía de un tipo a otro y esta variación depende, principalmente, del contenido de agua, proteínas y grasa (Cunha *et al.*, 2010; Alais, 1985). El queso panela es una de las variedades de queso fresco, son los más bajos en contenido de grasa (Narcía-Reynosa, 2011). Esta variedad de queso es considerada una de las mejores opciones de consumo a nivel mundial por su contenido nutricional y es uno de los quesos que más se consumen en México. Es un queso blanco, suave, cremoso, con una delicada textura y un agradable sabor a leche fresca y sal. Este tipo de queso presenta un contenido de humedad entre 50 y 60% y un pH inicial arriba de 6, por lo que se considera un producto con una vida de anaquel limitada aún a temperaturas de refrigeración (Ochoa-Flores *et al.*, 2013). El queso fresco debe su alto nivel de humedad al suero que retiene durante la coagulación de las caseínas durante su producción (Lobato-Calleros *et al.*, 2000), es un sistema metaestable que sufre con el tiempo cambios marcados de sus propiedades (Lobato-Calleros *et al.*, 2006). Esta humedad desempeña un papel fundamental en sus atributos sensoriales y de textura, así como vida de anaquel y rendimiento (Escobar *et al.*, 2012). Se han realizado diversos estudios para evitar o disminuir la sinéresis o pérdida de suero del queso, una alternativa es el uso de agentes estabilizantes debido a sus propiedades de ligar agua para permitir una mejor retención de humedad (De Hombre-Morgado, 2017; Udayarajan, 2005; Arango *et al.*, 2013). El queso panela debe contener de un 15-30% de grasa butírica, 17% de proteínas y un 59% de humedad, estos parámetros son referentes de la calidad de producto (Moore *et al.*, 1986; Lluch *et al.*, 1999) en base a la normatividad NMX-F-742-COFOCALEC-2012, que describe al queso panela. La textura es un factor muy importante en la elección y preferencia de los alimentos, además es reconocida como el mayor atributo de su calidad, por encima de la apariencia, el sabor, el olor y la composición nutricional (Osorio-Tobón *et al.*, 2004). Actualmente existe un desconocimiento generalizado del comportamiento reológico y de textura de la mayoría de los productos de índole agropecuario a pesar de que existen técnicas instrumentales (Zúñiga-Hernández *et al.*, 2009). Particularmente en el queso, la textura es uno de los atributos más importantes que ayudan a determinar la identidad de cada tipo de queso, así como la composición química del producto y del arreglo estructural de sus componentes, este último alterado por cambios en el contenido y en el tipo del componente graso (Lobato-Calleros *et al.*, 2009; Gunasekaran & Ak, 2003; Bourne, 2002; Foegeding & Drake, 2007; Carvajal-Cuéllar, 2004).

El queso posee propiedades viscoelásticas, en donde el agua, grasa, burbujas de gas y la caseína (proteína) principal componente estructural, forma una red que puede ser dividida por las fronteras de los gránulos de la cuajada, generando una jaula, donde algunas moléculas de agua se quedan atrapadas lo que le confiere plasticidad al producto (Zúñiga-Hernández *et al.*, 2009). Estas características viscoelásticas y de textura están determinadas por la disposición espacial de sus componentes y las modificaciones durante el proceso de producción (Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2012). Existe una relación directa de la textura con el comportamiento reológico, debido a que la reología estudia la deformación y flujo de las materias primas, productos intermedios y productos terminados (Bourne, 2002).

La evaluación textural está basada en la interpretación de las relaciones de fuerza-deformación, cuya relación puede ser definida experimentalmente a través de una prueba de compresión uniaxial (Zúñiga-Hernández *et al.*, 2009). La compresión uniaxial a velocidad constante es un método que 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 >60% de su altura original (Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2012), a fin de permitir definir lo más exactamente posible la respuesta reológica del alimento (Bourne, 2002). Los parámetros reológicos obtenidos a través de este método se esquematizan en la Figura 1 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).

Ya que la grasa y la proteína son las principales estructuras moleculares responsables de los parámetros de textura y del aporte energético del queso, se analizaron tres formulaciones lácteas solidas tipo panela. El mercado nacional ofrece una amplia variedad de marcas y presentaciones, aunque algunas no cumplen con la normatividad NMX-F-742- COFOCALEC-2012 la cual establece que el queso panela no puede contener grasa, proteínas de origen diferente a las de la leche, ni almidones (Revista del consumidor, 2017). Existe un mercado de consumo para este tipo de productos, algunos quesos contienen grasa vegetal y gomas.

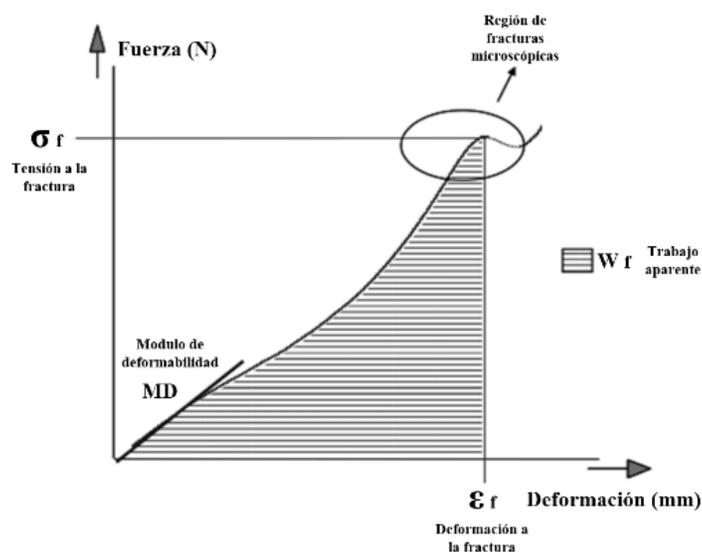


Figura 1. Curva de compresión uniaxial a velocidad constante (Castañeda 2002).

Metodología

Se analizó queso panela elaborado en 3 industrias lácteas (QPA, QPF, QPV) mexicanas, el análisis de las muestras se llevó a cabo por triplicado a temperatura de refrigeración de 5 ± 1 °C. Las muestras de queso se sacaron del empaque y se cortaron con un sacabocado cilíndrico.

Análisis de textura uniaxial

El ensayo de compresión uniaxial se llevó a cabo en un analizador de textura TMS-PILOT (Food Technology Corporation). La geometría de las muestras se obtuvo con ayuda de un sacabocados de 30 mm de diámetro y 25mm de altura, se colocaron las muestras en un recipiente cerrado durante el periodo de análisis a una temperatura de 5 ± 1 °C, durante 20 min. Las muestras se colocan en el útil de compresión con una carga de 50 N, utilizando la sonda TMS-50 (50 mm de diámetro) y se comprimieron un 60% de su altura original una sola vez (Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2012). Se generó la curva de compresión en modo fuerza vs desplazamiento (Bourne, 2002). Los parámetros medidos son: el módulo de deformabilidad (MD) (la pendiente máxima en el inicio de la curva), el esfuerzo máximo para producir la fractura (σ_f), la deformación de fractura (ϵ_f), y el trabajo necesario para fracturar la muestra, determinado por el área bajo la curva (Wf) (Conde *et al.*, 2007; Alvarez-Carpio, 2015).

RESULTADOS

Información nutrimental de las muestras

Las muestras analizadas se eligieron en base a la información nutrimental que presentaban, en la información que se reporta en la etiqueta se muestra un contenido de carbohidratos que oscilaba entre los 2-4 g por cada 100 g. Se contempló que estos carbohidratos pudieran ser almidones. Al revisar el análisis que hace la revista del consumidor se observó que estas marcas de queso no presentaban presencia de almidón, los carbohidratos que se reportan son azúcares producto del rompimiento del azúcar propio de la leche la lactosa. La tabla 1 muestra la composición química de las tres marcas comerciales de queso panela con las que se trabajó.

Tabla 1. Composición química de marcas comerciales de queso panela.

Marca	QPA	QPF	QPV
Humedad (%)	55.1	59.3	51.4
Grasa (%)	22.5	18.8	24.5
Proteína (%)	15.5	16.7	18.7
Almidón	Negativo	Negativo	Negativo
Tipo de grasa	Mezcla vegetal y butírica	Butírica	Mezcla vegetal y butírica
Carbohidratos (%)	3.7	2.2	1.8

Con respecto a la composición de los quesos el contenido de grasa mayor fue para el queso QPV, cabe resaltar que esta marca contiene grasa de tipo vegetal además de que presenta un porcentaje de proteína más alto lo que puede inferir en el análisis de textura. La marca QPF tiene un contenido de humedad más alto y un bajo contenido de proteína. La NMX-F-742- COFOCALEC-2012 reporta que el queso panela debe contener un porcentaje de grasa de hasta el 20%, 17% de proteína y 59% de humedad (Moore *et al.*, 1986) que puede llegar hasta un máximo del 62%. La marca de quesos QPA

y QPV tienen un alto contenido de grasa vegetal y butírica, al adicionar grasa vegetal hace que el queso sea una imitación de queso panela (Ochoa-Flores *et al.*, 2013).

Análisis de textura uniaxial

Las muestras de queso panela analizadas presentaron un rompimiento menor a la carga de 50 N. Las muestras de presentan poca firmeza debido al bajo módulo de deformidad. Esto está directamente relacionado con esfuerzo máximo para producir la fractura (σ_f) como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos reportados del análisis de textura uniaxial.

Muestra	Módulo de deformabilidad (MD)	Esfuerzo máximo para producir la fractura (σ_f)	Deformación de fractura (ϵ_f)	Trabajo necesario para fracturar la muestra (W_f)
QPA	0.973117 ± 0.002	26.01 ± 1.2	34.75 ± 3.6	473.99 ± 24
QPF	0.976497 ± 0.001	27.93 ± 1.7	30.85 ± 7.2	395.70 ± 34
QPV	0.974942 ± 0.01	26.46 ± 1.2	38.51 ± 2.1	450.48 ± 33

Al medir la dureza de un alimento, o sea, la fuerza requerida para deformarlo se está evaluando si es blando, firme o duro y en los quesos lo que se mide es la firmeza, la firmeza está íntimamente relacionada con el contenido de grasa, proteína y humedad. Zúñiga-Hernández *et al.* (2009) reportan que la red proteica de los quesos está formada por las caseínas, cuyas cadenas helicoidales forman celdas que encierran los glóbulos de grasa, haciendo que la relación de grasa proteína en la leche sea crítica, así como el contenido de minerales, un incremento en materia grasa y contenido de agua debilitan la estructura proteica, mientras que una disminución de los mismos provoca un endurecimiento. Las muestras de queso panela presentan poca firmeza debido a su alto contenido de grasa y humedad. La Tabla 2 demuestra que la muestra QPF tiene una mayor firmeza debido a que es la que cuenta con un mayor porcentaje de humedad y se encuentra en el intervalo de contenido de grasa. La Figura 2 muestra el comportamiento de trabajo necesario para fracturar la muestra (W_f) (área bajo la curva) la muestra QPF presenta una mejor firmeza con respecto a las muestras QPA y QPV. Estas muestras presentan una mayor dureza esto puede deberse a que al agregar estabilizantes como puede ser la grasa vegetal y que al combinarse con las proteínas genere glóbulos de grasa más grandes que sean más difíciles de romper (Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2012; Carvajal-Cuellar, 2004).

Con respecto a la deformación de la fractura las muestras que son imitación panela presentan un mayor desplazamiento con respecto a la muestra que tiene grasa butírica, esto puede deberse a que la cantidad de agua que enlaza a la caseína, la presencia de grasa y agua libre. El agua actúa como un aditivo plástico donde el incremento de humedad aumentará la plasticidad del producto. Además, el queso estructuralmente consiste en una matriz proteica continua en la cual los glóbulos de grasa se encuentran dispersos ocupando espacios vacíos en la matriz abierta actuando como aglomerados lo que propicia un desplazamiento en el análisis de textura uniaxial (Zúñiga-Hernández *et al.*, 2009). Con respecto al módulo de deformidad (MD) todas las muestras presentaron el mismo

comportamiento debido a que a fuerzas muy pequeñas no es significativamente perceptible el cambio de la pendiente al inicio de la curva en las tres muestras.

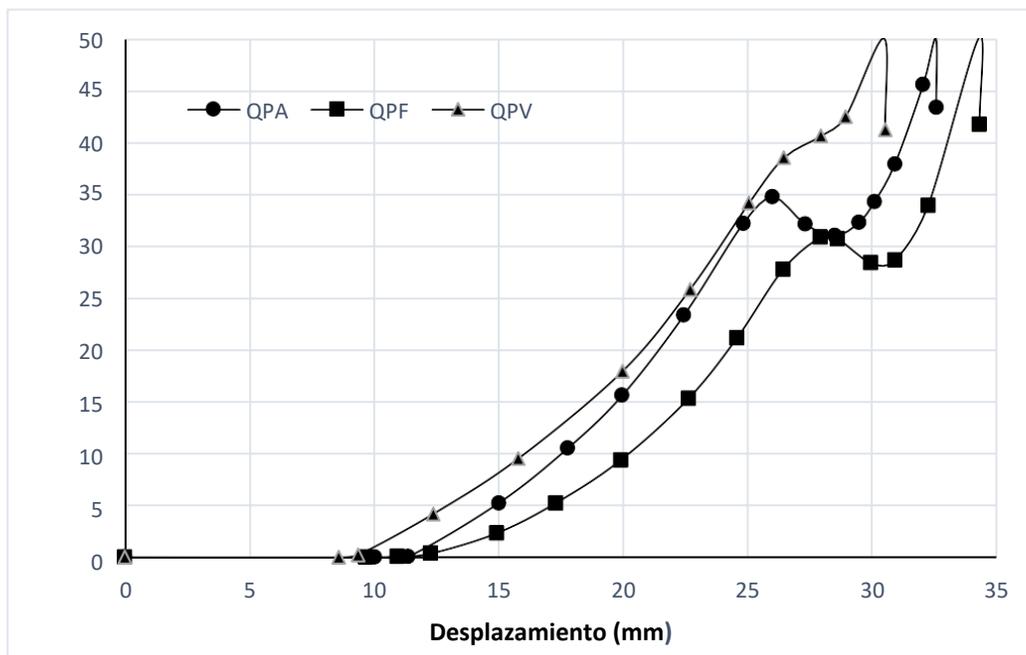


Figura 2. Curva de esfuerzo y deformación promedio de las muestras comerciales de queso panela.

CONCLUSIÓN

La prueba de compresión uniaxial a velocidad constante mostro que los quesos que son imitación, de queso panela, presentan una mayor dureza debido a la sustitución de grasa vegetal esto influye directamente con la firmeza del producto. Los quesos frescos presentan una firmeza de tal manera que puedan fracturarse con facilidad, un queso que presente un comportamiento plástico puede generar rechazo por parte del consumidor. Con base a estos resultados se evidencia la factibilidad del uso combinado de un análisis uniaxial por compresión con una velocidad constante ya que presento una tendencia del comportamiento de la textura y de cómo debe ser la composición de un queso panela.

BIBLIOGRAFÍA

- Alais, C. (1985). *Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera*. Cuarta edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, 873 pp. España.
- Alvarez-Carpio, J. D. (2015). Características de las principales propiedades reológicas de los quesos prensados frescos y amasados expendidos en la ciudad de Cuenca. Tesis de Posgrado. Universidad del Azuay. Departamento de posgrados, Maestría en gestión de la calidad y seguridad alimentaria. Cuenca, Ecuador.
- Arango, O., Trujillo, A.J., Castillo, M. (2013). Influence of fat replacement by inulin on rheological properties, kinetics of rennet milk coagulation, and syneresis of milk gels. *Journal of Dairy Science* 96 (4): 1984-1996.
- Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press. 2da Edición. San Diego California, EE.UU, p. 427.
- Carvajal-Cuéllar, D. M. (2004). Estudio del comportamiento fisicoquímico y reológico de un queso untable. Tesis de Maestría. Universidad de las Américas Puebla. México.
- Castañeda, R. (2002). La reología en la tipificación y la caracterización de quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 20 (26): 48-53.
- Conde, T., Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V. and Benedito, J. (2007). Non-destructive analysis of manchego cheese texture using impact force-deformation and acoustic impulse-response techniques. *Journal of Food Engineering*, 82:238-24.
- Cunha, C. R., Dias, A. I. and Viotto, W. H. (2010). Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International*, 43:723–729.
- De Hombre-Morgado, R., Alvis-Bermudez, A. and García, Mogollon. (2017). Mechanical properties and viscoelasticity of fresh cheese made from buffalo and cow milk. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15 (1): 138-143.
- Escobar, M. C., Van-Tassel, M. L., Martínez-Bustos, F., Singh, M., Castaño-Tostado, E., Amaya-Llano, S. L. and Miller, M. J. (2012). Characterization of a panela cheese with added probiotics and fava bean Storch. *Journal of Dairy Science*, 95 (6): 2779-2787.
- Foegeding, E. A. & Drake, M. A. (2007). Invited Review: Sensory and mechanical properties of cheese texture. *Journal of Dairy Science*. 90:1611-1624.
- Gunasekaran, S. & Ak, M. M. (2003). *Cheese rheology and texture*. Edinburgh Campus Library, CRC. Chapter 3, 123-194.
- Lluch, M. A., Hernando, I., & Perez-Munera, I. (1999). Desarrollo de productos lácteos frescos obtenidos por coagulación enzimática de la leche (I): influencia de la adición de pectina a la cuajada y de su trituración. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 18 (6): 59-64.
- Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., Vernon-Carter, E. J. and Sánchez-García, J. (2000). Viscoelastic properties of white fresh cheese filled with sodium caseinate. *Journal of Texture Studies*, 31 (4): 379-390.
- Lobato-Calleros, C., Lozano-Castañeda, I. and Vernon-Carter, E. J. (2009). Texture and microstructure of low-fat and low-cholesterol panela type cheeses: different methodologies. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1 (1): 39-48.

- Lobato-Calleros, C., Ramos-Solís, L., Santos-Moreno, A., and Rodríguez-Huezo, M. E. (2006). Microstructure and texture of Panela tipe cheese-like products: use of low methoxyl pectin and canola oil as milk-fat substitutes. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (1): 71-79.
- Moore, P. L., Richter, R. L. & Dill, C. W. (1986). Composition, yield, texture, and sensory characteristics of Mexican White Cheese. *Journal of Dairy Science* 69 (3): 855-862.
- Narcía-Reynosa, Y. (2011). Comparación de la composición química en diez marcas de queso panela, Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- NMX-F-742 COFOCALEC-2012. Sistema producto leche. Alimentos–Lácteos–Queso panela. Denominación, especificaciones y métodos de prueba.
- Ochoa-Flores, A. A., Hernández-Becerra, J. A., López-Hernández, E. y García-Galindo, H. S. (2013). Rendimiento, firmeza y aceptación sensorial de queso panela adicionado con estabilizantes. *Universidad y Ciencia*, 29 (3): 277-286.
- Osorio-Tobón, J. F., Ciro-Velásquez, H. J. y Mejía-Restrepo, L. G. (2004). Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57 (1): 2275-2286,
- Ramírez-López, C. & Vélez-Ruiz, J. F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6 (2): 131-148.
- Revista del consumidor. (2017). Entérate que encontramos en quesos Panela. Procuraduría Federal del Consumidor, No. 484. p. 32-49.
- Udayarajan, C.T., Lucey, J.A. and Horne, D.S. (2005). Use of Fourier transform mechanical spectroscopy to study the melting behavior of cheese”. *Journal of Texture Studies*, 36 (5-6): 489-515.
- Zúñiga-Hernández, L. A., Ciro-Velásquez, H. J. y Osorio Saraz, J. A. (2009). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60 (1): 3797-3811.