

PROPIEDADES MECÁNICAS Y VISCOELÁSTICAS DE QUESO FRESCO ELABORADO CON LECHE DE BUFALA Y VACA

MECHANICAL PROPERTIES AND VISCOELASTICITY OF FRESH CHEESE MAKE FROM BUFFALO AND COW MILK

PROPIEDADES MECÂNICAS E VISCOELASTICIDADE DE QUEIJO FRESCO PREPARADO COM BÚFALO E DO LEITE DE VACA

ROGER DE HOMBRE1, ARMANDO ALVIS-BERMEDEZ2*, CARLOS GARCÍA-MOGOLLON3

RESUMEN

El queso fresco es un derivado lácteo con alto contenido de humedad con características texturales como la firmeza, elasticidad y viscoelásticas, que son determinadas por la disposición espacial de sus componentes y las modificaciones durante el proceso. Se evaluaron las propiedades mecánicas de quesos frescos elaborados a partir de leche de búfala y vaca. Para ello se utilizó una prueba de compresión uniaxial entre platos paralelos del queso cortado en forma de cubo con 2 cm. El queso se comprimió a una velocidad de deformación de 20 cm/min hasta el 40% de su altura y se descomprimió a esa misma velocidad, cubriendo un ciclo completo de compresión-descompresión para determinar los módulos de deformabilidad, esfuerzo de compresión y el grado de recuperación elástica. En otro ensayo, cada queso se comprimió y se permitió su relajamiento durante 300 s. Se ajustó el modelo de normalizado de Peleg y Maxwell mediante regresión no lineal. De acuerdo con los resultados obtenidos puede decirse que el queso fresco

Recibido para evaluación: 14 de Julio de 2016. **Aprobado para publicación:** 11 de Octubre de 2016.

- 1 Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, Ph.D. en Ciencias Técnicas, La Habana, Cuba
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales. Ph.D. en Ingeniería. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Sucre, Facultad de Ingenierías, Grupo PADES. M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Montería, Colombia.

Correspondencia: aalvis2@hotmail.com

elaborado a partir de leche de búfala presenta valores del módulo elástico, el módulo de deformabilidad y el grado de recuperación elástica superiores al elaborado a partir de leche de vaca. Los quesos frescos son mucho más elásticos y de menor dureza.

ABSTRACT

The fresh cheese is a dairy derivative with high moisture content properties textural as firmness, elasticity and viscoelastic, which are determined by the spatial arrangement of its components and modifications during the process. We assessed mechanical properties of fresh cheeses made from the milk of Buffalo and cow. This was a test of uniaxial compression between parallel plates of cheese cut into cube with 2 cm. The cheese was compressed at a rate of deformation of 20 cm/min up to 40% of its height and go at that same speed, covering a complete cycle of compression-decompression. To determine the deformability, compressive stress and the degree of elastic recovery modules. In another trial, each cheese is compressed and allowed its relaxation during 300s. The model was adjusted for standardized Peleg and Maxwell using non-linear regression. According to the results we can say that the cheese made from buffalo milk presents values of the elastic modulus, deformability module and the degree of elastic recovery exceeding the made from cow's milk. The cheese is much more elastic and lower hardness.

RESUMO

O queijo fresco é um derivado de laticínios, com elevado teor de humidade propriedades texturais firmeza, elasticidade e viscoelástico, que são determinados pelo arranjo espacial dos seus componentes e modificações durante o processo. Avaliamos as propriedades mecânicas de queijos frescos, feitas a partir do leite de vaca e o búfalo. Isto foi um teste de compressão uniaxial entre placas paralelas de queijo cortado em cubo com 2 cm. O queijo foi comprimido a uma taxa de deformação de 20 cm/min até 40% de sua altura e ir com essa mesma velocidade, cobrindo um ciclo completo de compressão-descompressão. Para determinar a deformabilidade, tensão de compressão e o grau de módulos de recuperação elástica. Em outro julgamento, cada queijo é comprimido e permitiu seu relaxamento durante 300s. O modelo foi ajustado para padronizada Pelegue e Maxwell usando regressão não-linear. De acordo com os resultados, podemos dizer que o queijo feito de leite de búfala apresenta valores do módulo de elasticidade, módulo de deformabilidade e o grau de recuperação elástica excedendo o feito do leite da vaca. O queijo é muito mais elástica e baixa dureza.

INTRODUCCIÓN

El queso fresco es un derivado lácteo con alto contenido de humedad, no madurado y sin conservantes. Estos quesos son producidos con leche pasteurizada y la adición de renina u otra enzima que promueva la

PALABRAS CLAVE:

Lácteo, Textura, Deformabilidad, Test de relajación, Compresión.

KEYWORDS:

Milky, Texture, Deformability, Test of relaxation, Compression.

PALAVRAS-CHAVE:

Produtos lácteos, Textura, Deformabilidade, Teste de relaxamento, Compressão.

coagulación como resultado de la desestabilización de las micelas de caseína. De tal forma, que forma una fase acuosa (lactosuero) que es expulsada de la fase sólida o cuajo [1]. La estructura del queso está determinada por la disposición espacial de sus componentes, en especial la caseína, la cual sufre modificaciones durante el proceso con una textura firme, elástica, esponjosa y muestra propiedades viscoelásticas [2]. La expectativa de los consumidores es obtener un queso fresco de características homogéneas y consistentes independiente de la producción; además de garantizar los parámetros de calidad, composición y autenticidad del tipo de queso [3,4]. Las propiedades mecánicas de importancia en la textura del queso como los módulos de deformabilidad, esfuerzo de compresión, grado de elasticidad y esfuerzo de fractura del queso pueden ser evaluadas mediante el ensayo de compresión uniaxial, métodos reológicos y fisicoquímicos con el objetivo de caracterizarlos [5,6]. Los datos acerca de las propiedades mecánicas de los quesos permiten obtener información acerca de su estructura y debido a que representan datos reológicos fundamentales [7, 8, 9, 10] y también se han aplicado los modelos al estudio del efecto de mejoradores de textura en queso [11, 12, 13, 14, 15] pueden servir como fuente comparativa entre productos similares. El modelo de Maxwell ha sido uno de los más utilizados para describir el comportamiento viscoelástico de diferentes tipos de queso. Los datos acerca de las propiedades mecánicas y viscoelásticas de los quesos permiten obtener información acerca de su estructura y debido a que representan datos reológicos fundamentales que pueden servir como fuente comparativa entre productos similares. El objetivo del presente trabajo es determinar las principales propiedades mecánicas como los módulos de elasticidad, deformabilidad y viscoelasticidad de quesos frescos elaborados con leche de búfala y vaca.

MÉTODO

Para elaborar los quesos se procedió al filtrado de la leche, aplicación del tratamiento térmico de 65 a 68°C con enfriamiento hasta 32°C, adición de cloruro de calcio (20 g/L), cuajo y permanencia en reposo. La cuajada estuvo lista cuando al cortarla con un cuchillo se observaron sus bordes lisos y brillantes, el suero drenado fue de color amarillento y casi transparente. La cuajada obtenida se agitó y dejó en reposo durante cinco minutos. Se sometió al desuero final

separando el suero de la cuajada. Se sal, moldea en cubos 454 g, empaqueta y almacena en refrigeración. Se obtuvieron muestras de 5 producciones de queso fresco elaborado con leche de búfala y 5 producciones con leche de vaca, tomando 2 kg del producto en cada caso. Se realizaron tres tipos de pruebas de compresión uniaxial en una máquina Instron modelo 1140 para calcular el esfuerzo de compresión (σ_0) (Ec. 1), módulo de deformabilidad (ED) y el grado de elasticidad (E%). Se utilizó un aditamento de compresión de 5,8 cm de diámetro para comprimir el producto. La muestra de ensayo se cortó en forma de cubo de 2 cm de aristas y se comprimió a una velocidad de 20 cm/min hasta el 40% de su altura total a la temperatura de 10°C con un área de compresión de $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. El grado de elasticidad se midió de acuerdo a la deformación recuperable una vez que se revierte el sentido de la compresión.

$$\sigma_0 = \frac{F(t)}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde $F(t)$ es fuerza aplicada en el tiempo y el A área en el tiempo. Los datos de F vs. t obtenidos fueron además normalizados (Ec. 2) según la expresión:

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde F_0 son las fuerzas de compresión al inicio, de esta forma se pueden obtener las curvas normalizadas del modelo de Peleg (Ec. 3) del tipo:

$$\frac{t}{Y} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (\text{Ec. 3})$$

Para obtener los parámetros a (nivel de caída del esfuerzo) y b (Velocidad inicial de relajación) que son características del material.

Para el estudio de relajación y calcular las constantes del modelo de Maxwell (Ec. 4), los cubos de queso se comprimieron hasta el 40% de su altura y se permitió su relajación hasta los 300 s.

$$\sigma t = \epsilon_0 [E_e + E_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_1}\right) + E_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_2}\right)] \quad (\text{Ec. 4})$$

Para determinar el módulo elástico en el equilibrio (E_e), los módulos elásticos parciales (E_1 y E_2), los tiempos de relajación λ_1 y λ_2 se procesaron estadísticamente mediante el Programa Statistica (StatSoft, 2007) para ajuste de modelo no lineal.

RESULTADOS

Módulo de deformabilidad (E_D)

Para la compresión uniaxial del queso fabricado con leche de búfala, el valor promedio de la fuerza máxima de compresión fue de $F_0 = 16,0 \pm 3$ N y su módulo de deformabilidad de 100,0 kPa. Para el queso elaborado con leche de vaca se obtuvo $F_0 = 12,0 \pm 2$ N y $E_D = 75$ kPa. Estos resultados son muy superiores a los obtenidos en queso fresco acidificado por un cultivo estértil [16] y en queso Murcia al vino [8]. En cuanto a las diferencias que se presentan entre ambos quesos frescos puede decirse que el elaborado con leche de búfala tiene mayor esfuerzo de compresión por lo que resulta más duro, lo cual puede deberse a las características propias de la leche empleada que presenta mayor contenido en proteínas. La relación entre el contenido de proteínas y la textura del queso ha sido ampliamente discutida y a pesar de que no se puede generalizar [4], los quesos con bajo contenido de humedad y alto en proteínas muestran alta resistencia a la ruptura; además, de las variaciones en la tecnología aplicada por los manufactureros [8]. En general altos valores de esfuerzo indican una mayor dureza, una matriz resistente y menos quebrantable. Los resultados de los quesos elaborados con leche de búfala y vaca indican un menor deformabilidad que los obtenidos en quesos tipo Minas Frescal [4, 16, 17].

Modelo de Peleg

El modelo normalizado de Peleg mostró un ajuste significativo ($p < 0,001$) a la regresión lineal para determinar sus parámetros a y b (Cuadro 1). De acuerdo con los valores de a se establece que ambos quesos son de naturaleza viscoelástica, dada su proximidad a uno; mientras que el parámetro b cuando es próximo a cero el esfuerzo no se relaja totalmente y estamos en presencia del sólido elástico ideal [2]. El valor de b relativamente bajo indica que el componente elástico es de mayor influencia y este parece ser el caso que

se presenta en este estudio comparado con los reportados en queso Minas Frescal [4] con valores de b del orden de 0,4 a 0,3 s^{-1} (a de 0,5 a 0,9) con humedad media mayor a 55 g/100 g y valores de b del orden de 0,5 a 0,3 s^{-1} (a de 0,05 a 0,1) [16] y humedad media mayor a 60 g/100 g, indicando una tendencia a ser más viscosos que elásticos.

El grado de elasticidad o recuperación elástica se llevó a cabo obteniendo un 72,5±9,5% en queso de búfala y 68,0±8,2% en queso de leche de vaca. Valores que son superiores a los obtenidos en queso edam [2] en su primer día de maduración, lo cual indica que el queso fresco es mucho más húmedo y la cuajada, que no ha sufrido cambios apreciables de estructura, es más esponjosa y tiene propiedades elásticas más acentuadas que los quesos madurados. Los valores elevados del grado de recuperación elástica que se obtuvieron indican que la textura de estos tipos de quesos es muy elástica. Las diferencias entre ambos tipos de quesos frescos para los parámetros a y b no son apreciables y todo lo cual indica que no son muy diferentes desde el punto de vista estructural; sin embargo, los quesos a partir de leche de búfala con su mayor contenido de proteína produce estructuras menos porosas o más densas comparadas con el queso de leche de vaca [18].

Modelo de Maxwell

El modelo de Maxwell se ajustó satisfactoriamente ($p < 0,001$) para los quesos frescos de búfala ($R^2=0,99$) y vaca ($R^2=0,99$) indicando que es adecuado para evaluar su comportamiento reológico (Cuadro 2). Los módulos elásticos E_e son ligeramente inferiores a lo presentado en quesos Port Salut (8,0 kPa), Tybo (10,0 kPa) [19] y en Minas Frescal (8,89 kPa) [17,20] que a su vez son de pasta blanda y semiduro respectivamente. Este parámetro es mucho menor si se compara con el queso Reggiano (85,0 kPa) [19] que se cataloga como queso duro, compacto y frágil con baja humedad (35%).

Cuadro 1. Parámetros modelo de Peleg.

Parámetro	Búfala	Vaca
Humedad (%)	52±1%	48±1%
a	0,85	0,86
b (s-1)	0,15	0,17
R2	0,99	0,99

Cuadro 2. Parámetros modelo de Maxwell.

Queso	Ee (kPa)	E1 (kPa)	E2 (kPa)	λ_1 (s)	λ_2 (s)
Búfala	6,1	95,4	122,4	29,7	1,19
Vaca	5,2	82,0	105,0	35,0	2,42

CONCLUSIONES

Los quesos frescos elaborados a partir de leche de búfala y vaca presentaron similares propiedades mecánicas asociadas a su viscoelasticidad. Los modelos de Peleg y Maxwell pueden ser utilizados para explicar este comportamiento. Los quesos son mucho más elásticos y de menor dureza.

REFERENCIAS

- [1] CHROMIK, C., PARTSCHEFELD, C., JAROS, D., HENLE, T. and ROHM, H. Adjustment of vat milk treatment to optimize whey protein transfer into semi-hard cheese: a case study. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 2010, p. 496-503.
- [2] BUNKA, F., PACHLOVÁ, V., LPERNICKÁ, L., IVA BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S. and LOŠÁK, T. The dependence of Peleg's coefficients on selected conditions of a relaxation test in model samples of edam cheese. *Journal of Texture Studies*, 44, 2013, p. 187–195.
- [3] HICKEY, C.D., AUTY, M.A.E., WILKINSON, M.G. and SHEEHAN, J.J. The influence of cheese manufacture parameters on cheese microstructure, microbial localization and their interactions during ripening: a review. *Trends Food Science Technology*, 41(2), 2015, p. 135-148.
- [4] MAGENIS, R.B., PRUDÊNCIO, E.S., FRITZEN-FREIRE, C.B., STEPHAN, M.P., SILVIO DO EGITO, A. and DAGUER, H. Rheological, physicochemical and authenticity assessment of Minas Frescal cheese. *Food Control*, 45, 2014, p. 22–28.
- [5] HOLLAND, B., YAZDI, S.R., TITAPICCOLO, G.I. and CORREDIG, M. Separation and quantification of caseins and casein macropeptide using ion-exchange chromatography. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 2010, p. 893-900.
- [6] TUNICK, M. and VAN HEKKEN, D. Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk. *Journal of Food Quality*, 33, 2010, p. 204-215.
- [7] CHEN, L. and OPARA, U.L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: a review. *Food Research International*, 51, 2013, p. 823-835.
- [8] PASCUA, Y., KOC, H. and FOEGEDING, E. A. Food structure: roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18, 2013, p. 324-333.
- [9] FRANCO, I., BARGIELA, V., CARBALLO, J. and TOVAR, C. Relationship between viscoelastic and physicochemical parameters in cebreiro cheese (PDO). *Journal of Food Research*, 2(3), 2013, p. 1-10.
- [10] KOC, H., VINYARD, C.J., ESSICK, G.K. and FOEGEDING, E.A. Food oral processing: conversion of food structure to textural perception. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 2013, p. 237-266.
- [11] ALBENZIO, M., SANTILLO, A., CAROPRESE, M., BRAGHIERI, A., SEVI, A. and NAPOLITANO, F. Composition and sensory profiling of probiotic *Scamorza* ewe milk cheese. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 2013, p. 2792–2800.
- [12] STIEGER, M. and VAN DE VELDE, F. Microstructure, texture and oral processing: new ways to reduce sugar and salt in foods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18, 2013, p. 334-348.
- [13] COOKE, D., KHOSROWSHAHI, A. and MCSWEE-NEY, P. Effect of gum tragacanth on the rheological and functional properties of full-fat and half-fat Cheddar cheese. *Dairy Science and Technology*, 93, 2013, p. 45–62.
- [14] SKEIE, S., ALSETH, G.M., ØSTLIE, H., ABRAHAMSEN, R.K., JOHANSEN, A.G. and ØYAAS, J. Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy. *International Dairy Journal*, 33(2), 2013, p. 153-162.
- [15] CASTRO, A.C., NOVOA, C.F., ALGECIRA, N. y BUITRAGO, G. Reología y textura de quesos bajos en grasa. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 22, 2014, p. 58-66.
- [16] FRITZEN-FREIRE, C.B., MÜLLER, C.M.O., LAURINDO, J.B., and PRUDÊNCIO, E.S. The influence of *Bifidobacterium* Bb-12 and lactic acid incorporation on the properties of minas frescal cheese. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 2010, p. 621-627.
- [17] VERRUCK, S., SCHWINDEN, E., OLIVERA, C., FRITZEN-FREIRE, C. and CASTANHO-AMBONI, R. Influence of *Bifidobacterium* Bb-12 on the physicochemical and rheological properties of buffalo Minas Frescal cheese during cold storage. *Journal of Food Engineering*, 151, 2015, p. 34-42.
- [18] ONG, L., DAGASTINE, R.R., KENTISH, S.E. and GRAS, S.L. Microstructure of milk gel and cheese curd observed using cryo scanning electron microscopy and confocal microscopy. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 2011, p. 1291–1302.

- [19] BERTOLA, N., BEVILACQUA, A., CALIFANO, A. and ZARITZKY, N. Propiedades mecánicas y viscoelásticas de quesos argentinos. La Habana (Cuba): Memorias I Coloquio Internacional de Propiedades Físicas de Alimentos, Proyecto 11.5 del Programa CYTED, p. 4-10.
- [20] SAINT-EVE, A., PANOUILLE, M., CAPITAINE, CH., DÉLÉRIS, I. and SOUCHON, I. Dynamic aspects of texture perception during cheese consumption and relationship with bolus properties. *Food Hydrocolloids*, 46, 2015, p. 144-152.