

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y TEXTURAL DEL QUESO EDAM

RHEOLOGICAL AND TEXTURAL CHARACTERIZATION OF THE EDAM CHEESE

JUAN FELIPE OSORIO TOBÓN

Ingeniero Agrícola, triaural@hotmail.com

HÉCTOR JOSÉ CIRO VELÁSQUEZ

Ingeniero Agrícola MSc., Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, hjiro@unalmed.edu.co

LUIS GUILLERMO MEJÍA

Zootecnista., Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, lgmejia@unalmed.edu.co

Recibido para revisar 23 de Agosto de 2004, aceptado 26 de Enero de 2005, versión final 10 de Febrero de 2005

RESUMEN: El comportamiento reológico y textural del queso Edam fue obtenido mediante pruebas de relajación, creep y análisis de perfil de textura (TPA). Los resultados mostraron que el queso es un material de naturaleza viscoelástica, donde los modelos generalizados de Kelvin y Maxwell resultaron ideales para predecir el comportamiento reológico del producto. Los parámetros texturales tales como la dureza, cohesividad, adhesividad y masticabilidad son dependientes del tiempo de maduración pero no la resortabilidad del producto.

PALABRAS CLAVE: Reología, Textura, Viscoelasticidad, Relajación, Fluencia, Análisis de Perfil de Textura, Queso Edam.

ABSTRACT: Using the relaxation, creep and texture profile analysis test the rheological and textural behavior of Edam Cheese was obtained. The results showed that the cheese is a viscoelastic material, where the Kelvin and Maxwell models turned out ideal to predict the mechanical behavior of the product. Also the textural parameters such as hardness, cohesiveness, adhesiveness and chewiness were obtained indicating to depend upon the maturation period but not its springiness.

KEY-WORDS: Rheology, Texture, Viscoelasticity, Relaxation, Creep, Texture Profile Analysis, Edam Cheese.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento reológico de los alimentos es un factor importante en el control de calidad en determinadas fases de elaboración, empaque y almacenamiento de los productos, así como el de proporcionar parámetros fundamentales en el diseño de máquinas para su procesamiento y el diseño de empaques. Una gran cantidad de procesos en la industria alimenticia dependen de las propiedades reológicas del producto, porque estas tienen un gran efecto en la calidad final del producto.

Las características reológicas influyen de manera importante en la aceptación del producto, ya que las propiedades de la textura de los alimentos están ligadas a la deformación, desintegración y la fluidez de los alimentos sometidos a esfuerzos.

El incremento social y la importancia económica de la producción de alimentos, junto con la complejidad de la tecnología para su producción, procesamiento y aceptación, requieren un mayor conocimiento de sus propiedades reológicas y texturales con el fin de ofrecer alimentos con alta calidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La siguiente información es el resultado de la revisión bibliográfica

2.1 REOLOGÍA

La reología para Prentice (1992) y Rao (1999) es la rama de la física encargada de estudiar el flujo y la deformación de la materia, y su campo comprende las propiedades mecánicas de sólidos, semisólidos y líquidos, bajo varios objetivos, que comprenden según Mouquet (1995): Conocimiento de las materias primas, productos semiterminados y principalmente, el estudio de las relaciones entre composición, estructura química y propiedades reológicas; Análisis de mecanismos fisicoquímicos conducentes a modificaciones de las propiedades reológicas y evaluación instrumental de la textura de los alimentos: dureza, friabilidad, consistencia, adhesión, etc.

2.2 VISCOELASTICIDAD

Los alimentos presentan un comportamiento viscoelástico, es decir que bajo condiciones de carga durante un tiempo de aplicación, el alimento se puede comportar como un sólido, un líquido y/o más frecuentemente como una combinación de los dos (Oliveros, 1995). Rha (1979) y Wang y Chang (1970) comentan que si a un alimento se le deforma bajo una fuerza, su recuperación será siempre menor que la inicial, y su grado de recuperación dependerá del intervalo de tiempo bajo el cual el material estuvo deformado, la tasa a la cual se aplica el esfuerzo, el historial de cargas que tenga el alimento, el contenido de humedad y su composición.

2.3 MODELOS VISCOELÁSTICOS

El comportamiento mecánico de los productos biológicos se puede modelar mediante analogías mecánicas compuestas por resortes y amortiguadores (Steffe, 1996), donde el resorte es considerado como un sólido ideal elástico que obedece a la ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal (Pa)

E = Modulo de Elasticidad (Pa)

ε = Deformación unitaria (mm/mm)

El amortiguador es representado por un sistema cilindro – pistón en el cual se manifiesta la parte viscosa del alimento y con ello la dependencia del factor tiempo. El fluido es modelado como un líquido ideal o Newtoniano:

$$\sigma = \eta\dot{\gamma} \quad (2)$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal (Pa).

η = Coeficiente de viscosidad (Pa.s)

$\dot{\gamma}$ = Razón de deformación (s^{-1})

Dependiendo de cómo sean conectados el resorte ideal y el amortiguador ideal, existirán

varias configuraciones o arreglos combinados llamados modelos viscoelásticos ideales:

2.3.1 Modelo de Kelvin

El resorte y el amortiguador están conectados en paralelo, donde el esfuerzo que se le imponga al elemento va a ser la suma de los esfuerzos impuestos, mientras que la deformación va a ser la misma en cada componente. Pero en la realidad este modelo no describe en forma satisfactoria el comportamiento de muchos alimentos, es por ello que se tiene que recurrir a usar una generalización de este modelo, la cual esta representada por un conjunto de modelos de Kelvin conectados en serie, lo cual se puede observar en la Figura 1:

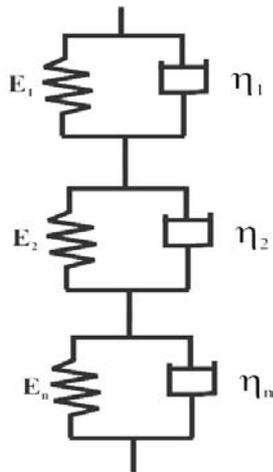


Figura 1. Modelo de Kelvin generalizado.

Figure 1. Generalized Kelvin model

2.3.2 Modelo de Maxwell

El resorte y el amortiguador están conectados en serie, en el cual el esfuerzo impuesto es soportado por cada elemento y la deformación es la suma de las deformaciones producidas en cada elemento individual. Al igual que el modelo de Kelvin, no describen completamente el comportamiento de los alimentos es por ello que se utiliza un modelo de Maxwell generalizado, el cual esta compuesto por una serie de modelos de Maxwell conectados en paralelo, como se observa en la Figura 2:

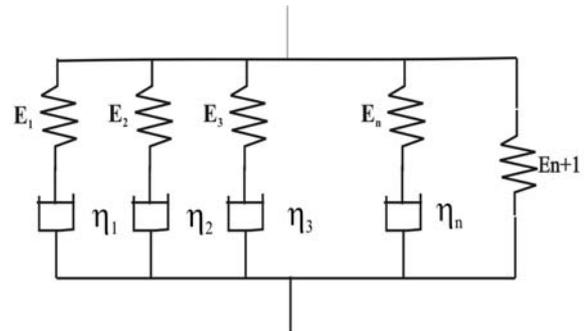


Figura 2. Modelo de Maxwell generalizado.

Figure 2. Generalized Maxwell model

2.4 PRUEBAS VISCOELÁSTICAS

El comportamiento visco-elástico se puede describir mediante las pruebas de fluencia “Creep” y relajación.

2.4.1 Prueba de relajación

A la muestra se le aplica una deformación inicial, la cual se mantiene constante y se monitorea el esfuerzo necesario para mantener constante esta deformación. Un cuerpo de Maxwell bajo condiciones de deformación constante, el esfuerzo en el resorte (σ_s) es igual el esfuerzo en el amortiguador (σ_d), a diferencia de la deformación la cual es diferente para el resorte (ϵ_s) y para el amortiguador (ϵ_d). El esfuerzo en el cuerpo de Maxwell es

igual:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-t}{(\eta/E)}} \tag{3}$$

Donde:

- $\sigma(t)$ = Esfuerzo aplicado en un tiempo dado (Pa)
- σ_0 = Esfuerzo en $t = 0$ (Pa)
- t = tiempo (s)
- η = Coeficiente de viscosidad (Pa.s)
- E = Módulo de elasticidad (Pa)

Si en la expresión (3) reemplazamos el término η/E por el término τ , llamado tiempo de relajación y se divide por la deformación constante (ϵ) se obtiene el módulo de elasticidad en función del tiempo, donde E_0 es el módulo de elasticidad inicial producto de dividir el esfuerzo inicial por la

deformación unitaria aplicada durante la prueba.

$$E(t) = E_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

El tiempo de relajación es definido como el tiempo requerido para que el esfuerzo impuesto al modelo disminuya de un valor inicial de σ_0 a un valor de σ_0/e donde e es el número neperiano.

Para el modelo de Maxwell generalizado, la expresión anterior sería la sumatoria de todos los esfuerzos de los elementos, incluyendo el resorte residual:

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{-\frac{t}{\left(\frac{\eta_1}{E_1}\right)}} + \sigma_2 e^{-\frac{t}{\left(\frac{\eta_2}{E_2}\right)}} + \dots + \sigma_n e^{-\frac{t}{\left(\frac{\eta_n}{E_n}\right)}} + \sigma_{n+1} \quad (5)$$

O en forma alterna:

$$E(t) = E_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + E_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} + \dots + E_n e^{-\frac{t}{\tau_n}} + E_{n+1} \quad (6)$$

La expresión (6) indica el efecto del espectro de los tiempos de relajación.

2.4.2 prueba de fluencia o “creep”

Se aplica un esfuerzo instantáneo, el cual se mantiene constante y se monitorea la deformación como función del tiempo. La deformación en el cuerpo de Maxwell será la suma de la deformación del resorte (ϵ_s) y para el amortiguador (ϵ_d), y el esfuerzo será mantenido constante. El desarrollo analítico para obtener las deformaciones en un cuerpo de Kelvin en cualquier instante de tiempo, esta dado por:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\left(\frac{\eta}{E}\right)}} \right) \quad (7)$$

Donde:

$\epsilon(t)$ = Deformación del modelo en cualquier instante de tiempo (mm/mm)

σ_0 = Esfuerzo constante aplicado inicialmente (Pa)

E = Módulo de elasticidad del resorte (Pa)

η = Coeficiente de viscosidad (Pa. s)

Si se reemplaza el término η/E por el término τ_{ret} , llamado tiempo de retardación, se obtiene:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{ret}}} \right) \quad (8)$$

El tiempo de retardación es el tiempo necesario para que el modelo alcance el 63% de la deformación máxima. La expresión para el cuerpo de Maxwell generalizado es:

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) + \frac{1}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + \dots + \frac{1}{E_n} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right) + \frac{t}{\eta} \right] \quad (9)$$

Donde $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_n$ son los diferentes tiempos de retardación, τ_{ret} , correspondientes a los diferentes elementos del modelo.

2.5 TEXTURA

Puede ser definida como los atributos que tiene un alimento resultado de la combinación de las propiedades físicas y las percibidas por nuestros órganos sensoriales (Chand, 1986) y es muy importante en la selección y preferencia de los alimentos, y además es reconocida como el mayor atributo de su calidad (Bourne, 1973).

2.6 ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA

Es un excelente procedimiento instrumental para medir, cuantificar y desarrollar nuevos parámetros relacionadas con la textura, aunque la magnitud de estos parámetros será

influenciada por las variables introducidas en las mediciones como la tasa de deformación (Peleg, 1976) y para que ellas puedan proveer información objetiva y que se pueda comparar es necesario ejecutar las mediciones bajo unas condiciones estandarizadas. La evaluación de dicho parámetro es empleada en el desarrollo de nuevos alimentos, en el mejoramiento de los existentes, en el control de los procesos de elaboración y en el control de la calidad, ya que muchas de las propiedades texturales de los alimentos como la firmeza, dureza, ternura, etc., y están directamente relacionadas con las propiedades mecánicas de los alimentos, es por ello que es importante su estudio y conocimiento para el control de calidad (Lu y Chen, 1998). Para determinar las propiedades texturales de los alimentos se usa una prueba empírica denominada Análisis de Perfil de Textura (TPA), que 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, lo cual resulta casi siempre en la ruptura del alimento. Demonte (1995), cita los siguientes principales parámetros texturales obtenidos con el análisis de perfil de textura: Fractura, dureza, cohesión, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

2.7 QUESO EDAM

El queso Edam es originario de la localidad de Edam en Holanda, Cenzano (1992) anota que es un queso hecho a base de leche de vaca, de pasta prensada (tierna, dura o semidura, según su estado de madurez). Es de color amarillo pálido o amarillo mantecoso con un sabor ligeramente ácido, con un contenido de grasa del 30 al 45% sobre el total de materia seca. Scott (1991) y Madrid (1994) también coinciden en que el queso Edam se fabrica con un contenido de grasa del 30, 40 y 50% sobre la materia seca, además añade que se elaboran de forma de esferas aplastadas o bloques y que su textura es elástica, más blanda que la del queso gouda y con pocos ojos, los cuales son redondos y ovales. Su maduración requiere un tiempo de 3 a 4 semanas a 12-14°C.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos utilizados fueron los siguientes:

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, en la cual la caracterización reológica y textural se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal a una temperatura promedio de 23 °C y una humedad relativa de 70%.

3.2 MÉTODOS

Los métodos fueron:

3.2.1 Pruebas de relajación y fluencia “creep”

Se realizaron con el texturómetro TA-XT-2i, usando el software Texture Expert Exceed, versión 1.00 con probetas cilíndricas de queso Edam de 2 cm. de diámetro y 3 cm. de altura, las cuales fueron sometidas a pruebas de relajación y “creep” en compresión uniaxial mediante el plato de compresión de 100 mm de diámetro. El comportamiento reológico del producto fue determinado mediante DataFit, versión 8.0 ajustando las expresiones no lineales (6) y (9), obteniendo una expresión para cada estado de madurez. Los estados de madurez del producto fueron establecidos para tiempos de muestreo de 30, 45 y 60 días.

3.2.2 Análisis de perfil de textura (TPA)

Se realizó con el texturómetro TA-XT-2i, usando el software Texture Expert Exceed, versión 1.00 con probetas cilíndricas de queso Edam de 2 cm. de diámetro y 3 cm. de altura, las cuales fueron sometidas a un porcentaje de compresión del 70% con respecto a la altura inicial de la probeta (3 cm).

3.2.3 Análisis estadístico

Mediante modelos mixtos, se examinó y comparó las tendencias en el tiempo de las propiedades texturales; seleccionando para cada estado de madurez 30 sujetos, formulados de la misma manera y con las mismas condiciones de almacenamiento de

humedad y temperatura. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente por medio de SAS, versión 8.0, utilizando una tabla de solución para efectos fijos para cada propiedad. Se hallaron las medias y los intervalos de confianza al 95% para propiedad.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los siguientes fueron los resultados obtenidos:

4.1 PRUEBA DE RELAJACIÓN

Inicialmente se utilizó un modelo de Maxwell generalizado con 5 elementos, 4 de ellos viscoelásticos y un resorte residual. Por medio del software DataFit, versión 8.0, se encontró que solo 3 elementos eran diferentes de cero en la regresión ($P < 0,05$). A partir de esto se ajustó un modelo de Maxwell con 3 elementos, dos viscoelásticos y el resorte residual, presentado en la expresión (10).

$$E(t) = E_1 \cdot e^{-t/\tau_1} + E_2 \cdot e^{-t/\tau_2} + E_3 \quad (10)$$

Donde:

$E(t)$ = Módulo de Elasticidad en el tiempo (Pa)

t = Tiempo (s)

τ = Tiempos de relajación (s)

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran las curvas de relajación obtenidas mediante los ajustes, en donde el módulo de elasticidad disminuye su valor a medida que el tiempo avanza, característica de un material viscoelástico. También se observa que la resistencia mecánica del producto alcanza un valor de equilibrio, el cual representa el comportamiento de un material ideal bajo régimen linealmente elástico sin dependencia del tiempo.

La Tabla 1 muestra los parámetros hallados mediante el ajuste de la Expresión (8) por medio de DataFit, versión 8.0, para cada estado de madurez con su respectivo coeficiente de determinación múltiple (R^2). Los parámetros correspondientes a los módulos de elasticidad se van incrementando en su mayoría a medida que el queso madura, lo que indica que el queso va aumentando su rigidez a lo largo de su maduración. Los tiempos de relajación (τ_1 y τ_2), son los tiempos necesarios para que el material disipe esfuerzos, en este caso fueron disminuyendo a medida que el queso fue madurando.

Tabla 1. Parámetros de ajuste para la prueba de relajación.

Table 1. Fitting parameters to the relaxation test.

Estado de Madurez	Valor E_1 (MPa)	Valor E_2 (MPa)	Valor E_3 (MPa)	Valor τ_1 (s)	Valor τ_2 (s)	R^2
30 días	0,064	0,047	0,074	90,758	12,625	0,9996
45 días	0,065	0,045	0,074	67,538	9,124	0,9997
60 días	0,069	0,043	0,079	56,624	6,404	0,9998

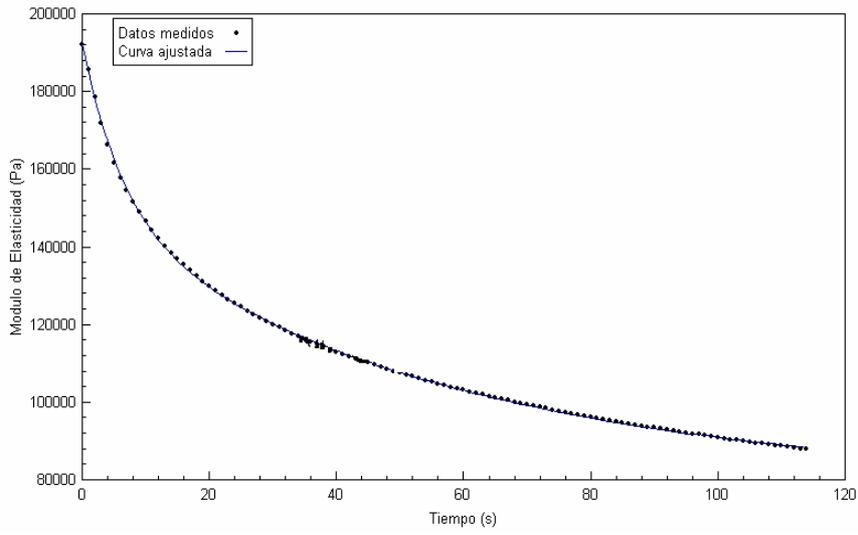


Figura 3. Ajuste de relajación a 30 días.
Figure 3. Fitted curve to the relaxation test to 30 days.

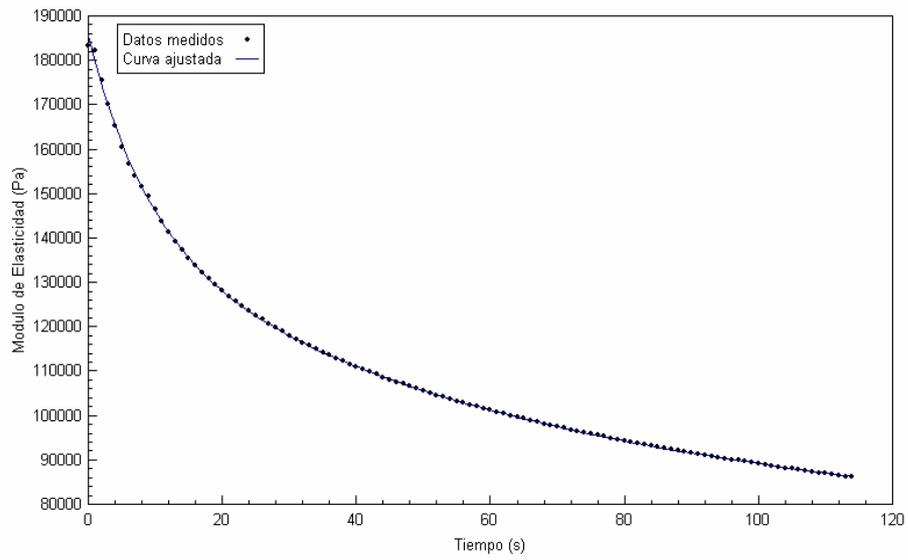


Figura 4. Ajuste de relajación a 45 días.
Figure 4. Fitted curve to the relaxation test to 45 days.

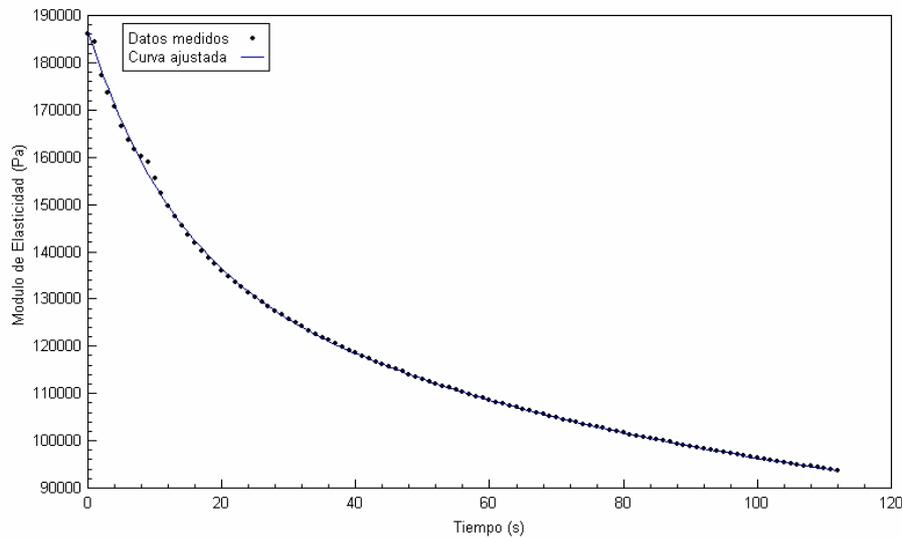


Figura 5. Ajuste de relajación a 60 días.

Figure 5. Fitted curve to the relaxation test to 60 days.

4.2 PRUEBA DE FLUENCIA O “CREEP”

Inicialmente se utilizó un modelo de Kelvin generalizado con 5 elementos, 3 de ellos viscoelásticos, un resorte inicial y elemento viscoso final. Por medio de DataFit, versión 8.0, se encontró que solo 3 elementos eran diferentes de cero en la regresión ($P < 0,05$). A partir de esto se ajustó un modelo de Kelvin con 3 elementos, uno viscoelástico, el resorte inicial y el amortiguador final, presentado en la expresión (11):

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_1} \left(1 - e^{-t/\tau_{ret1}} \right) + \frac{t}{\eta} \right] \quad (11)$$

Donde:

$\varepsilon(t)$ = Deformación unitaria en el tiempo (mm/mm)

σ_0 = Esfuerzo (Pa)

E_0 = Módulo de Elasticidad (Pa)

t = Tiempo (s)

τ_{ret} = Tiempo de retardación (s)

η = Coeficiente de viscosidad (Pa·s)

Las Figuras 6, 7 y 8 muestran las curvas para la prueba de “Creep” obtenidas mediante los ajuste. La deformación unitaria del producto aumenta a lo largo del tiempo, cuando al queso se le aplica un esfuerzo que es mantenido constante y la Tabla 2 muestra los parámetros hallados mediante el ajuste de la expresión (9) por medio de DataFit, versión 8.0, para cada estado de madurez con su respectivo coeficiente de determinación múltiple (R^2).

El esfuerzo constante aplicado al inicio de la prueba (σ_0) fue de 0,124 MPa, el cual es muy aproximado a los valores obtenidos del ajuste (Columna 2 de la Tabla 2). Además se puede apreciar como los tiempos de retardación van aumentando, aunque al final disminuya levemente; esto demuestra la pérdida de elasticidad que va adquiriendo el queso a medida que se va madurando, ya que el tiempo de retardación indica la capacidad del queso para recuperarse de la deformación.

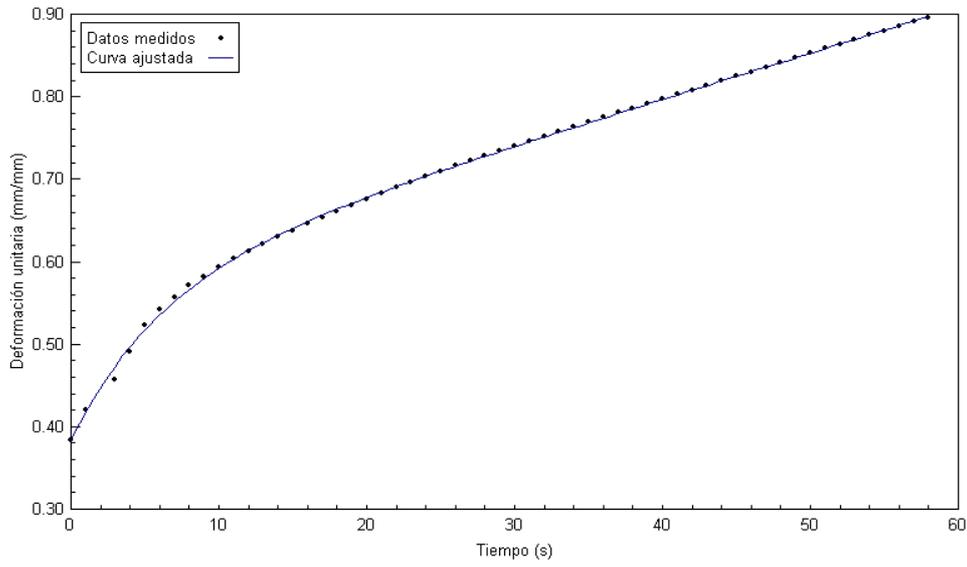


Figura 6. Ajuste para la prueba de fluencia "creep" a 30 días.

Figure 6. Fitted curve to the creep test to 30 days.

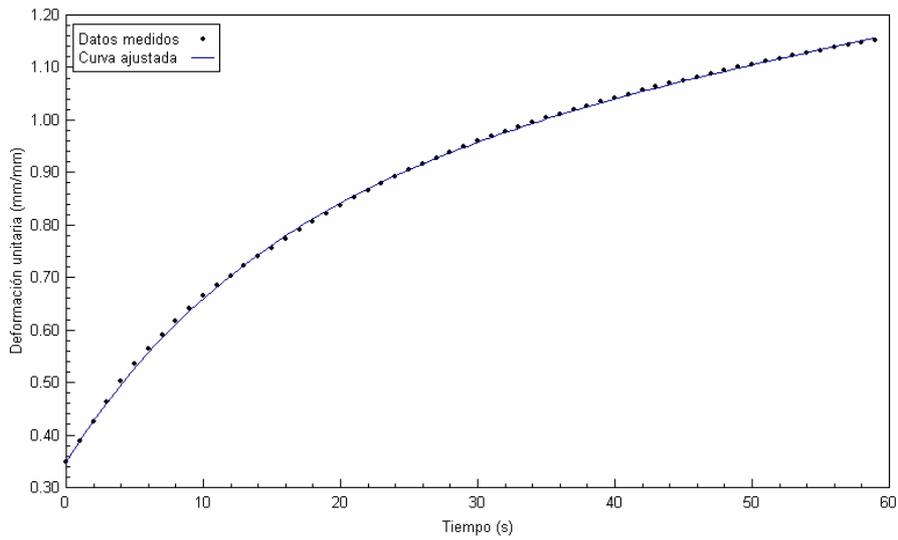


Figura 7. Ajuste para la prueba de fluencia "creep" a 45 días.

Figure 7. Fitted curve to the creep test to 45 days.

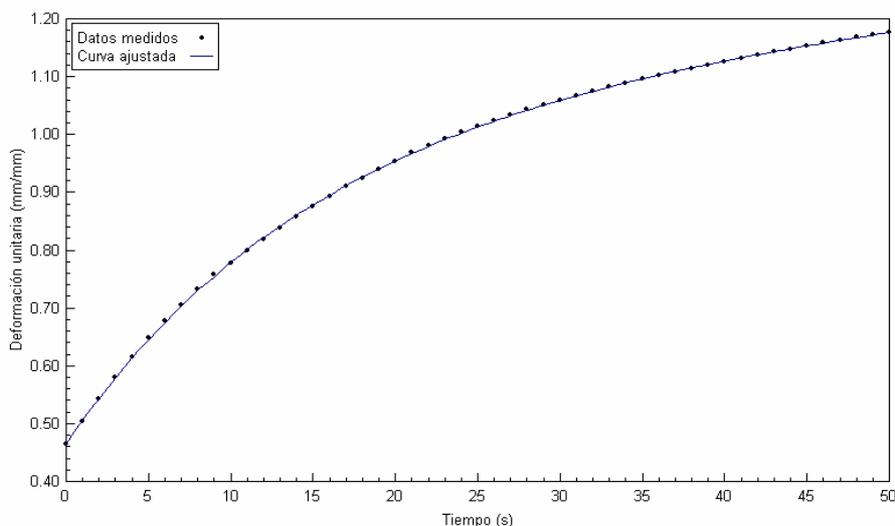


Figura 8. Ajuste para la prueba de fluencia "creep" a 60 días.

Figure 8. Fitted curve to the creep test to 60 days.

Tabla 2. Parámetros de ajuste para la prueba de fluencia o "creep".

Table 2. Fitting parameters to the creep test.

Estado de Madurez	Valor σ_0 (MPa)	Valor E_0 (MPa)	Valor E_1 (MPa)	Valor τ_{ret1} (s)	Valor η (MPa. s)	R^2
30 días	0,128	0,333	0,675	6,157	22,895	0,9994
45 días	0,137	0,296	0,234	15,466	47,817	0,9999
60 días	0,115	0,330	0,214	14,899	24,548	0,9997

4.3 ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)

En la Tabla 3, se muestra el promedio de los parámetros evaluados y sus intervalos de confianza al 95%.

Un análisis de la Tabla 3 muestra lo siguiente:

4.3.1 Dureza

El queso Edam incrementa su dureza a medida que aumenta su tiempo de maduración, lo que concuerda con lo reportado por Bourne (2002). Los resultados estadísticos para efectos fijos muestran que a medida que se incrementa el tiempo de maduración se aumenta la dureza del producto, donde para un tiempo de 45 y 60

días, la dureza es respectivamente 2% y 30% superior con respecto a un tiempo de maduración de 30 días. Este comportamiento hace que el producto requiera una fuerza mayor en el proceso de masticado específicamente en los dientes molares en función del avance del proceso de maduración.

4.3.2 Adhesividad

Es la medida del trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales, por ejemplo: la fuerza requerida para retirar el material que se adhiere al paladar durante su consumo. Los análisis estadísticos de solución de efectos fijos en el tiempo, muestra que la adhesividad

se incrementa a medida que aumenta el tiempo de maduración, lo que implica mayor gasto energético (mayor trabajo) durante el consumo del producto.

4.3.3 Elasticidad

Es la altura que recupera la muestra entre el fin de la primera compresión y el inicio de la segunda. De acuerdo a lo hallado mediante las pruebas de "creep" y relajación, el queso va perdiendo elasticidad como se observa en la Tabla 3 y que concuerda con lo reportado por Bourne (2002). El tiempo no tuvo un efecto significativo sobre la variación de este parámetro textural.

4.3.4 Cohesividad

La cohesividad representa el punto límite hasta el cual puede deformarse el material antes de romperse. Se puede apreciar que la cohesión va aumentando a medida que el tiempo de madurez avanza, siendo esta iteración significativa al 5%. El queso a medida que madura se vuelve un material más cohesivo, es decir sus partículas están

más unidas, por lo cual la desintegración o desmoronamiento del producto disminuye.

4.3.5 Masticabilidad

Producto multiplicativo de la elasticidad por la cohesión y la dureza. Representa la energía requerida para masticar un alimento hasta que este listo para ser deglutido. El análisis estadístico muestra que entre más maduro este el queso, más energía se requiere para masticarlo, esto debido a que la dureza y la cohesión aumentan en la misma proporción.

Ya que materiales biológicos en los cuales se incluye el queso como material de ingeniería, su comportamiento reológico es definido por muchos factores entre los cuales sus características físico-químicas son fundamentales. En una posterior publicación se analizará la dependencia de las propiedades reológicas y texturales del queso encontradas en esta investigación con el contenido de grasa y proteína del producto, además de la variable física contenido de agua.

Tabla 3. Parámetros Texturales según Análisis de Perfil de Textura (TPA).

Table 3. Textural parameters according to texture profile analysis (TPA).

PARÁMETRO TEXTURAL	TIEMPO (días)	VALOR PROMEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA PARA LAS MEDIAS AL 95%	
Dureza (N)	30	63,64	56,47	70,80
	45	69,34	64,84	73,83
	60	83,73	74,46	93,00
Adhesividad (Joules)*10 ⁻⁶	30	-270,77	-371,03	-170,52
	45	-289,98	-389,26	-190,71
	60	-318,60	-442,37	-194,73
Elasticidad (mm)	30	0,6219	0,5548	0,6890
	45	0,6153	0,5842	0,6465
	60	0,5969	0,5589	0,6349
Cohesividad (Adimensional)	30	0,2370	0,2188	0,2552
	45	0,2873	0,2755	0,2991
	60	0,2975	0,2834	0,3116
Masticabilidad (Joules)*10 ⁻³	30	9,71	8,10	11,33
	45	11,52	9,73	13,30
	60	15,03	11,27	18,80

5. CONCLUSIONES

- El queso Edam es un producto de naturaleza viscoelástica, cuyo comportamiento reológico y textura es altamente dependiente del tiempo.
- A pruebas de relajación y fluencia "Creep", los modelos reológicos generalizados de Kelvin y Maxwell son ideales para predecir la respuesta mecánica del queso Edam
- Los parámetros texturales del queso Edam son altamente dependientes del nivel de maduración del queso, siendo la fracturabilidad, adhesividad, cohesividad y masticabilidad dependientes en forma significativa del factor tiempo.
- Ya que la respuesta a nivel macro es consecuencia de la microestructura del producto, es indispensable adelantar estudios e investigación a este nivel con el fin de correlacionar la respuesta a nivel Macro, con las propiedades reológicas, texturales y fisicoquímicas.
- Debido a que los resultados de esta investigación solo son válidos asumiendo comportamiento viscoelástico y para deformaciones pequeñas, es indispensable adelantar investigaciones en el tema que intenten predecir el comportamiento reológico del producto bajo análisis de teoría no lineal o viscoplástica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus más sinceros agradecimientos a la Planta de Leches de la Universidad Nacional de Colombia y adscrita al Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, por el apoyo permanente brindado para llevar a cabo esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] BOURNE C. Malcolm, Texture measurement of individual cooked dry beans by the puncture test, *Journal of Food Science*, 37(5), 751-753, 1973.
- [2] BOURNE C. Malcolm, Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Academic Press, New York, 427, 2002.
- [3] CENZANO I, Los quesos: Otros quesos europeos, AMV Ediciones y Mundi-Prensa Libros S.A., Madrid, 158-160, 1992.
- [4] CHAND, Nagin, Textural classification of foods based on Warner-Bratzler Shear, *Journal of Food Science and Technology*, 23(1), 49-54, 1986.
- [5] DEMONTE, Philippe, Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales, memorias de seminario textura y reología de alimentos, Cali, Abril 20 de 1995.
- [6] LU RENFE and CHEN Yud Ren, Characterization of nonlinear elastic properties of beef products under large deformation, *Transactions of the ASAE*, 41(1), 163-168, 1998.
- [7] MADRID, Vicente, Nuevo manual de tecnología quesera, Capítulo XI, fichas prácticas para la elaboración de quesos, AMV Ediciones y Mundi-Prensa Libros S.A., España, 362-363, 1994.
- [8] MOUQUET, Claire, Medidas Instrumentales de evaluación de la textura, Memorias de Seminario textura y reología de alimentos. Cali, Abril 18-21 de 1995.
- [9] OLIVEROS T., Carlos E, Propiedades mecánicas de materiales biológicos, Memorias de seminario textura y reología de alimentos, Cali, Abril 18 de 1995.
- [10] PELEG, M, Texture profile analysis parameters obtained by an INSTRON universal testing machine, *Journal of Food Science*, 41(3), 721-722, 1976.
- [11] PRENTICE, J.H, Dairy rheology: A concise guide. VCH Publishers, Inc., United States of America, 165, 1992.
- [12] RAO, V.N.M, Rheology of fluid and semisolid Foods: Principles and Applications. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, 184, 1999.

- [13] RHA, C.K, Viscoelastic properties of food as related to micro and molecular structures, *Food Technology*, 33(10), 71-75, 1979.
- [14] SCOTT, R, Fabricación de queso, Editorial Acribia, España, 449, 1991.
- [15] STEFFE F. James, Rheological methods in food process engineering. Freeman Press, United States of America, 294-304, 1996.
- [16] WANG J. and CHANG H, Mechanical properties of papaya and their dependence on maturity, *Transactions of the ASAE*, 13(3), 369-372, 1970.