

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial

TRABAJO DE TITULACIÓN

**EFFECTO DE LA FORMA Y DIMENSIÓN DE MUESTRAS DE
QUESO FRESCO Y VELOCIDAD DE PRUEBA SOBRE EL
ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL**

AUTOR:

Doris Elizabeth Nogales Villalba

TUTOR:

Dra. PhD. Davinia Sánchez Macías

Riobamba - Ecuador

Año 2018

REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: “Efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental”, presentado por Doris Elizabeth Nogales Villalba y dirigida por la Dra. Davinia Sánchez Macías.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Byron Herrera

Presidente del tribunal



Firma

Dra. Davinia Sánchez

Directora del proyecto de Investigación



Firma

Ing. Sonia Rodas

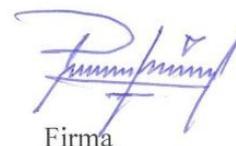
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Paúl Ricaurte

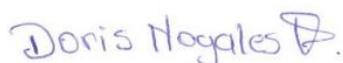
Miembro del Tribunal



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a Doris Elizabeth Nogales Villalba y a la Directora del Proyecto Dra. Davinia Sánchez Macías, incluyendo todas las tablas y figuras que se encuentran en este trabajo, excepto las que contienen su propia fuente, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Doris Elizabeth Nogales Villalba.

C.I. 060410106-3

Autor del proyecto.



Dra. Davinia Sánchez Macías.

C.I. 175421193-4

Directora del Proyecto de Investigación

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios y a mi familia. A Dios por siempre cuidarme, iluminarme y darme la oportunidad de conocer personas maravillosas.

A mi familia que son la clara muestra de lo buena que ha sido la vida conmigo, por estar apoyándome en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, son mi apoyo y fortaleza en todo momento.

Doris Elizabeth Nogales Villalba

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a mi familia que es lo más valiosos que Dios me ha dado en la vida y que con sus consejos, paciencia, apoyo incondicional me han ayudado a culminar esta etapa estudiantil, por estar en cada momento y hacer de mí una mejor persona gracias a ellos estoy segura de que con coraje y perseverancia puedo cumplir todos mis objetivos.

De manera especial a la Dra. Davinia Sánchez Macías por dirigir este trabajo de investigación y en este transmitir sus conocimientos, por ser un gran ejemplo para muchos estudiantes, por todo el apoyo para cumplir este objetivo en mi vida y sobre todo por ser una amiga incondicional.

A los docentes y estudiantes miembros del grupo de investigación de Producción Animal e Industrialización PROANIN de la Universidad Nacional de Chimborazo que han sido un gran apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

Doris Elizabeth Nogales Villalba.

ÍNDICE

REVISIÓN DEL TRIBUNAL	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo General.....	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO AL TEMA DE INVESTIGACIÓN	5
3.1. Los quesos y sus propiedades.....	5
3.2. Textura sensorial de los quesos	5
3.3. Análisis de perfil de textura (TPA)	6
3.4. Texturómetros.....	8
3.5. Pruebas de compresión en un texturómetro	8
3.6. Compresión uniaxial a velocidad constante	10
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. Tipo De Estudio.....	12
4.2. Población y muestra	12
4.3. Procedimientos	13
4.3.1. Preparación de las muestras	13
4.3.2. Análisis de perfil de textura	13
4.3.3. Análisis estadístico	15
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
5.1. Muestras de queso cilíndricas	15
5.2. Muestras de queso cúbicas	18
6. DISCUSIÓN	19
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
7.1. CONCLUSIONES	23
7.2. RECOMENDACIONES	23

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
9. ANEXOS	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Protocolos de TPA (Análisis de Perfil de Textura) utilizados en distintas variedades de queso.	2
Tabla 2 Clasificación de muestras de queso tipo fresco	12
Tabla 3 Definiciones de los parámetros de textura obtenidos con el equipo TexturePro CT Brookfield.....	14
Tabla 4 Valores medios de los parámetros del análisis de perfil de textura instrumental de muestras cilíndricas de 2 y 3 cm de diámetro de queso fresco.....	17
Tabla 5 Valores medios de los parámetros del análisis de perfil de textura instrumental de muestras cúbicas de 2 y 3 cm ³ de queso fresco	19

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Gráfica general del perfil de textura	9
Ilustración 2 Compresión uniaxial a velocidad constante. Adaptado de Castañeda (2002)	10
Ilustración 3 Muestras cilíndricas de 2 y	13
Ilustración 4 Muestras cúbicas de 1.5 y 2 cm ³	13
Ilustración 5 TexturePro CT V1.6 Build 26 marca Brookfield USA.....	14
Ilustración 6 Pieza TA4/1000 con muestra cilíndrica de 2 cm de diámetro x 3cm de altura.	14
Ilustración 7 Toma de muestras cilíndricas de queso fresco.....	29
Ilustración 8 Muestras de queso fresco de forma cilíndrica de 2 y 3 cm de diámetro x 3 cm de altura	29
Ilustración 9 Muestras de queso fresco de forma cúbica de 1.5 cm ³ y 2 cm ³	30
Ilustración 10 Puesta a punto del equipo texturómetro previo a realizar el experimento	30
Ilustración 11 Muestra de queso fresco en forma cilíndrica de 3 cm luego de aplicar la prueba de TPA a 0.3 mm/s y 75% de compresión.....	31
Ilustración 12 Muestra de queso fresco en forma cilíndrica de 3 cm luego de aplicar la prueba de TPA a 1 mm/s y 75% de compresión.....	31

RESUMEN

El análisis del perfil de textura (TPA) es un excelente procedimiento instrumental que simula la masticación; ayuda a medir y a cuantificar parámetros tales como dureza, gomosidad, masticabilidad, elasticidad, cohesividad entre otros, los mismos que están asociados con la calidad del alimento. Existe una gran cantidad de información bibliográfica acerca de la determinación de TPA en quesos de todo tipo, sin embargo no existe un protocolo específico respecto a los parámetros de análisis en el equipo o forma y dimensión de las muestras de queso.

En esta investigación se analizó el efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental. Se utilizaron 240 muestras de queso tipo fresco, de las cuales la mitad fueron cilindros de 2 y 3cm de diámetro y 3 cm de altura, la otra mitad fueron cubos de 1.5 cm³ y 2cm³. Todas estas fueron deformadas en un 75% de compresión a tres velocidades 0,3 mm/s (lento); 0,7 mm/s (medio) y 1mm/s (rápido). Se hicieron 20 mediciones de TPA en cada tratamiento. El análisis de datos se realizó con el programa estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2008) mediante un procedimiento de ANOVA de Medidas Repetidas el cual analiza el efecto de la forma y dimensiones de las muestras de queso fresco y de la velocidad de la prueba del equipo sobre los diferentes parámetros de perfil de textura instrumental.

Como resultados más relevantes se determinó que para el análisis del TPA se debe excluir los protocolos que utilicen muestras de queso cilíndricas de 2 cm de diámetro y muestras cubicas de 1,5 y 2 cm³, ya que los parámetros analizados se ven afectados significativamente con la aplicación de diferentes velocidades de la prueba, en conclusión las muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro son las candidatas a ser utilizadas en las pruebas de TPA en texturómetro, pero sólo serían elegibles las velocidades de 0,3 y 0,7 mm/s.

ABSTRACT

Texture profile analysis (TPA) is an excellent instrumental procedure that simulates the jaw mastication; helps to measure and quantify parameters such as hardness, gumminess, chewiness, springiness, cohesiveness among others, the same ones that are associated with the quality of the food. There is a large amount of bibliographic information about the determination of TPA in cheese of all types, however there is no specific protocol regarding the analysis parameters in the equipment or shape and size of cheese samples.

In this research, the effect of the shape and size of fresh cheese samples and test speed on the instrumental texture profile analysis was analyzed. 240 samples of fresh type cheese were used, of which half were cylinders of 2 and 3cm in diameter and 3cm in height, the other half were cubes of 1.5cm³ and 2cm³. All these were deformed in 75% compression at three speeds 0.3 mm / s (slow); 0.7 mm / s (medium) and 1 mm / s (fast). Twenty measurements of TPA were made in each treatment. The data analysis was performed with the SAS statistical software version 9.2 (SAS Institute, 2008) through a Repeated Measures ANOVA procedure which analyzes the effect of the shape and dimensions of the fresh cheese samples and the speed of the test of the team on the different parameters of instrumental texture profile.

As the most relevant results, it was determined that for the analysis of TPA, protocols using cylindrical cheese samples of 2 cm in diameter and cubic samples of 1.5 and 2 cm³ should be excluded, since the parameters analyzed are significantly affected by the application of different speeds of the test. In conclusion, the cylindrical samples of 3 cm in diameter are the candidates to be used in TPA tests in texturometer, but only speeds of 0.3 and 0.7 mm /s would be eligible.



Translation reviewed by: Fuertes Narcisa



Language Center Teacher.

1. INTRODUCCIÓN

El queso es un alimento de amplio consumo a nivel mundial, cuyas características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales difieren entre cada tipo. Se estiman más de 2000 variedades de queso entre madurados, semi-madurados y frescos (Gunasekaran, 2003). Sin embargo en Ecuador predomina el consumo de quesos tipo fresco, mismos que forma parte de una extensa variedad de platillos.

El análisis del perfil de textura (TPA) es una prueba popular de doble compresión para determinar las características texturales de alimentos. Se utiliza ocasionalmente en otras industrias, tales como productos farmacéuticos, geles y cuidado personal. Durante una prueba de TPA, a menudo denominada prueba de dos mordidas, las muestras se comprimen dos veces usando un analizador de textura para proporcionar información sobre cómo se comportan las muestras cuando se mastican.

Existe una gran cantidad de información bibliográfica acerca de la determinación de TPA en quesos de todo tipo, tal como se observa en la tabla 1, sin embargo no existe un protocolo específico respecto a los parámetros de análisis en el equipo o forma y dimensión de las muestras de queso, también existen diferentes velocidades de análisis, porcentajes de compresión, así como muestras cúbicas o cilíndricas, y de diversos tamaños.

En pruebas preliminares realizadas en el grupo de investigación PROANIN (Producción animal e industrialización de la Universidad Nacional de Chimborazo) para determinar el protocolo ideal para analizar el perfil de textura de quesos, se evidenció en primera instancia que el protocolo, así como la forma y tamaño de la muestra, podrían interferir en los resultados obtenidos con el equipo texturómetro.

Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación es realizar un estudio del efecto de la forma (cilíndrica o cúbica) y dimensión (2ϕ , $3 \phi / 2\text{cm}^3$; $1,5 \text{cm}^3$) de muestras de queso fresco y velocidad de prueba ($0,3 \text{mm/s}$; $0,7 \text{mm/s}$ y 1mm/s) sobre el análisis de perfil de textura instrumental, a un porcentaje de compresión del 75%

Tabla 1 Protocolos de TPA (Análisis de Perfil de Textura) utilizados en distintas variedades de queso.

Tipo de queso.	Tipo de instrumento utilizado	Forma y dimensión de las muestras	Velocidad de prueba	Porcentaje de compresión	Referencia
Queso fresco (sin iniciadores lácticos)	TA-TX2 Texture Analyzer	Cilindros de 25 mm de diámetro por 20 mm de altura.	0,8 mm/s	80%	Zamora, (2009)
Queso fresco elaborado con leche de cabra cruda, pasteurizada y tratada a altas presiones	TA-TX2 Texture Analyzer	Cubos de 10 mm.	1,3 mm/s	80%	Buffa y col. (2001)
Queso suave de leche de cabra	Máquina universal de ensayos (modelo SM-25-155, Material Testing Products Systems Corp., Eden Prairie, MN).	Bloques cilíndricos de aprox. 14,5 mm de diámetro y altura.	1,6 mm/s	75%	Van Hekken y col. (2005)
Queso fresco de México	Máquina universal de ensayos Sintech 1/G (MSS Systems, Eden Prairie, MN).	Cilindros de 15mm de diámetro y 15 mm de altura.	1,6 mm/s	75%	Tunick y Van Hekken, (2010)
Queso de oveja	Analizador de Textura Universal Stable Micro System TAXT2i	Cilindros de 20 mm de diámetro y de 17 mm de altura.	0,8 mm/s	20%	Santini y col. (2007)
Queso elaborado con suero concentrado por ultrafiltración.	Maquina universal de ensayos.	Cilindros de 20 mm de diámetro y de 20 mm de altura.	0,16 mm/s.	20%	Guerrero y col. (2005)
Queso elaborado con suero concentrado por ultrafiltración	Maquina universal de ensayos	Cilindros de 20 mm de diámetro y de 20 mm de altura.	1,66mm/s.	75%	Guerrero y col. (2005)
Queso fresco Minas	TA-XT2i (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Inglaterra)	Cilindros de 2,5 cm de diámetro y 3 cm de altura.	2 mm/s	20%	Diamantino y col. (2014)
Quesos bajos en grasa, grasa completa y ahumados	Máquina de prueba universal (Stable Micro Systems, Modelo TA-XT2, Scarsdale, NY, EE.UU.)	Cubos 20 mm ³ .	1 mm/s	50%	Adhikari y col. (2003)
Queso azul español (queso Valdeón)	Texturómetro de Software experto (Stable Micro Systems) (Godalming, Reino Unido).	Cilindros 15 mm de diámetro y 19 mm de altura.	0,5 mm/s	80%	Diezhandino I. (2016)

Queso duro con bajo contenido de sal	Texturometro de Sistemas Micro estable TA-XT2i (Textura Technologies Corp., White Plains, NY, EE.UU.)	Cilindros 3 cm de diámetro y 2 cm de altura.	1mm/s	55%	Floury J y col. (2009)
Queso reducido en grasa (hecho con leche descremada)	Texturometer de Sistemas Micro estable modelo TA-XT2i (Texture Technologies Corp., White Plains, NY, EE.UU.)	Cilindros de 1 cm de diámetro y 1 cm de altura.	2 mm/s	50%	Lobato-Calleros y col. (2008)
Queso de cabra de estilo artesanal	Analizador de Textura TA-XT2i (Stable Micro Systems Ltd. Godalming, Reino Unido).	Muestras cilíndricas de 2 cm de diámetro y 5 cm de altura.	0.33 mm/s	75%	Sánchez Macías y col. (2010)

Fuente: Nogales. D, Sánchez. D (2018)

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

- Evaluar el efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de la prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental.

2.2.Objetivos Específicos

- Revisar la literatura científica para analizar los diferentes protocolos, así como formas y tamaño de muestras de queso utilizadas en trabajos de investigación.
- Analizar el perfil de textura instrumental de las muestras de queso mediante un texturómetro variando las formas, tamaños de muestras y velocidades de prueba.
- Evaluar estadísticamente el efecto de las dimensiones y forma de la muestra y la velocidad de protocolo sobre los parámetros individuales del análisis de perfil de textura instrumental.

3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Los quesos y sus propiedades

De acuerdo al Codex Alimentarius de la FAO/OMS (2006), el queso es el producto sólido o semisólido, madurado o fresco, en el que el valor de la relación proteínas del suero/caseína no supera al de la leche, y que es obtenido por coagulación (total o parcial) de la leche por medio de la acción del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados, con un escurrido parcial del lactosuero.

Según la norma INEN 1528 (2012) de Ecuador, se define como queso fresco “al queso no madurado, ni escaldado, moldeado, de textura relativamente firme, levemente granular, preparado con leche entera, semidescremada, coagulada con enzimas y/o ácidos orgánicos, generalmente sin cultivos lácticos. También se designa como queso blanco”.

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

El queso es un producto no homogéneo, con diferencias importantes en su estructura interna, el cual puede verse afectado por una gran cantidad de factores, como su composición, maduración, procedimiento de elaboración, o incluso temperatura de almacenaje.

3.2. Textura sensorial de los quesos

La textura es un factor muy importante en el proceso de aceptación de un alimento y por tanto un parámetro de calidad. Es por eso que se hace necesaria su comprensión desde todo tipo de métodos, de los cuales los más utilizados son los métodos instrumentales y de análisis sensorial.

La Organización Internacional de Normalización ISO (1992) define la textura como “Todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptible por medios químicos, táctiles por receptores apropiados, visuales y auditivos”.

La textura y estructura de los alimentos están vinculados, y la composición estructural de los alimentos determina la percepción sensorial (McKenna, 2003). Los términos de textura sensorial, tienen límites lingüísticos, es decir, son susceptibles a diferentes interpretaciones en diferentes lenguas (Bourne, 2002).

Los atributos mecánicos están relacionados con la reacción del producto al estrés. Están divididas en cinco características primarias: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad. Los atributos geométricos son los relacionados con el tamaño, forma y arreglo de partículas en un producto. Los atributos superficiales son los relacionados con las sensaciones producidas por humedad o contenido de grasa. En la boca también están relacionados con la forma en que se liberan estos constituyentes.

Las otras características son calidades de "boca-sensación", descritas subjetivamente por términos tales como duro, suave, firme, elástico, desmenuzable, adhesivo, húmedo o seco. Se cree que estos términos tienen importancia en relación de apelación y satisfacción de los consumidores (Szczesniak, 1986).

Como en cualquier análisis instrumental, si el aparato no funciona correctamente, las lecturas no tienen sentido, por lo que de manera similar en el análisis sensorial: es necesario conocer las limitaciones y posibilidades de los órganos sensoriales de los catadores, ya que la ignorancia de estas posibilidades conduce a la obtención de datos falsos y conclusiones erróneas.

Debido a las limitaciones de tiempo, el entrenamiento de panel, la psicología de panelista y la naturaleza de trabajo intensivo del análisis sensorial, los métodos instrumentales han sido diseñados para medir las propiedades de los alimentos que se relacionan con las características sensoriales pertinentes (Rosenthal, 1999).

3.3. Análisis de perfil de textura (TPA)

Como un aporte más a los ensayos que se utilizan para los sistemas de aseguramiento de la calidad total en los años 90, la gran industria en muchas regiones del área iberoamericana ha podido introducir las mediciones instrumentales de la textura gracias a la aparición en el mercado de texturómetros sencillos, versátiles, baratos y de pequeñas dimensiones.

Particularmente en el queso, la textura es uno de los atributos más importantes que ayudan a determinar la identidad del mismo (Bourne, 2002). Según Szczesniak (1986), la principal razón para tratar de correlacionar los datos de la textura sensorial con los datos instrumentales es el control de calidad, que significa esencialmente la fabricación de productos con calidad consistente. Tratar de predecir la preferencia del consumidor u optimizar las condiciones de prueba para el análisis instrumental son las otras fuerzas impulsoras de la investigación en el área de la correlación sensorial-instrumental.

El análisis de perfil de textura (TPA) se utiliza como medición instrumental común para la evaluación de la textura del queso (Gunasekaran, 2002). Es una prueba popular de compresión doble que varía entre el 25 y el 90% de la compresión de la muestra, según se ha encontrado en la literatura científica, para determinar propiedades texturales de los alimentos. Esta prueba resulta casi siempre en la ruptura del alimento, proporcionando información sobre cómo se comportan las muestras cuando se mastican.

Analizar la textura instrumental de los quesos ayuda en parte a entender cómo evoluciona o cambia, o incluso analizar posibles factores externos que pueden afectar a su textura. Tener datos fiables de textura instrumental, que puedan correlacionarse con la textura que pueda ser percibida por los consumidores, es fundamental para el desarrollo y la innovación o detección de problemas industriales.

Sin embargo, si se encuentra que el protocolo de análisis o la forma y tamaño de la muestra pueden interferir en los resultados del TPA, significa que debe existir un análisis más profundo de los protocolos y estandarizar los procesos a nivel internacional. Por tanto, el problema principal a resolver es: ¿Existe un efecto de la velocidad de la prueba de TPA, así como la forma y tamaño de la muestra, sobre los datos que se obtienen del equipo texturómetro?

Algunas características relacionadas con la textura pueden ser medidas por máquinas y éstas no están limitadas por la lengua. Demonte (1995) cita la fracturabilidad, elasticidad, dureza, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad como los principales parámetros texturales obtenidos con el análisis de perfil de textura. Las mediciones proporcionan datos objetivos cuantificables, siempre y cuando las condiciones de medición estén bien definidas.

En las propiedades mecánicas descritas influye la estructura propia del alimento en cuestión; fuera de esto el estado físico del alimento afecta en forma importante a los alimentos de humedad baja (Roos, 1995).

3.4. Texturómetros

La literatura recoge una gran variedad de instrumentos de medición de la textura, como son las revisiones de Finney (1969), Gordon (1969), Heiss y Witzel (1969), Kramer y Twigg (1966). La dificultad principal con estos equipos, en muchos casos, es que se desconoce exactamente qué propiedad se mide y entonces ha surgido una diversidad de parámetros que en ocasiones, han sido pobremente definidos o mal interpretados y han creado confusión; en otros las correlaciones con la medición sensorial han sido no significativas, por lo que no puede asegurarse entonces que dicho instrumento mida la propiedad sensorial que se desea.

La dificultad en las medidas de textura ha obligado a diseñar complejos aparatos experimentales (texturómetros) que permiten estimar objetivamente esta característica y que se basan en la medida de aspectos tan diferentes como son la compresión, la resistencia a la tracción y la fuerza de corte o cizalla.

Como compresión se entiende la fuerza que se aplica al cuerpo alimenticio para cambiar su forma sin llegar a partirlo. La compresión lo que hace es reducir su volumen sin llegar a dividirlo. La fuerza de corte es la que permite dividir el alimento sin cambiar su forma. Lógicamente estos conceptos aplicados a un alimento son casi imposibles de separar ya que en el momento de cortar hay también una compresión y compresión, aunque luego se recupere. Las fuerzas de cizalla provocan la división del alimento por deslizamiento de una parte sobre la otra. En realidad estas últimas fuerzas se presentan también combinadas con otras acciones, pero manteniendo constante el modo operatorio, pueden llegarse a individualizar y obtener datos representativos y diferenciales para cada producto.

3.5. Pruebas de compresión en un texturómetro

Una prueba de doble compresión muy utilizada aún en la actualidad, en el análisis de la textura de los alimentos, es el llamado Análisis del Perfil de Textura (TPA). Desarrollado por un grupo de investigadores de General Foods Corporation en los años 60, mediante el uso de un texturómetro de la misma firma para obtener varios parámetros de textura, ha demostrado la

elevada correlación que existe entre las mediciones por esta técnica y la evaluación sensorial (Friedman y col, 1963; Szczesniak 1963).

Bourne (1968) fué el pionero en adaptar una máquina Instron para desarrollar el análisis del perfil de textura. Una curva generalizada se muestra en la figura 1 donde se aprecian algunos de los principales parámetros que se evalúan.

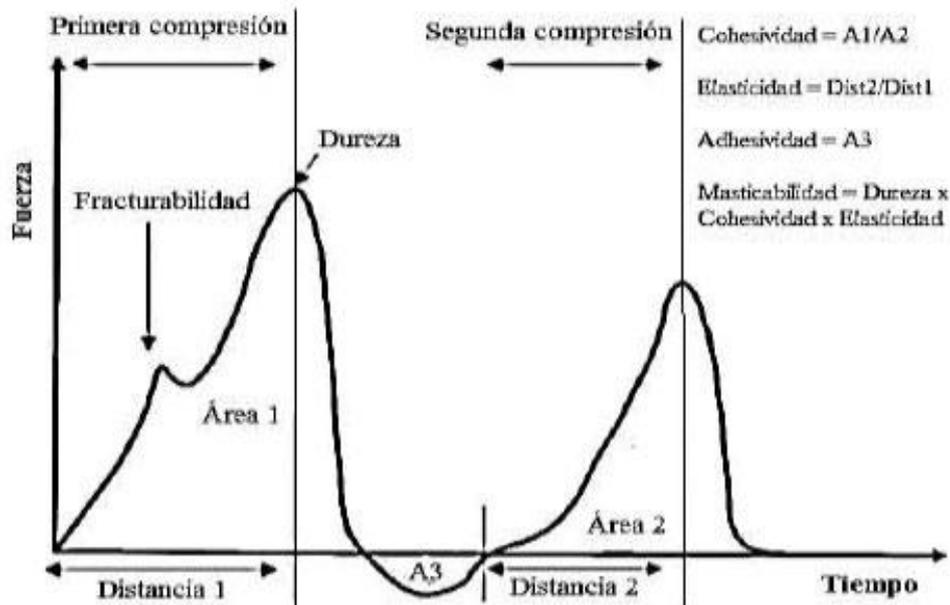


Ilustración 1 Gráfica general del perfil de textura

Fuente: Hleap y Velasco, (2010)

Hoy en día, el equipo más usado para determinar los parámetros requeridos de textura es el Texturómetro, que recopila la mayoría de las pruebas en un solo aparato y porque desarrolla una técnica de simulación, es decir, simula la mordedura de un alimento (De Hombre, 2007). El analizador de textura ha cobrado gran auge entre los especialistas de textura en el área iberoamericana así como en diversas empresas productoras de alimentos y materias primas para la industria de alimentaria (Delgado, 2013).

3.6. Compresión uniaxial a velocidad constante

El método consiste en comprimir una muestra de queso de geometría y dimensiones conocidas mediante un plato descendente a velocidad constante, hasta un nivel de compresión superior al punto de fractura tal como se observa en la figura 2.

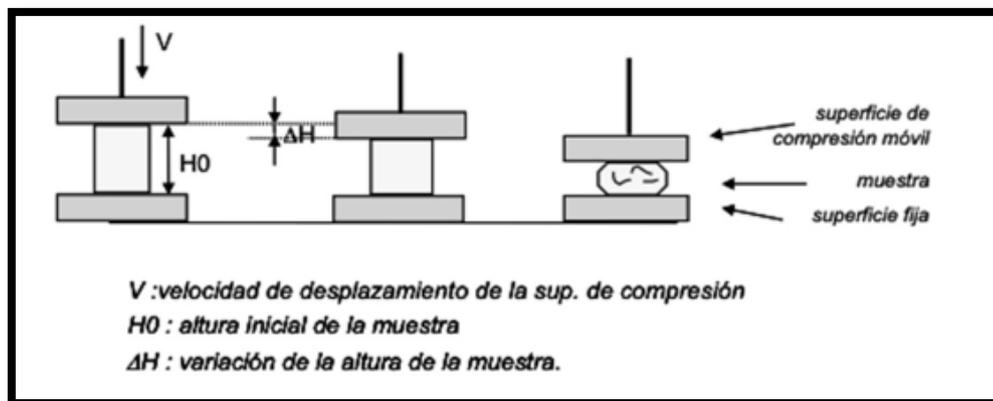


Ilustración 2 Compresión uniaxial a velocidad constante. Adaptado de Castañeda (2002)

Los parámetros del Análisis del Perfil de Textura que pueden obtenerse a través de un texturómetro son: dureza, fracturabilidad, elasticidad, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad. En la literatura pueden encontrarse muchos artículos publicados donde aparecen resultados de estos parámetros para diferentes alimentos y una versión completa de este tema puede encontrarse en la extensa revisión realizada por Breene (1975).

- Fracturabilidad: corresponde a la fuerza necesaria para la primera ruptura, da lugar al primer pico.
- Dureza: Fuerza máxima, también llamada firmeza, que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978). Se refiere a la fuerza requerida

para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar (Civille y Szesniak, 1976). Se expresa en unidades de fuerza N ó kg m s^{-2} (Rosenthal, 1999).

- Cohesividad: Cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1) Bourne (1978). Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límites hasta el cual se puede deformar antes de romperse (Szczesniak, 2002). Es adimensional (Rosenthal, 1999).
- Adhesividad: Siguiendo el primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve a su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra (Rosenthal, 1999). Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar) (Civille, Gail y Szczeniak, Alina, 1976). Se mide en $\text{Kg m}^2 \text{s}^{-2}$.
- Elasticidad: Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo ($D2/D1$) (Bourne, 1978). Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional, una longitud dividida por otra longitud (Rosenthal, 1999).
- Masticabilidad: Producto de la dureza por la cohesividad y la elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Se expresa en Kg (Civille y Szesniak, 1976).
- Dureza terminada.- Trabajo necesario para vencer la fuerza interna que mantiene un alimento unido.
- Trabajo total.- trabajo necesario para vencer la fuerza interna que mantiene un alimento unido más el trabajo recuperado tras el análisis.

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo De Estudio

El tipo de metodología que se realizó en este proyecto de investigación es cuantitativa ya que se recogió datos cuantitativos, posteriormente se realizó un análisis estadístico.

Además es científica porque genera nuevos conocimientos asentando bases para posibles estudios posteriores. La investigación es descriptiva porque no se limita a la recolección de datos, sino que se expone y resume la información de manera cuidadosa y luego se analizan minuciosamente los resultados, a fin de obtener resultados significativos que contribuyan al conocimiento.

Se realizó también una investigación comparativa ya que vamos a comparar parámetros como forma y tamaño de la muestra, explicativa ya que en ella explicamos el efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental.

4.2. Población y muestra

Este estudio se realizó en la Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Se seleccionó queso tipo fresco, sin fermento, procedente de una empresa de procesamiento de lácteos de la ciudad. De este queso se obtuvieron las muestras necesarias para realizar el experimento. Se precisó dos formas diferentes de muestra (cilíndrica y cúbica) y dos tamaños diferentes de muestra por cada forma. De todas estas muestras se aplicó 3 velocidades de prueba. Por cada forma, tamaño y velocidad se repitió la prueba 20 veces. Por tanto 2 formas x 2 tamaños x 3 velocidades x 20 repeticiones, hacen un total de 240 muestras como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de muestras de queso tipo fresco

Velocidad de la prueba	Forma de la muestra			
	Cilindro		Cubo	
	2 cm diámetro	3 cm diámetro	1,5 cm ³	2 cm ³
0,3 mm/s	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones
0,7 mm/s	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones
1,0 mm/s	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones	20 repeticiones

Fuente: Nogales. D, Sánchez. D (2018)

4.3. Procedimientos

4.3.1. Preparación de las muestras

Cada uno de estas muestras fueron obtenidas según los procedimientos establecidos por Bourne (2002), pero con modificaciones según lo siguiente.

Las muestras cilíndricas del queso tipo fresco se obtuvieron con un molde de acero inoxidable en forma de cilindro de 2 y 3 centímetros (Ilustración 3). Las muestras cúbicas fueron tomadas con moldes del mismo material en forma de cubo de 2 cm³ y 1,5 cm³ (Ilustración 4). Cada muestra se obtuvo del centro de cada pieza de queso usando los moldes y un cuchillo, y se mantuvo a temperatura ambiente (20°C) en un recipiente cerrado de plástico para evitar la pérdida de humedad.



Ilustración 3 Muestras cilíndricas de 2 y 3cm de diámetro x 3 cm de altura



Ilustración 4 Muestras cúbicas de 1.5 y 2 cm³

4.3.2. Análisis de perfil de textura

Para la realización del análisis del perfil de textura se utilizó una máquina de prueba universal texturómetro (Ilustración 5) (TexturePro CT V1.6 Build 26 marca Brookfield, USA.). Del TA GENERAL PROBE KIT, se hizo uso de la pieza dos denominada TA4/1000 Cylinder 38.1mm D, 20MM L (Ilustración 6).



Ilustración 5 TexturePro CT V1.6 Build 26 marca Brookfield USA



Ilustración 6 Pieza TA4/1000 con muestra cilíndrica de 2 cm de diámetro x 3cm de altura.

En este trabajo de investigación la prueba instrumental de TPA realizada con el equipo TexturePro CT Brookfield nos ha dado información de los parámetros presentados en la tabla 3.

El porcentaje de compresión de la muestra fue siempre de 75%.

Tabla 3 Definiciones de los parámetros de textura obtenidos con el equipo TexturePro CT Brookfield.

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	UNIDAD
Dureza 1 y 2	Fuerza máxima requerida para comprimir un alimento. Valor de carga máximo del ciclo 1 (dureza 1) o del ciclo 2 (dureza 2) de compresión.	Gramos x centímetros
Elasticidad ("springiness")	Relación entre la altura de la muestra en el punto de inicio de la segunda compresión y la altura inicial (a/b)	Adimensional (<1)
Cohesividad	Relación entre las áreas debajo de la segunda y la primera curva (a2/a1)	Adimensional (<1)

Fracturabilidad	Altura correspondiente a la primera rotura significativa durante la primera compresión.	Gramos x centímetros
Adhesividad	Área negativa por debajo de la línea base del perfil que representa el trabajo necesario para retirar el embolo de la muestra (b)	Gramos x centímetros
Masticabilidad (sólidos)	Dureza x cohesividad x elasticidad	Gramos
Trabajo total	Trabajo necesario para vencer la fuerza interna que mantiene unido a un alimento más trabajo recuperado tras el análisis.	Gramos x centímetros

4.3.3. Análisis estadístico

Tras la tabulación de los datos se realizó el análisis de datos con el programa estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2008). Mediante un procedimiento de ANOVA de medidas repetidas, el cual analizó el efecto de la forma y dimensiones de las muestras de queso fresco (cilindros de 2 cm ø; 3cm ø y cubos de 2cm³ y 1.5 cm³), y de la velocidad de la prueba del equipo (0,3 mm/s; 0,7 mm/s; 1mm/s) sobre los diferentes parámetros de perfil de textura instrumental. La ecuación del modelo aplicado en esta investigación es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + \eta_{i/j} + (\alpha\beta)_{jk} + (\beta\eta)_{ki/kj} + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ , α_j y β_k son la media de población total, el efecto del j grupo y el efecto del k intervalo u ocasión; $\eta_{i/j}$ es el efecto del i sujeto del j grupo, $(\alpha\beta)_{jk}$ es la interacción grupo por ocasión, $(\beta\eta)_{ki/kj}$ la interacción de k intervalo y el sujeto i , y ε_{ij} el componente de error aleatorio.

Para determinar entre qué medias existen diferencias significativas, se realizó el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Muestras de queso cilíndricas

Los valores medios del análisis del perfil de textura instrumental aplicando tres velocidades (0,30mm/s, 0,70mm/s, 1mm/s) y 75% de compresión a muestras cilíndricas de queso tipo fresco de 2 y 3 cm de diámetro están resumidos en la tabla 4.

En el caso de las muestras cilíndricas de 2 cm de diámetro, se observó que no hay un efecto significativo debido a las velocidades de prueba utilizadas en este experimento para todos los parámetros del TPA.

Sin embargo, en las muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro, sí hubo efecto de la velocidad de la prueba en algunos de los parámetros. En este caso, a medida que aumenta la velocidad de la prueba, aumentan los valores de dureza al primer ciclo, fracturabilidad, trabajo dureza terminado y trabajo total, a pesar de ser el mismo queso, con la misma forma y tamaño. Para el resto de parámetros, no se observó variación en los resultados debido a la velocidad de prueba del equipo.

Cuando comparamos dentro de cada velocidad el efecto del tamaño de la muestra cilíndrica, se observó que en los parámetros de dureza primer ciclo, adhesividad, dureza segundo ciclo, fracturabilidad, trabajo dureza terminado y trabajo total, los valores aumentaron para las muestras de mayor diámetro.

Sin embargo para cohesividad, elasticidad y masticabilidad, los valores no se vieron afectados por el tamaño de la muestra cilíndrica de queso.

Tabla 4 Valores medios de los parámetros del análisis de perfil de textura instrumental de muestras cilíndricas de 2 y 3 cm de diámetro de queso fresco

Item	Tamaño	Velocidad (mm/s)			EEM
		0,3	0,7	1,0	
Dureza ciclo 1(g x cm)	2cm	19,15 ^z	22,16 ^z	23,15 ^z	1,19
	3cm	32,18 ^{ay}	37,06 ^{aby}	43,68 ^{by}	1,83
	EEM	1,80	2,05	2,75	
Dureza ciclo 2 (g x cm)	2cm	8,89 ^z	9,88 ^z	9,40 ^z	0,55
	3cm	15,24 ^{ay}	15,97 ^{aby}	20,65 ^{by}	1,04
	EEM	0,93	1,07	1,49	
Fracturabilidad (g)	2cm	16,27 ^z	19,65 ^z	21,34 ^z	1,20
	3cm	28,32 ^{ay}	34,94 ^{aby}	40,31 ^{by}	1,98
	EEM	1,88	2,18	2,75	
Adhesividad (g x cm)	2cm	5,59 ^z	6,82 ^z	6,91 ^z	0,65
	3cm	11,37 ^y	13,84 ^y	13,44 ^y	0,98
	EEM	1,03	1,12	1,24	
Cohesividad	2cm	0,13	0,12	0,12 ^z	0,01
	3cm	0,14	0,12	0,18 ^y	0,01
	EEM	0,01	0,01	0,02	
Elasticidad	2cm	1,82	1,86	1,96	0,14
	3cm	1,94	2,09	1,97	0,12
	EEM	0,15	0,17	0,15	
Masticabilidad (g)	2cm	474,93	562,07	514,75	53,76
	3cm	871,90	1040,51	1631,89	145,87
	EEM	93,38	104,19	203,98	
Trabajo dureza terminado (g x cm)	2cm	2011,71 ^z	2406,40 ^z	2504,62 ^z	125,45
	3cm	3697,93 ^{ay}	4379,39 ^{by}	4565,58 ^{by}	201
	EEM	220,8	249,24	282,61	
Trabajo Total (g x cm)	2cm	2145,12 ^z	2572,60 ^z	2668,92 ^z	133,68
	3cm	3924,02 ^{ay}	4645,52 ^{aby}	4920,17 ^{by}	214,5
	EEM	233,60	265,32	302,58	

^{a-b} Medias en la misma fila con diferente letra difieren estadísticamente por velocidad de la prueba. (p<0,05)

^{z-y} Medias en la misma columna con diferente letra difieren estadísticamente por tamaño de la muestra. (p<0,05)

EEM: Error estándar de la media.

Fuente: Nogales. D, Sánchez. D (2018)

5.2. Muestras de queso cúbicas

La tabla 5 representa los valores medios del análisis del perfil de textura instrumental aplicando tres velocidades (0,3 mm/s, 0,7 mm/s, 1mm/s) y 75% de compresión a muestras cúbicas de queso de 1,5 y 2 cm³.

En el caso de las muestras en forma de cubo de 1,5 cm³ se observó que existe un efecto significativo debido a la velocidad de la prueba para los parámetros: dureza al ciclo 1, dureza al ciclo 2, elasticidad y fracturabilidad.

Para el resto de parámetros no hubo efecto debido a la velocidad en las muestras de 1,5cm³. Sin embargo en las muestras cúbicas de 2 cm³ se encontró efecto debido a la velocidad de la prueba, aumentando los valores medios de los parámetros dureza al primer ciclo, adhesividad, dureza al segundo ciclo, fracturabilidad y trabajo dureza terminado; mientras, este fenómeno no se observa para los demás parámetros. Cuando se comparan los valores de los parámetros del TPA en función del tamaño de la muestra, se observó que en los parámetros elasticidad, trabajo dureza terminado y trabajo total, para cualquier velocidad, los valores fueron estadísticamente mayores en las muestras de 2 cm³ comparadas a los de 1,5 cm³.

En el caso de dureza al primer ciclo, solo se evidenció diferencias entre ambas muestras a la velocidad de 0,3 mm/s, mientras que para fracturabilidad, la diferencia se encontró a la velocidad de 0,7 mm/s. Por otro lado, para masticabilidad se encontraron diferencias estadísticas debido al tamaño de la muestra cuando se utilizaron las velocidades de prueba de 0,7 y 1 mm/s.

Tabla 5 Valores medios de los parámetros del análisis de perfil de textura instrumental de muestras cúbicas de 2 y 3 cm³ de queso fresco

Item	Tamaño	Velocidad (mm/s)			EEM
		0,3	0,7	1,0	
Dureza ciclo 1 (g x cm)	1,5cm	35,47 ^{az}	40,41 ^b	42,13 ^b	1,39
	2cm	36,77 ^{ay}	41,67 ^b	46,50 ^c	1,35
	EEM	1,17	2,01	1,53	
Dureza ciclo 2 (g x cm)	1,5cm	25,03 ^a	26,05 ^{ab}	26,29 ^b	1,00
	2cm	22,70 ^a	25,60 ^{ab}	26,45 ^b	0,88
	EEM	0,88	1,4	1,12	
Fracturabilidad (g)	1,5cm	30,49 ^a	36,78 ^{bz}	36,76 ^b	1,77
	2cm	27,12 ^a	31,76 ^{ay}	39,15 ^b	0,95
	EEM	1,56	1,77	1,58	
Adhesividad (g x cm)	1,5cm	7,85	7,39	6,48 ^z	0,84
	2cm	11,11	11,47	14,68 ^y	1,33
	EEM	1,3	1,35	1,61	
Cohesividad	1,5cm	0,24	0,22	0,22	0,00
	2cm	0,24	0,22	0,19	0,01
	EEM	0,01	0,10	0,01	
Elasticidad	1,5cm	0,91 ^z	0,94 ^z	0,91 ^z	0,02
	2cm	1,21 ^{ay}	1,31 ^{by}	1,30 ^{by}	0,02
	EEM	0,03	0,03	0,04	
Masticabilidad (g)	1,5cm	785,09	860,51 ^z	864,08 ^z	37,47
	2cm	885,65 ^a	1137,03 ^{by}	1123,20 ^{by}	40,52
	EEM	33,52	55,7	55,75	
Trabajo dureza terminado (g x cm)	1,5cm	1245,99 ^z	1450,55 ^z	1534,01 ^z	31,05
	2cm	2394,96 ^{ay}	2700,11 ^{ay}	3114,77 ^{by}	65,92
	EEM	100,04	120,46	134,57	
Trabajo Total (g x cm)	1,5cm	1322,52 ^z	1537,58 ^z	1628,03 ^z	32,36
	2cm	2547,4 ^{ay}	3892,92 ^{by}	3300,97 ^{aby}	355,76
	EEM	105,65	555,82	124,51	

^{a-b} Medias en la misma fila con diferente letra difieren estadísticamente por velocidad de la prueba. (p<0,05)

^{z-y} Medias en la misma columna con diferente letra difieren estadísticamente por tamaño de la muestra. (p<0,05)

EEM: Error estándar de la media.

Fuente: Nogales. D, Sánchez. D (2018)

6. DISCUSIÓN

La textura del queso se produce mediante una interacción compleja de diferentes factores, como la composición del queso, la fabricación y las condiciones de maduración (Lucey y col., 2003).

En este experimento, se observó claramente que la dureza de los quesos al primer ciclo es mucho mayor, en todos los casos, comparada con la dureza de las muestras en el

segundo ciclo de compresión. Esto se debe principalmente porque la muestra ya sufrió una rotura de su estructura en el primer ciclo, por lo que al segundo ciclo la sonda se encontró menos resistencia al aplastar la muestra.

La tensión por fractura disminuye significativamente si la muestra se ha ciclado a través de compresiones sucesivas (Dickinson y Goulding, 1980). Esto era mostrado para los quesos Cheddar, Cheshire y Leicester a 20% de compresión. El efecto fue notable incluso cuando el porcentaje de compresión de las muestras era relativamente bajo, por ejemplo, en los quesos Cheddar y Cheshire cayeron en 30% después de 50 ciclos. Esto indica que un historial de compresión recuperable causa algunas debilidades estructurales internas, que reducen la fuerza posterior del queso, pero las condiciones de flujo debajo del cual ocurre la fractura no se ven afectados. Por lo cual los porcentajes de compresión aplicados en experimento se justifican al igual que los ciclos de compresión utilizados.

La expresión de las características de compresión en forma de curvas de tensión y compresión en lugar de curvas de desplazamiento de fuerza tiene como objetivo eliminar el efecto de las dimensiones de la muestra, lo cual se cumple para la mayoría de parámetros aunque no para la totalidad de los analizados (O'Callaghan y Guinee., 2004) A valores bajos de compresión, el efecto de las dimensiones de la muestra puede eliminarse de esta manera. Sin embargo, para una gran tensión en el material, especialmente mayor que la compresión natural, la distribución de la tensión y la compresión dentro de la muestra depende de las dimensiones de la muestra, ya que la muestra puede deformarse en una forma irregular, debido a la fractura, la forma y la presión a medida que se reduce la altura de la muestra, el queso se extiende en una dirección lateral

De acuerdo a un estudio realizado por O'Callaghan y Guinee., (2004) se concluyó que para muestras cilíndricas y cúbicas, solo se han reportado pequeñas diferencias en el estrés – tensión, características hasta el punto de fractura (40% de compresión). Sin embargo, para mayor tensión de fractura, la compresión de muestras cúbicas da lugar a fuerzas significativamente mayores que muestras cilíndricas (Culioli y Sherman, 1976). En esta investigación (con un 75% de compresión) se observaron diferencias

significativas en muchos de los parámetros del TPA debido a un efecto de la forma y tamaño de la muestra y de la velocidad.

En un estudio realizado por Sandoval-Copado y col (2016) se determinó que “No hubo diferencias significativas entre la forma y la velocidad encontrados entre los quesos en términos de cohesividad y elasticidad” y de acuerdo con los datos obtenidos en esta investigación se evidenció que este comportamiento se mantiene en las muestras analizadas a excepción de las muestras de 2 cm³, ya que estas presentan diferencias significativas debido a la velocidad. Este comportamiento de los parámetros de textura encontrados por Sandoval-Copado y col. puede ser debido al contenido de humedad de los diferentes quesos, ya que nuestro estudio está centrado en quesos de tipo fresco, los cuales tienen un alto grado de humedad.

De acuerdo a un estudio realizado por Ayyash y col. (2011) sobre el análisis de perfil de textura de queso halloumi que es un tipo de queso blanco, de textura distintiva en capas, muy parecido a mozzarella, a un porcentaje de compresión de 50% a velocidad de 0,4683mm/s determinó que “No se encontró diferencia significativa tomando en cuenta la forma y la velocidad en parámetros como la dureza, cohesividad, y adhesividad”, lo mismo ocurre en este estudio, no se han notado diferencias significativas para estos parámetros a excepción de la dureza primer ciclo y dureza al segundo ciclo, las mismas que en muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro presentan diferencias a velocidad de 0,30 y 1 mm/s, pero ninguna de estas difieren a velocidad de 0,70 mm/s, lo cual se repite en el parámetro de dureza 1 en muestras de 1,5cm³ que se evidencia diferencia significativa a velocidad 0,30 mm/s en comparación de 0,70 mm/s y 1 mm/s, ocurre de manera similar para muestras de 2 cm³ que presenta diferencias significativas para cada una de las velocidades; mientras que para dureza 2 en muestras de 1,5 y 2 cm³ hay diferencias a velocidad de 0,30 mm/s comparada con 1 mm/s y a velocidad 0,70mm/s no difiere de ninguna de estas velocidades.

La elasticidad es una característica intrínseca del material, y es independiente de las dimensiones de la muestra, la velocidad de la prueba y grado de rotura (O'Callaghan y Guinee, 2004). Es por ello, que los protocolos utilizados para el TPA no deberían evidenciar un efecto de la velocidad o tamaño de la muestra. En este estudio, por tanto

quedarían excluidas las muestras cúbicas, pues los datos se ven afectados por el tamaño de la muestra y la velocidad. En el caso de las muestras cilíndricas no se observa este efecto, por lo que son candidatas a ser elegidas para las pruebas de TPA.

Respecto a la forma de la muestra, O'Callaghan y Guinee (2004) explican que las muestras cilíndricas y cúbicas se han usado mucho en las investigaciones, pero que sólo se han reportado diferencias muy ligeras cuando el porcentaje de compresión es menor al 40%. Pero cuando el porcentaje de compresión es mayor, las muestras cúbicas reportan datos de dureza mayor que en las muestras cilíndricas (Culioli y Sherman, 1976). En este estudio, se observa que, en ambos parámetros de dureza y de masticabilidad, las muestras cúbicas presentan valores más altos que las muestras cilíndricas, en concordancia con los autores anteriores.

En esta investigación se ha determinado que para el análisis del TPA se debe excluir los protocolos que utilizan muestras cúbicas, pues se reporta un efecto de la velocidad sobre los valores de elasticidad, que no deberían existir. Además, para algunos parámetros no se observa diferencias estadísticas debido al tamaño de las muestras, lo cual es contradictorio con la lógica y la literatura de que a mayor tamaño, mayores valores de dureza.

Respecto a las muestras cilíndricas, teniendo en cuenta que debe existir un efecto debido a la velocidad, quedan excluidas las muestras de 2 cm de diámetro, pues no se observa el dicho efecto en todos los parámetros en los que sí debería existir.

Las muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro y 3 cm de altura son las candidatas a ser utilizadas para la prueba de TPA con un 75% de compresión. Respecto a la velocidad a ser utilizada con estas muestras, se ha observado que cuando se utilizó la velocidad de 1 mm/s se evidencia una diferencia debida al tamaño. Como la cohesividad es un parámetro adimensional que determina la fuerza de unión interna de las partículas, no debe haberse encontrado diferencia por tamaño de la muestra. Por tanto, las velocidades de la prueba de TPA candidatas a ser elegidas en este trabajo son 0,3 y 07 mm/s, pues se muestran equivalentes. En términos de rapidez de la prueba, se preferiría la velocidad 0,7 mm/s para no alargar el tiempo de análisis.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- La forma y tamaño de la muestra de queso, así como la velocidad de la prueba son factores que afectan a los resultados de los parámetros de análisis de perfil de textura instrumental.
- Las muestras cúbicas presentan mayores valores de dureza que las muestras cilíndricas, mientras que las muestras de mayor tamaño, independientemente de su forma, también tienen mayores valores de dureza que las muestras más pequeñas. Cuando se utilizan muestras cúbicas, los valores de elasticidad se ven afectados tanto por el tamaño de la muestra como por la velocidad, lo cual no debería darse y por tanto se recomienda no usar muestras de queso cúbicas en las pruebas de TPA.
- Respecto a las muestras cilíndricas, aquellas de 2 cm de diámetro no difieren debido a la velocidad, lo cual no corresponde con la teoría, donde se especifica que la velocidad de la prueba afecta los resultados. Por tanto, las muestras de 2 cm de diámetro también quedan excluidas por no evidenciar este hecho.
- Las muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro son las candidatas a ser utilizadas en las pruebas de TPA en texturómetro, pero sólo serían elegibles las velocidades de 0,3 y 0,7 mm/s.

7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer la revisión bibliográfica de trabajos relacionados con la temática de investigación propuesta para de acuerdo con resultados obtenidos proyectarnos de mejor manera para la puesta en marcha de cualquier investigación.
- Cuando se hace un ensayo sobre un producto alimentario, y más particularmente sobre un sólido o un semisólido, algunos parámetros como la humedad, la dimensión, forma de la muestra y la velocidad de compresión pueden implicar grandes variaciones en los resultados por lo cual se debe tener un gran cuidado al momento de la experimentación. La temperatura juega también un papel importante en este tipo de medida. En efecto la actividad del agua varía con la temperatura, y se puede obtener un producto más o menos rígido modificándole la temperatura en el momento del ensayo.

- De acuerdo con estudios previos (Green y col., 1985; Casiraghi y col., 1989; Hennequin y Hardy, 1993; Halmos, 2000), los parámetros sensoriales se correlacionaron fuertemente con parámetros mecánicos, por ejemplo, dureza mecánica con dureza sensorial, por lo cual es recomendable la realización de un análisis descriptivo sensorial con muestras de las mismas medidas analizadas, ser comparadas con los resultados obtenidos mediante este estudio podrían ayudar para determinar cuál es la medida de la muestra óptima para la cata.
- Se recomienda realizar un estudio sobre el análisis de perfil de textura (TPA) para diferentes productos alimenticios y se correlacione con las mediciones en las pruebas sensoriales, para que esta prueba física se convierta en un método ampliamente utilizado. Este método aún no se ha explotado por lo que se requiere que se realice un mayor número de estudios.
- Divulgar el uso y aplicaciones del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) Para la obtención de resultados ya que este ayuda a simplificar el análisis estadístico de datos para la ejecución de posteriores investigaciones.
- Brindar apoyo a los estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo, especialmente al grupo de investigación PROANIN para la obtención de nuevos conocimientos generados mediante la investigación científica.
- Lo más recomendable para la realización de análisis del perfil de textura en queso fresco es utilizar velocidad de 0,3 y 0,7 mm/s y muestras cilíndricas de 3 cm de diámetro, pues la forma y tamaño de muestra son adecuados para obtener datos objetivos realmente afectados por los factores analizados en este estudio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari K, Heymann H, Huff H.E (2003) Textural characteristics of lowfat, fullfat and smoked cheeses: sensory and instrumental approaches. Department of Food Science, University of Missouri, Columbia, MO 65211, USA *Food Quality and Preference* 14 211–218
- Alais, C. (1985). Ciencia de la leche. *Principios de técnica lechera. Cuarta edición. Editorial Reverté S.A. Baecelona, España., 873.*
- Ayyash M., Sherkat F., Francis P., Williams R. P. W Y Shah N.P (2011) The effect of sodium chloride substitution with potassium chloride on texture profile and microstructure of Halloumi cheese. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 94 :37–42
- Benedito J., Carcel, J., Clemente, G., & Mulet A. (2000). Cheese maturity assessment using ultrasonics. *Journal of Dairy Science*, 83, 248-254.
- Bourne M. and Szczesniak, A. S. (1968). Texture profile analysis. *Food Technology*., 32:62-66.
- Bourne, M. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62 - 66, 72.
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity; Concept and Measurement. *2nd edn, Academic Press, San Diego.*
- Breene, W.M. (1975). Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of texture studies*, 6, 53-82.
- Buffa, M.N., Trujillo, A.J., Pavia, M. y Guamis, B.2001. Changes in textural, microstructural, and color characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goat's milk. *International Dairy Journal*. 11: 927 - 934.
- Casiraghi, E., Lucisano, M. and Pompei, C. (1989). Correlation among instrumental texture, sensory texture and chemical composition of five Italian cheeses. *Ital. J. Food Sci.* 1, 53-63.
- Civille, Gail y Szczeniak, Alina. (1976). Guidelines to training a texture profile panes. *Journal of texture Studies. Vol 4*, 204-223.
- Culioli, J. and Sherman, P. (1976). Evaluation of Gouda cheese firmness by compression tests. *J. Text. Stud.* 7, 353-372.

- De Hombre, R.A., Castro, E. (2017) Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. *Mediciones instrumentales de textura de sólidos y semisólidos*.
- Delgado, H. (2013) Medición de textura de jamón de cerdo Zamorano con los texturómetros BrookfieldCT3 eInstron 4444. Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Demonte, P. (1995) Cali. Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales. *En: Memorias de seminario de textura y reología de alimentos*. Cali: s.n. P.8-20.
- Diamantino, V., Arantes Beraldo F, Nakata Sunakozawa T, Barretto Penna A. (2014). Effect of octenyl succinylated waxy starch as a fat mimetic on texture, microstructure and physicochemical properties of Minas fresh cheese *LWT Food Science and Technology* 56 (2014) 356-362.
- Dickinson, E. and Goulding, I.C. (1980). Yield behaviour of crumbly English cheeses in compression. *J. Text. Stud.* 11, 51-63.
- Diezhandino, I., Fernández, D., Sacristán N., Combarros-Fuertes, N., Prieto B. Fresno R. (2016). Textural, colour and sensory characteristics of a Spanish blue cheese (Valdeón cheese) *J.M LWT Food Science and Technology* 65 (2016) 1118-1125
- FAO/OMS. (2006). Leche y productos lácteos. 2da edición. *Norma general del Codex para el queso. Codex Stan 283-1978*.
- Finney, E. (1969). Objective measurement for texture in foods. *J. Text. Studies*, 1, 19.
- Floury J., Camier B., Rousseau F., Lopez C., Tissier J-P., Famelart M-H (2009) Reducing salt level in food: Part 1. Factors affecting the manufacture of model Cheese systems and their structure–texture relationships. *LWT - Food Science and Technology* 42 (2009) 1611–1620
- Friedman, H., Whitney, J. E., And Szczesniak, A. S. 1963. The texturometer—a new instrument for objective texture measurement. *Journal of food science*, 28: 390 - 396. Doi:10.1111/j.1365-2621.1963.tb00216.x
- García Islas, B. (2006). Caracterización fisicoquímica de diversos tipos de quesos elaborados en el Valle de Tulancingo Hgo con el fin de proponer normas de

- calidad. . *Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Tulacingo, Hgo. México*, 98.
- Gordon. (1969). Food Texture.A survey of some of the more recent work in this field. . *Food Proc. & Marketing*, 38,54.
- Green, M.L., Marshall, R.J. and Brooker, B.E. (1985). Instrumental and textural assessment and fracture mechanisation of Cheddar and Cheshire cheese. *J. Text. Stud.* 16, 351 - 361.
- Guerrero-Ramos C., Salas W, Baldeón E (2015). Evaluación instrumental de la textura del queso elaborado con suero concentrado por Ultrafiltración. *Revista de la sociedad química de Perú SciELO* 81 (3) Pg. 273-282.
- Gunasekaran, S. y Ak, M.M (2003). *Cheese Rheology and Texture CRC Press. Nueva York, EE.UU.*, 437.
- Gunasekaran, S. A. (2002). Cheese Rheology and Texture. *CRC Press, Boca, Raton*, 512.
- Halmos, A.L. (2000). Relationships between instrumental texture measurements and sensory attributes, in, *Hydrocolloids - Part 2*, Nishinari, K., ed., Elsevier, Amsterdam. pp. 431-444.
- Heiss, R. y Witzel, H. (1969). Objective methods for measurement of consistency in solid foods. *Z. Lebensmittel-Unters. und Forsch.*, 141, 67.
- Hennequin, D. and Hardy, J. (1993). Evaluation instrumentale et sensorielle de certaines propriétés texturales de fromaget pate molle. *Int. Dairy J.* 3,635-647.
- ISO, I. O. (1992). Glossary of terms relating to sensory analysis. *5492, 1992. BSI 5098:1992*.
- Kramer, A. y Twigg, B.A. (1966). Fundamental of Quality Control for the Food Industry. *The Avi. Pu. Co., Westport, Conn*, Capítuloa 4 y 7.
- Lobato-Calleros, C., Sosa-Pérez, A., Rodríguez-Tafoya. J., Sandoval-Castilla O,C., Pérez Alonso E., Vernon-Carter, J. (2008) LWT-Structural and textural characteristics of reduced-fat cheese-like products made from W1/O/W2 emulsions and skim milk.*Food Science and Technology* 41 1847e1856 ScienceDirect.
- Lucey, J. A., Johnson, M. E., and Horne, D. S. (2003). Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science*, 86, 2725-2743.

- McKenna, B. (2003). *Texture in Food Volume 1: Semi-solid foods*, edited by McKenna, B. M. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Boca., 425.
- NTE INEN 1528. (2012). Norma General para Quesos Frescos No Madurados. *NORMA TECNICA ECUATORIANA*.
- O'Callaghan, D.J, y Guinee T.P. (2004) *Rheology and Texture of Cheese Dairy Products Research Centre, Teagasc, Ireland*
- Roos, Y. H. (1995). *Phase transitions in foods. Academic Press Limited USA*.
- Rosenthal, A. (1999). *Food Texture Measurement and Perception*, edited by Rosenthal, A.J. Springer, Gaithersburg, 311.
- Rosenthal, A. (1999). *Food texture, measurements and perception. Editorial Aspen Publisher, INC. Maryland, USA*.
- Sánchez-Macías, D., Fresno, M., Moreno-Indias, I., Castro, N., Morales-de-laNuez A, Álvarez S, Argüello A. (2010). Physicochemical analysis of full-fat, reducedfat, and low-fat artisan-style goat cheese *J. Dairy Sci.* 93:3950-3956
- Sandoval-Copado, J., Orozco-Villafuerte J., Pedrero-Fuehrer D, Colín-Cruz M. (2016) Sensory profile development of Oaxaca cheese and relationship with physicochemical parameters *American Dairy Science Association J. Dairy Sci.* 99:7075–7084
- Santini Z. G. ; Alsina, D. A. ; Athaus, R. Meinardi, C. ; Freyre, M. ; Díaz, J. R.2 & González C. (2007) Evaluación de la textura en quesos de oveja. Aplicaciones del análisis factorial discriminante *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 5 / 6 (1-2) ISSN 1666-7719
- Szczesniak, A. S. (1986). Correlating sensory with instrumental texture measurements- an overview of the recent developments. *Journal of Texture Studies*, 18, 1-15.
- Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory Property. *Food Quality and Preference* vol 13, 2.4-223.
- Tunick, M.H. y Van Hekken, D.L. 2010. Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk. *Journal of Food Quality*.33:204-215.
- Van Hekken, D.L. y Farkye,N. (2003). Hispanic Cheese: The quest for cheese. *Food Technology*., 57: 32-38.

Van Hekken, D.L., Tunick, M.H. y Park, Y.W. (2005). Effect of frozen storage on the proteolytic and rheological properties of soft caprine milk cheese. *Journal of Dairy Science*.88:1966–1972.

Zamora A. 2009. Ultra high pressure homogenisation of milk: Effects on cheese making. PhD Tesis. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona, España.

9. ANEXOS



Ilustración 7 Toma de muestras cilíndricas de queso fresco



Ilustración 8 Muestras de queso fresco de forma cilíndrica de 2 y 3 cm de diámetro x 3 cm de altura



Ilustración 9 Muestras de queso fresco de forma cúbica de 1.5 cm^3 y 2 cm^3



Ilustración 10 Puesta a punto del equipo texturómetro previo a realizar el experimento



Ilustración 11 Muestra de queso fresco en forma cilíndrica de 3 cm luego de aplicar la prueba de TPA a 0.3 mm/s y 75% de compresión



Ilustración 12 Muestra de queso fresco en forma cilíndrica de 3 cm luego de aplicar la prueba de TPA a 1 mm/s y 75% de compresión