



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

**CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y PERFIL LIPÍDICO DE QUESO TIPO
MANCHEGO ELABORADO CON LECHE DE CABRA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Anthony Martín Ortiz Deleón

Bajo la supervisión de:

César Ramírez Santiago, Dr.



Chapingo, Estado de México, julio 2020.

HOJA DE APROBACIÓN

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y PERFIL LIPÍDICO DE QUESO TIPO MANCHEGO ELABORADO CON LECHE DE CABRA

Tesis realizada por Anthony Martín Ortiz Deleón, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR: 
Dr. César Ramírez Santiago

ASESOR: 
Dra. Ofelia Sandoval Castilla

ASESOR: 
Dr. Eleazar Aguirre Mandujano

ASESOR: 
Dra. Angélica Román Guerrero

CONTENIDO

Lista de cuadros	iv
Lista de figuras	v
Abreviaturas usadas.....	vi
Dedicatorias	viii
Agradecimientos.....	ix
Datos biográficos.....	x
Resumen general	xi
Abstract	xii
Capítulo I	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Justificación	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General.....	4
1.4.2. Particulares.....	4
Capítulo II.....	5
2.1. Revisión de literatura	5
2.1.1. Situación mundial de la leche de cabra.....	6
2.1.2. Situación nacional de la leche de cabra	6
2.1.3. Composición de la leche de cabra.....	7
2.1.4. Propiedades texturales en quesos.....	9

2.1.5. Propiedades reológicas en quesos.....	13
2.1.6. Estudio de la microestructura en quesos.....	14
2.1.7. Propiedades térmicas en quesos.....	16
2.2. Literatura citada	20
Capítulo III.....	32
3.1. Introducción	32
3.2. Materiales y Métodos	35
3.2.1. Material experimental	35
3.2.2. Análisis químico proximal	35
3.2.3. Análisis de Perfil de Textura (TPA)	35
3.2.4. Microestructura de los QTM.....	36
3.2.5. Caracterización reológica	36
3.2.6. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	37
3.2.7. Prueba de fundido	37
3.2.8. Análisis estadístico	38
3.3. Resultados y discusión	39
3.3.1. Composición Química Proximal	39
3.3.2. Microestructura	40
3.3.3. Análisis Perfil de Textura (TPA)	44
3.3.4. Prueba de fundido	46
3.3.5. Determinaciones reológicas	48
3.3.6. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	51
3.4. Conclusiones	54
3.5. Bibliografía.....	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química promedio en leche de distintas especies	8
Cuadro 2. Composición química proximal en QTM _{LC} y QTM _{LV} a distintas etapas de maduración	40
Cuadro 3. Parámetros texturales en muestras de QTM _{LC} y QTM _{LV} a distintas etapas de maduración	46
Cuadro 4. Índice de fundido en muestras de QTM _{LC} y QTM _{LV} a distintas etapas de maduración	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva fuerza-tiempo del Análisis del Perfil de Textura	11
Figura 2. Micrografías SEM de QTM _{LC} (30, 60 y 90 días), a distintos tiempos de maduración	42
Figura 3. Micrografías SEM de QTM _{LV} (60 y 90 días), a distintos tiempos de maduración	44
Figura 4. Imágenes prueba de fundido a muestras QTM _{LC} y QTM _{LV} a distintas etapas de maduración	47
Figura 5. Módulos de almacenamiento (G') por efecto de la temperatura en muestras de QTM _{LC} y QTM _{LV}	49
Figura 6. Módulos de pérdida (G'') por efecto de la temperatura en muestras de QTM _{LC} y QTM _{LV}	49
Figura 7. Variación de $\tan \delta$ por efecto de la temperatura en muestras de QTM _{LC} y QTM _{LV}	50
Figura 8. Termograma DSC de muestras QTM _{LC} y QTM _{LV} por efecto de temperatura de calentamiento	52
Figura 9. Capacidad calorífica por efecto de la temperatura (DSC) de muestras QTM _{LC} y QTM _{LV}	52

ABREVIATURAS USADAS

CSLM: Microscopia de Barrido Láser Confocal.

DSC: Calorimetría Diferencial de Barrido.

FAOSTAT: *Food and Agriculture Organization of the United Nations statical.*

G´: Módulo de almacenamiento.

G´´: Módulo de pérdida.

PBS: Solución amortiguadora.

QTM: Quesos Tipo Manchego.

QTM_{LC}: Quesos Tipo Manchego elaborados con Leche de Cabra.

QTM_{LC30}: Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Cabra, 30 días de maduración.

QTM_{LC60}: Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Cabra, 60 días de maduración.

QTM_{LC90}: Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Cabra, 90 días de maduración.

QTM_{LV}: Quesos Tipo Manchego elaborados con Leche de Vaca.

QTM_{LV60}: Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Vaca, 60 días de maduración.

QTM_{LV90}: Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Vaca, 90 días de maduración.

SEM: Microscopia Electrónica de Barrido.

Tan δ : Factor de cedencia.

TEM: Microscopia Electrónica de Transmisión.

TPA: Análisis Instrumental del Perfil de Textura.

ZVL: Zona Viscoelástica Lineal.

DEDICATORIAS

A mis padres, **Blanca Luz Deleón Guillén** y **José Martín Ortiz Flores**; también, a mi hermana **Blanca Ruby Ortiz Deleón**, que aún con los kilómetros que nos separa, han sido un apoyo constante con sus consejos, palabras de aliento y el amor incondicional. Por eso y mucho más, gracias eternamente.

A mis abuelos, **Sebastián Deleón** y **Luz Guillén**, que más que abuelos han sido como mis padres, con esos incontables consejos y muestras de amor en todo momento. Los llevo en el corazón por siempre.

A la dueña de mi corazón, **Carolina Estudillo Márquez**, por la paciencia en momentos difíciles, su compañía incondicional y por todo el amor que me brinda a cada instante. Te amo con toda el alma.

A mis padrinos **Homero Deleón** y **Guadalupe Argüello**; a mis tíos **Álvaro Santiz** y **Cristy Deleón**, que no menos importantes, me han brindado su amor, respaldo y apoyo incondicional. Los quiero mucho.

A mis primos hermanos, **Carlos**, **Alexis**, **Karen** y **Fanny**, por esos inolvidables momentos que hemos compartido.

“Andaré por caminos difíciles, pero sé que llegaré a destinos maravillosos...

Y hoy para mí, es un día de ellos.”

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater, por ser la responsable en proveer las herramientas necesarias para mi formación profesional a lo largo de todos estos años.

Al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria del Departamento de Ingeniería Agroindustrial por otorgarme la oportunidad de pertenecer a su programa de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento brindado a lo largo de la investigación realizada durante la Maestría.

Al Dr. César Ramírez Santiago y Dra. Ofelia Sandoval Castilla, por compartir sus conocimientos para la mejora continua en la investigación realizada, asimismo para mi formación profesional y personal.

A la Dra. Angélica Román Guerrero por facilitar el uso de equipos de laboratorio de vital importancia para el desarrollo de la presente investigación, además de su asesoramiento constante.

Al Dr. Eleazar Aguirre Mandujano por formar parte del Comité Asesor.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:	Anthony Martín Ortiz Deleón
Fecha de nacimiento:	02 de julio de 1992
Lugar de nacimiento:	Las Margaritas, Chiapas, México.
No. Cartilla militar:	D-4861939
CURP:	OIDA920702HCSRLN02
Profesión:	Ingeniero Agroindustrial
Cédula profesional:	9989348

Desarrollo académico

Bachillerato:	Escuela Preparatoria del Estado “Lázaro Cárdenas del Río”, Las Margaritas, Chiapas, México.
Licenciatura:	Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

RESUMEN GENERAL

Quesos elaborados a partir de leche de cabra han cobrado importancia en algunas regiones lecheras de nuestro país, por lo que su estudio y análisis forman parte importante para su caracterización. Componentes tales como grasa, proteína y humedad, afectan en forma diferente las características mecánico-estructurales propias del queso. Quesos Tipo Manchego elaborados con Leche de Cabra (QTM_{LC}) fueron evaluados a distintas etapas de maduración (30, 60 y 90 días), utilizando como control Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Vaca (QTM_{LV}), con tiempos de maduración de 60 y 90 días. Los distintos tratamientos fueron sometidos a análisis químico proximal, análisis instrumental del perfil de textura (TPA), microestructura, características reológicas y análisis térmico (DSC y prueba de fundido). Los QTM_{LC} presentaron valores mayores de dureza, masticabilidad y gomosidad ($p \leq 0.05$) que los QTM_{LV}, resultado de un menor contenido de humedad y un mayor porcentaje de grasa. El QTM_{LV90} mostró una estructura más compacta en comparación a la obtenida con los QTM_{LC}, con una mejor distribución de los glóbulos de grasa. QTM_{LC} presentaron mayor capacidad de fundido que QTM_{LV}. Los QTM_{LV} mostraron mayor resistencia a la deformación por efecto de la temperatura que los QTM_{LC}. Los QTM_{LC} presentaron una marcada diferencia en su microestructura, mejores propiedades térmicas (fusión) y menor resistencia al efecto de temperatura en comparación a los QTM_{LV}.

Palabras clave

TPA, Microestructura, Características reológicas, DSC, Queso tipo Manchego.

GENERAL ABSTRACT

Cheeses made of goat milk have gained importance some dairy regions of our country, thus their study and analysis are an important part of their characterization. Components such as fat, protein, and moisture, affect, in a different manner, the mechanical-structural characteristics of the cheese. Manchego Type Cheeses made of Goat Milk (MTC_{GM}) were evaluated at different stages of maturation (30, 60 and 90 days), using Manchego Type Cheese made of Cow Milk (MTC_{CM}) as control, with maturation times of 60 and 90 days. The different treatments were subjected to proximal chemical analysis, instrumental analysis of the texture profile (TPA), microstructure, rheological characteristics, and thermal analysis (DSC and melting test). The MTC_{GM} presented higher values of hardness, chewiness and gumminess ($p \leq 0.05$) than MTC_{CM} , as a result of a lower moisture content and a higher percentage of fat. The MTC_{CM90} showed a more compact structure compared to the one obtained with MTC_{GM} , with a better distribution of the fat globules. MTC_{GM} presented higher melting capacity than MTC_{CM} . The MTC_{CM} showed greater resistance to deformation due to the effect of temperature. The MTC_{GM} presented a marked difference in their microstructure, better thermal properties (melting) and less resistance to the effect of temperature compared to MTC_{CM} .

Keywords

TPA, Microstructure, Rheological characteristics, DSC, Manchego-style cheese.

Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Anthony Martín Ortiz Deleón.
Advisor: Dr. César Ramírez Santiago.

CAPÍTULO I

Introducción general

La leche de cabra y sus productos (queso, yogurt) son una importante fuente de nutrientes: lípidos, proteína de alta calidad, vitaminas y minerales (Park et al., 2007), que pueden ser considerados como parte de la dieta de los humanos, sobre todo para personas que son intolerantes a componentes (lactosa) de la leche de vaca (Haenlein, 2004).

Las propiedades del queso se dan en términos de su composición y fuerzas de interacción entre los elementos estructurales. La información en cuanto a su composición, la parte microestructural, fisicoquímica y textural es de utilidad para caracterizar y diferenciar las variedades de quesos existentes (Guerra-Martínez et al., 2012), dando pauta para determinar sus atributos de calidad.

Aunado a ello, diversos procesos utilizados dentro de la industria alimenticia están siendo dependientes de información referente a las propiedades reológicas de la materia prima, ya que éstas tienen un efecto en la calidad del producto final (Osorio et al., 2005). La información obtenida por medio del análisis reológico, permiten un mejor entendimiento de las características de los materiales utilizados como materia prima y del mejoramiento de los procesos, así como del control de calidad. Cabe mencionar que los estudios reológicos realizados en quesos, ha servido para identificar los cambios reológicos debido a su composición (Kim et al., 2004; Ramírez-López & Vélez-Ruíz, 2018), otros donde se determinan las propiedades reológicas por efecto de la maduración (Diezhandino et al., 2015; Olivares et al., 2009), así como para diferenciar las características del producto terminado por efecto de los agentes microbianos utilizados (Nájera-Domínguez et al., 2014).

La grasa es uno de los principales componentes energéticos en la leche, siendo responsable de muchas de las propiedades físicas y cualidades organolépticas de la misma y los productos que se derivan de ella (Mc Donald et al., 1995). De los componentes de la leche, la grasa como fuente energética está formada por

distintos tipos de lípidos en los que se incluyen mono, di y triglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y esteroides, siendo los triglicéridos el principal elemento de la grasa en la leche (Wattiaux, 2005). Factores como la raza, la alimentación y el estado de lactación de los animales afectan directamente al contenido y composición de la grasa láctea (Gordon, 2013).

A su vez, la composición en ácidos grasos totales del queso, generalmente, es similar a la de la leche bronca (Luna et al., 2005), encontrándose las principales diferencias en el perfil de ácidos grasos liberados a lo largo de la maduración. Los cambios en el sabor del queso se deben a las acciones bioquímicas que ocurren durante la maduración (Esteban-Torres et al. 2014), en el que se involucra el contenido graso. La glucólisis, la proteólisis y la lipólisis son las principales reacciones bioquímicas en el desarrollo del sabor del queso durante la maduración (Sapna & Sharmili, 2018).

En la última década, las tendencias alimentarias de los países occidentales han cambiado drásticamente, los consumidores son más conscientes de la relación entre la salud y la dieta diaria. La demanda de productos más saludables con características mecánico-sensoriales similares a los tradicionales, ha llevado a la industria al desarrollo de alimentos de consumo diario con bajos contenidos de grasa o libre de ésta (Lobato-Calleros et al., 2007). La eliminación o reducción de grasa en quesos, genera cambios altamente perceptibles, entre los que se describen, baja intensidad de sabor, *off-flavors*, textura gomosa, granulosa, color indeseable, poca capacidad de fusión y liberación de aceite (Noronha et al., 2008), así como bajos rendimientos e incluso aumento en los tiempos de maduración (Sadowska et al., 2009). De aquí la necesidad y la importancia de identificar las principales características de los productos que actualmente se consume, en este caso, los quesos tipo Manchego elaborado con leche de cabra, para tener un punto de partida en el mejoramiento de la calidad.

Justificación

Actualmente, en la mayoría de los procesos que se realizan en la industria de los alimentos se hace indispensable la realización estudios reológicos, texturales y estructurales que nos proporcionen información más detallada para la formulación de nuevos productos, teniendo un gran efecto en la calidad final del producto y por ende en la aceptación del consumidor.

El aumento en la población, relacionado con la importancia económica de la producción de alimentos, la complejidad de la tecnología para su producción, procesamiento y aceptación, requieren un mayor conocimiento sobre las propiedades reológicas y texturales con el fin de ofrecer alimentos con alta calidad (Osorio et al., 2005).

El principal valor de la leche de cabra se encuentra relacionado con su transformación quesera. Por lo cual, la producción de leche (volumen), contenido de proteína (caseínas) y el contenido de grasa (perfil lipídico) de la leche, toman una gran importancia ya que de estos componentes depende el rendimiento quesero y el tipo de queso producido (Park et al., 2007).

La elaboración de queso tipo Manchego, sustituyendo la leche de vaca por la de cabra, modifica la composición química del mismo, obteniendo así propiedades mecánico-estructurales distintos. No obstante, el consumidor demanda características específicas para su consumo, las cuales pueden determinarse mediante pruebas reológicas y texturales, y debido a la correlación existente entre la microestructura del queso y sus propiedades mecánicas, se hace de vital importancia determinar dichos cambios mediante microscopia electrónica.

Sin embargo, aún con los avances tecnológicos existe poca información en trabajos científicos sobre el comportamiento reológico, textural y estructural del queso tipo Manchego elaborado a base de leche de cabra, y como la temperatura tiene una influencia en este tipo de producto, reflejándose en la diferenciación de sus componentes, desde la materia prima hasta el producto terminado. Es por ello, que este trabajo de investigación se evaluó las

características reológicas, texturales y estructurales de este tipo de queso, con la finalidad de aportar información que contribuya a su caracterización.

Hipótesis

Diferencias en la composición y perfil lipídico en queso tipo Manchego elaborado con leche de cabra, modificará las propiedades reológicas, texturales y estructurales del mismo.

Objetivos

General

- Determinar los cambios reológicos, texturales, estructurales y térmicos de queso tipo Manchego elaborado con leche de cabra en función de sus características composicionales y del perfil de ácidos grasos, con respecto a queso tipo Manchego elaborado con leche de vaca.

Particulares

- Caracterizar fisicoquímicamente (proteína, grasa, humedad, cenizas, sólidos totales y pH) quesos tipo Manchego elaborado con leche de cabra, así como muestras control elaborado con leche de vaca.
- Comparar las características texturales de quesos tipo Manchego elaborados con leche de cabra y quesos control elaborados con leche de vaca, mediante Análisis Instrumental de Perfil de Textura.
- Evaluar el efecto del tiempo de maduración de quesos tipo Manchego elaborados con leche de cabra sobre las propiedades reológicas y térmicas.
- Evaluar el cambio del arreglo microestructural generado por la leche de cabra en la elaboración de queso tipo Manchego en comparación con aquel elaborado con leche de vaca.
- Determinar el perfil de ácidos grasos en quesos tipo Manchego elaborados con leche de cabra.

CAPÍTULO II

Revisión de literatura

La importancia de las cabras como proveedores de alimentos esenciales en carne y productos lácteos alrededor del mundo, ha sido discutida y documentada en numerosos foros nacionales e internacionales. Esta importancia se debe al incremento en animales y en la producción de la leche en los últimos 20 años al ser comparados con otros animales de granja (FAO, 2013).

Las cabras poseen la capacidad para adaptarse a ambientes hostiles, lo cual le permite ser una fuente de leche y carne a bajo costo y alta calidad; factor que determina la propagación de la especie en todo el mundo (Paciovski et al., (2015). Al igual que otras especies lecheras, la composición de la leche de cabra depende de ciertos factores como raza, características individuales, estado de lactación, manejo, clima y composición de su alimento (Vega et al., 2007).

Se estima que de la población mundial total de cabras existentes, éstas se encuentran distribuidas de la siguiente manera: 55.4% en Asia, 29.8% en África, 7.3% en Sudamérica, 4.4% en Europa, 3% en Norte y Centroamérica, 0.1% en las Islas del Pacífico. Los países con mayores poblaciones son China con el 20.61 % de la población mundial, India con el 17.08 %, Pakistán con el 6.58 %, Sudán con el 5.25 %, México representa el 1.33 % del total de la población mundial del ganado caprino. La mayor parte de la producción es consumida por el propio criador; por lo que las cabras juegan un papel de subsistencia mucho mayor que las especies bovina y ovina (Arechiga et al., 2008).

Actualmente se ha despertado el interés en la generación de productos derivados de leche de cabra, debido al potencial que tienen sus productos como resultado de las propiedades nutricionales, y por otro lado se presenta como una actividad dinamizadora de las economías regionales (Oliszewski et al., 2002).

Situación mundial de la leche de cabra

La industrialización de los productos lácteos es uno de los sectores agroindustriales más representativos y en constante crecimiento. Sin embargo el sector es dominado por aquellos derivados de la leche de vaca, mientras que otras fuentes como la de cabra están limitadas al sector artesanal con reducidas cadenas de distribución y venta. Debido a su característico sabor y olor genera prejuicios entre los consumidores, además de que se suelen desconocer sus propiedades y por ello tiene poca disponibilidad en el mercado (Chacón & Pineda, 2009).

A nivel mundial se estima una cantidad de 875,5 millones de cabras, representadas con más de 200 razas, de las cuales alrededor del 63 % son para la producción de leche, el 27 % para la producción de carne y solo alrededor del 5 % para la producción de lana (FAOSTAT, 2011).

De acuerdo con la FAOSTAT (2012), la leche de cabra representó el 2.4 % de la producción mundial de leche hasta 2010. India es el principal productor de leche de cabra con el 30 %, seguida de Bangladesh con 17 % y Sudán con 11 % (Wijesinha-Bettoni y Burlingame, 2013). Se ha informado que el consumo de leche de cabra en los hogares es muy alto: las cabras son los principales proveedores de productos lácteos y cárnicos para las poblaciones rurales (Haenlein, 2004). La crianza de cabras lecheras ha sido importante para las economías de algunos países mediterráneos (Boyazoglu et al., 2005) debido al interés en la producción de derivados lácteos elaborados con leche de cabra, como los quesos y el yogur (Haenlein, 2004).

Situación nacional de la leche de cabra

En México, según reportes del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), existen aproximadamente 13 876 000 millones de cabras; los sistemas donde se explotan son variados, en general, dominan los extensivos (70 % de la población); son pocos los sistemas tecnificados, que tan sólo representan el 25 % de la población nacional (Arechiga et al., 2008),

localizados en el bajo y la zona de la Laguna. Los principales estados productores de leche son Coahuila, Durango y Guanajuato; en los cuales, la mayoría de las explotaciones, tienen como objetivo principal la producción de leche para la fabricación de quesos y dulces. Dichos estados representan el 73 % del total de la producción nacional; los Estados como Jalisco, Chihuahua y Zacatecas aportan 12 % de la producción nacional.

La leche de cabra ocupa la segunda posición en la producción nacional, la mayoría es utilizada para elaborar subproductos como queso y cajeta (Silva et al., 2010).

La caprinocultura en nuestro país se realiza principalmente como una actividad familiar complementaria a otras actividades agropecuarias y de otro tipo, representando solo una parte del sustento familiar (Núñez, 2010).

La ganadería caprina aún tiene rezagos tecnológicos y falta de sanidad en ciertos puntos, lo cual aunado a la falta de organización e integración por parte de los productores no le ha permitido tener un avance a gran escala (Silva et al., 2010).

Composición de la leche de cabra

La composición de la leche de cabra difiere en ciertos aspectos fundamentales de las demás leches de origen pecuario; sin embargo, los niveles de producción y el grado de tecnificación del sector caprinocultor, así como la pobre cultura de consumo de sus productos, no han permitido un desarrollo significativo de la industria láctea caprina (Bedoya et al., 2011).

El conocimiento de los componentes de la leche de cabra es fundamental para el desarrollo de la industria caprina, ya que finalmente de la calidad nutricional que tenga el producto, dependerán en gran medida el rendimiento, la productividad y la aceptación por parte del consumidor (Bedoya et al., 2011).

Cuadro 1. Composición química promedio en leche de distintas especies.

Componente	Cabra	Vaca	Oveja
Grasa (g/L)	30 – 72	33 – 54	50 – 90
Proteínas (g/L)	30 – 52	30 – 39	45 – 70
Lactosa (g/L)	32 – 50	44 – 56	41 – 59
Cenizas (g/L)	7 – 9	7 – 8	8 – 10
Energía (kJ/L)	2802 – 2894	2709 – 2843	4038 – 4439
Triglicéridos (%)	97.32	98.3	98.11
Diglicéridos (%)	1.89	0.3	1.45
Monoglicéridos (%)	0.1	0.03	0.03
Fosfolípidos (%)	0.65	0.8	0.38
Esteroles (%)	0.36	0.3	0.3
Ácidos grasos (g/100 g de grasa)			
Butírico (C4:0)	2.43	3.9	17.4
Caproico (C6:0)	2.71	2.5	---
Caprílico (C8:0)	2.95	1.5	---
Cáprico (C10:0)	11.09	3.2	---
Laúrico (C12:0)	5.26	3.6	20.1
Mirístico (C14:0)	10.35	11.1	---
Palmítico (C16:0)	32.57	27.9	33.2
Esteárico (C18:0)	5.08	12.2	7.2
Oleico (C18:1)	15.11	21.1	11.8
Linoleico (C18:2)	1.69	1.4	3.16
Linolénico (C18:3)	0.14	1.0	0.14

Fuente: Claeys et al. (2014); Marin et al. (2011); Maurice-Van Eijndhoven et al. (2011); Abbeddou et al. (2011); Rodríguez-Alcalá & Fontecha (2010); Park et al. (2007); Walstra & Jenness (1984).

La composición de la leche de cabra es diferente a la del ganado ovino y bovino (Cuadro 1), pero puede variar por múltiples factores como el tipo de alimentación, medioambiente, manejo, sistema productivo, etapa de lactancia e, inclusive, estado sanitario de los animales, entre otros (Park, 2006). Sin

embargo, el estudio de cada componente y el conocimiento de los valores promedio de cada uno de ellos permiten una mejor comprensión alrededor de la producción de leche caprina.

El componente lipídico es reconocido como el más importante de la leche en términos de costo, de nutrición y de características físicas y sensoriales del producto. Dentro del componente lipídico, los triglicéridos representan cerca del 98%, aunque, en la leche de cabra también se encuentran lípidos simples como los diacilglicerol y los ésteres de colesterol, además de fosfolípidos y compuestos liposolubles como los esteroides y el colesterol (Cuadro 1) (Park, 2006).

Los lípidos en la leche de cabra se encuentran de manera abundante en forma de glóbulos con un tamaño menor a 3 μm , lo cual permite una mayor digestibilidad y una mayor eficiencia en el metabolismo lipídico comparado con la leche de vaca (Haenlein, 2004); en este sentido la grasa de la leche caprina no contiene aglutinina, que es una proteína encargada de concentrar los glóbulos grasos para generar estructuras más complejas y de mayores dimensiones; por esta razón los glóbulos permanecen dispersos y pueden ser atacados más fácilmente por las enzimas digestivas (Rodden, 2004).

La leche de cabra es de color blanco, carece de carotenos y posee glóbulos grasos de tamaño pequeño. Presenta un sabor muy característico debido a los ácidos grasos (Cuadro 1), como el cáprico, capróico y caprílico (Park et al., 2007).

Propiedades texturales en quesos

Para el consumidor, la textura juega un papel importante en términos de inferir la calidad de un alimento. Particularmente en queso, la textura es uno de los atributos más importantes que determinan la identidad y calidad del mismo (Bourne, 2002).

Los distintos tipos de queso presentan una estructura única, de igual manera con las características de sabor; determinando, en parte, su calidad y aceptabilidad del consumidor (Inocente et al, 2002; Wium et al., 2002). Tanto el sabor como la textura están relacionados con el contenido de grasa y proteína presentes en el queso (Lobato-Calleros et al., 2009).

La textura es una propiedad del alimento, el cual se puede medir de diferentes maneras, una de ellas es mediante el texturómetro en el que se expresa atributos de tipo mecánico que se presentan al momento de someter un queso a una presión determinada, lo que asemeja la fuerza de la masticación (Pinho et al., 2004).

Dentro de los métodos instrumentales para definir la textura de los quesos, uno de los más utilizados es el análisis de perfil de textura; el alimento por caracterizar texturalmente es sujeto a una doble compresión, dos ciclos, obteniéndose una gráfica de dos picos a partir de la cual se pueden determinar sus características texturales (cinco medidos y dos calculados) (Bourne, 1978).

La velocidad de compresión y de descompresión de la muestra está relacionada con la velocidad de su ruptura. Al incrementar el diámetro de la sonda, aumenta la magnitud de compresión por unidad de área de contacto con el alimento, y así también su valor de adhesividad (Jones y Woolfson, 1998).

Durante el análisis de perfil de textura, se obtiene una gráfica denominada curva fuerza-tiempo (Figura 1) donde se observa que la fuerza aumenta hasta que ocurre un rompimiento en la estructura del material que está siendo analizado, marcado por una caída en la magnitud de la fuerza. La altura de este pico representa la fragilidad (Szczesniak, 1998).

El rompimiento del material continúa con un incremento de fuerza, hasta que termina el recorrido de la primera compresión y comienza el retorno. La máxima altura de esta parte corresponde a la dureza de la muestra. Con el retorno, la fuerza disminuye rápidamente a cero. A partir de este punto comienza el segundo ciclo de compresión. La primera sección transcurre a fuerza cero

porque el producto no se recupera totalmente, cuando la placa entra en contacto por segunda vez con el alimento, la fuerza se eleva de nuevo en una curva continua hasta que el recorrido se completa y comienza de nuevo el retorno (Szczesniak, 1998).

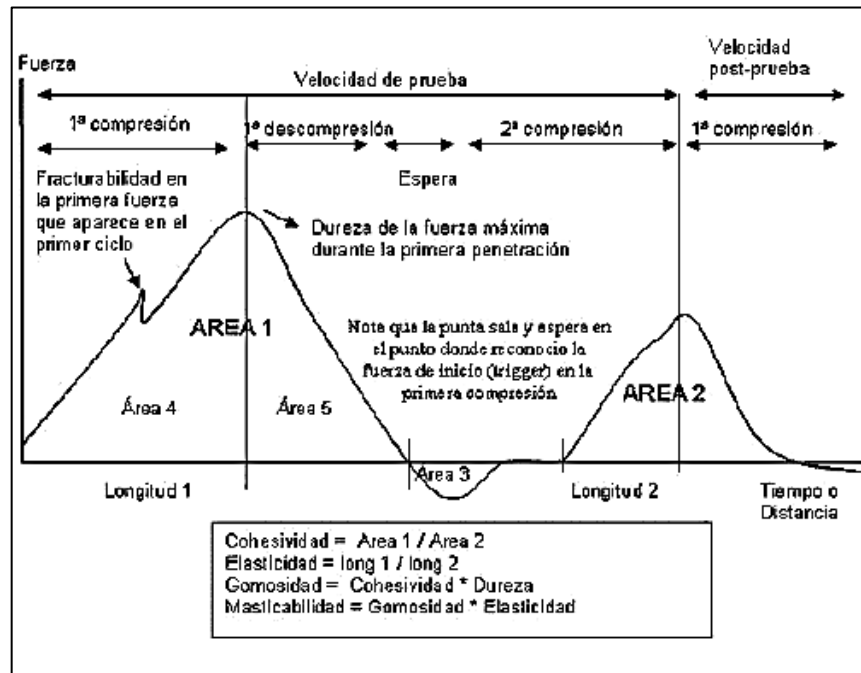


Figura 1. Curva fuerza-tiempo del Análisis del Perfil de Textura (**Fuente:** *Texture Technologies*, 2002).

La recuperación entre el primero y el segundo ciclo es una medida de la elasticidad ($\text{longitud}_2 / \text{longitud}_1$). La cohesividad es la relación de las áreas de trabajo efectuado por la máquina en el segundo y primero ciclo (cohesividad = $\text{Área } 2 / \text{Área } 1$). La gomosidad es igual a la dureza por la cohesividad y es una función de fuerza. Masticabilidad es igual a la dureza por la cohesividad por la elasticidad y es una función de trabajo (Szczesniak, 1998).

La dureza es el atributo de textura mecánico más importante en los alimentos, entre ellos el queso; junto con el sabor y la apariencia, constituyen las características en las que el consumidor basa su decisión. En cuanto a los demás parámetros de textura, por lo general determinan el estado reológico que predomina en el alimento (Torres et al., 2014).

La textura de los distintos quesos es diferente; sin embargo, los factores o componentes que determinan sus cambios son básicamente los mismos. Los principales componentes del queso como proteínas, grasa y agua, así como la interacción de dichos componentes, afectarán las características texturales, de composición, el proceso de elaboración, la proteólisis durante la maduración y la distribución de la grasa (Floury et al., 2009).

Guzmán et al. (2015) evaluaron las propiedades mecánicas de dos tipos de queso pasteurizado de leche de vaca y de cabra, determinando el efecto de la variación de factores como el contenido de grasa y los tiempos de almacenamiento, mediante el perfil de textura; demostrando que los quesos de cabra presentan mayor adhesividad, cohesividad y elasticidad con respecto a los quesos de vaca debido a las variaciones del componente graso.

Lobato-Calleros et al. (2009) analizaron y compararon las características texturales de queso tipo Panela bajo en grasa y colesterol con otro queso completo en grasa a fin de detectar diferencias considerables en los parámetros texturales.

En otra investigación, realizada por Gutiérrez et al. (2013), compararon las características texturales entre queso fresco y Chihuahua debido a la adición o modificación de ingredientes, encontrando características similares.

Uno de los componentes que proporciona las diferencias en los análisis de textura en quesos, es el tiempo de maduración, ya que modifica la dureza, continuando con la adhesividad y la cohesividad (Torres et al., 2014). Ejemplo de ello es la investigación realizada por Osorio et al. (2004) ya que los resultados obtenidos en su trabajo sobre caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam indicaron que los parámetros texturales tales como la dureza, cohesividad, adhesividad y masticabilidad son dependientes del tiempo de maduración del producto.

Propiedades reológicas en quesos

Otro aspecto importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico. De manera general, se puede definir a la reología como el estudio de la deformación y flujo de los materiales (Rao, 2007). La reología contemporánea se enfoca más en el comportamiento de los materiales con propiedades intermedias entre las de los sólidos ideales y los líquidos ideales (Doraiswamy, 2002), es decir, las propiedades viscoelásticas.

En el sector agroindustrial, existen diversas áreas donde el conocimiento de información provista por la reología se hace indispensable. A continuación se mencionan las principales áreas (Ivana, 2013):

- Diseño de plantas: selección y diseño de cañerías y bombas, determinación de la transferencia de masa y energía, diseño de equipos de llenado, extrusores, homogeneizadores, etc.
- Control de calidad: de las materias primas y de los productos en diferentes etapas del proceso.
- Evaluación sensorial de atributos: mediciones cuantitativas que permiten correlacionar los atributos cualitativos señalados por los consumidores en los ensayos sensoriales. Los datos reológicos pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de textura del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores.
- Estudio de la estructura de los alimentos: los estudios reológicos pueden aportarnos información que facilite una mejor comprensión de la estructura o de la distribución de los componentes moleculares de los alimentos, especialmente de los componentes macromoleculares, así como para predecir los cambios estructurales durante los procesos de acondicionamiento y elaboración a los que son sometidos.

La determinación de las distintas propiedades reológicas es una actividad no estática debido a los distintos componentes de los alimentos, sus cambios y reacciones que llevan a cabo al interior de ellos (McCarthy et al., 2006).

El análisis de las características reológicas en queso, es importante para la evaluación de su consistencia y estabilidad; proporcionando también información sobre la estructura del producto (Veiga et al., 2000).

De acuerdo con Osorio et al. (2005), 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.

Así mismo, Crosa et al. (2005), realizaron estudios acerca de los cambios reológicos que ocurren en queso Colonia durante la etapa de maduración, encontrando que a determinado momento ocurre una disminución significativa de la dureza y elasticidad del mismo; dándole las características propias de dicho queso.

O'Callaghan y Guinee (2004), mencionan que las propiedades reológicas incluyen características intrínsecas tales como elasticidad, viscosidad y viscoelasticidad que se relaciona principalmente con la composición, estructura y la fuerza de atracción entre los elementos estructurales del queso.

También, Lobato-Calleros et al. (2008) encontraron que el comportamiento reológico del queso Oaxaca es predominantemente elástico debido a la variación del tipo de acidificación en su elaboración y el tipo de leche utilizada (cruda o pasteurizada).

Estudio de la microestructura en quesos

El estudio de los cambios en la microestructura del queso durante la maduración proporciona información importante sobre la textura y la modificación o reacomodo de los componentes del propio queso (Aminifar et al, 2010).

La disposición de partículas de caseína, glóbulos grasos, agua dispersa y componentes minerales en la escala de micras se conoce como la microestructura del queso (Ong et al., 2011).

La microestructura no es un concepto estático; pero evoluciona a lo largo de los pasos de procesamiento del queso (Pereira et al., 2009). Además, la microestructura del queso afecta significativamente las características de procesamiento del producto final, el sabor y también las propiedades de textura (Noronha et al., 2008). Cada variedad de queso tiene características estructurales diferentes que representan los cambios químicos y bioquímicos en el queso (Madadlou et al., 2005).

Existe estrecha relación entre la microestructura del queso y su reología, ambas propiedades están determinadas por la composición química del queso en estudio. El análisis de microestructura es útil cuando se desea evaluar el efecto de diferentes ingredientes en la formulación o en el uso de alguna tecnología de procesado y conservación (Buffa et al., 2004).

La microestructura es uno de los principales factores que controlan la textura y las propiedades funcionales del queso (Joshi et al., 2004), debido a la disposición de sus componentes (proteínas, grasa y contenido de humedad).

La microestructura en quesos ha sido ampliamente estudiada; se han hecho publicaciones científicas con relación a: los métodos actuales de análisis de la microestructura en quesos (Everett & Auty, 2008); las técnicas de análisis de imagen empleadas para el estudio de la microestructura de los alimentos (Falcone et al., 2006) y también, implicaciones tecnológicas y microbiológicas de la microestructura de los quesos (Pereira et al., 2009).

El estudio microscópico de la conformación estructural de los alimentos se ha realizado por una gran variedad de técnicas, una de ellas la microscopia electrónica. Dentro de esta técnica destacan el empleo de la microscopia electrónica de transmisión (TEM), la microscopia electrónica de barrido (SEM) y la microscopia de barrido laser confocal (CSLM); cada una de ellas permite el

estudio de diferentes características de la microestructura en quesos, afectados por factores como el proceso de producción o la etapa de maduración (Rovira et al., 2011).

Autores como Karaman et al. (2012) y Madadlou et al. (2006) han centrado sus investigaciones en la aplicación de SEM para el estudio de los componentes grasos incluidos en la matriz proteica del queso.

En el queso, el análisis de microestructura también se ha utilizado principalmente para observar la distribución de los glóbulos de grasa y micelas de proteína (Lobato-Calleros et al., 2007; Cunha et al., 2010), para evaluar el efecto de procesos enzimáticos, proteólisis y lipólisis, durante la maduración (Karami et al., 2009) o por acción microbiana (Pereira et al., 2009), el efecto del procesamiento térmico de la leche (Morales-Celaya et al., 2012), entre otros.

Karaman et al. (2012) realizaron estudios sobre la influencia de la homogenización y el contenido de grasa de la crema en las propiedades microestructurales del queso Turco blanco, encontrando diferencias estructurales.

Madadlou et al. (2005), por su parte, emplearon la técnica de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) para analizar las diferencias en la microestructura derivadas del aumento en el contenido de grasa en queso blanco Iraní, identificando que dicho contenido genera características diferentes en composición y estructura del propio queso.

Aryana et al. (2001) utilizaron SEM para determinar la influencia de la maduración de los quesos en la microestructura de los mismos.

Propiedades térmicas en quesos

El análisis térmico se ha utilizado durante muchos años para caracterizar polímeros sintéticos. Sin embargo, hay un interés creciente en el uso del análisis térmico en alimentos y bebidas, por ejemplo, para la detección de pérdida de agua, de desnaturalización de proteínas, de cristalización de

almidón, de propiedades termofísicas (calor específico, entalpía, conductividad térmica, difusividad, temperatura de transición de fase, etc.), y para el diseño de nuevos procesos, como el secado por pulverización y la extrusión (Pustjens et al., 2016). El análisis también ayuda a determinar y mejorar la calidad, seguridad y estabilidad de los alimentos procesados (Yildiz & Unluturk, 2009).

En muchos quesos, principalmente Mozzarella, queso Cheddar y otros, las características de fundido son factores primarios en la determinación de la calidad para aplicaciones en productos particulares. Por lo tanto, los métodos para la evaluación objetiva de los patrones de fusión y resolidificación se han vuelto indispensables tanto para la industria láctea como para la variedad de otras industrias que utilizan queso fundido en sus productos (por ejemplo, pizzas y comidas congeladas preparadas) (Park et al., 1984).

El principal problema en la determinación objetiva de los atributos comúnmente referidos dentro de la "capacidad de fundido", es que están relacionados con las características de transferencia de calor y de cambio de fase térmica del queso sólido y con las propiedades reológicas o de flujo de la masa fundida. Aunque ambos están determinados por la composición del queso y la microestructura, su estudio se complica por el hecho de que son propiedades altamente interdependientes y transitorias. Una dificultad adicional en la evaluación objetiva de la capacidad de fundido es que en un tipo particular de queso fundido siempre hay gradientes de temperatura que se determinan no sólo por las propiedades térmicas del queso, sino también por la distribución de la temperatura externa, la humedad relativa del horno y la geometría del sistema (Park et al., 1984).

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es muy adecuada para investigar las propiedades térmicas de la grasa presente en el queso. En cuanto a la caseína, ésta no muestra transiciones térmicas en los intervalos de temperatura. Por lo tanto, la grasa es el único componente visible en una curva DSC de queso si la muestra se seca antes del análisis. El perfil térmico

resultante proporciona el punto de fusión y el calor de fusión de la grasa que contiene la muestra (Tunick, 1994).

Debido a que las transiciones de fase debidas al efecto de la temperatura en la fusión de la grasa afectarán la cinética de pérdida de agua, es importante conocer los perfiles de fusión de la grasa para un producto con grasa, en particular el queso. Para ello, la calorimetría de barrido diferencial (DSC) se ha utilizado ampliamente para caracterizar la transición de fase en los materiales alimentarios (Sablani et al., 2007).

Tunick (1994), examinó los efectos de la homogeneización en la leche para la elaboración del queso, así como la proteólisis en este producto sobre la formación y las propiedades térmicas del aceite libre en queso Mozzarella. Además, López et al. (2006) estudiaron las propiedades térmicas de la fase grasa dispersada en queso Emmental en función del tiempo y la temperatura durante las etapas de fabricación y maduración. En cuanto que Gliguem et al. (2009), estudiaron los comportamientos estructurales y térmicos de la fracción de grasa en queso procesado, relacionando dichos comportamientos con sus propiedades reológicas. Otra investigación fue realizada por Marschoun et al. (2001), en la que midieron las propiedades térmicas del queso Cheddar en función de la composición y la edad del mismo.

Pollard et al. (2003) utilizaron la técnica DSC para monitorear los cambios en las propiedades térmicas, derivados de los cambios en la composición química y/o estructura en queso Cheddar durante la maduración. Famelart et al. (2002) y Michalski et al. (2004), a su vez, usaron también DSC para investigar el comportamiento de fusión del queso Emmental.

Por otra parte, Schäffer et al. (2001) realizaron estudios en las que compararon la microestructura y la estabilidad térmica en quesos con dos procesos: con y sin peptización; encontrando diferencias notables en los cambios entálpicos durante la desintegración de la estructura de los quesos analizados.

Un estudio interesante fue el realizado por Liu et al. (2008) en la que determinaron los efectos de la adición de pectina en la composición física en quesos análogos bajos en grasa, analizando sus propiedades reológicas y térmicas. Encontraron que las entalpías de fusión en las muestras de quesos adicionados con pectina disminuyeron, debido al cambio estructural originado por la interacción grasa-proteína-pectina.

Finalmente algunos autores como Herman-Lara et al. (2017), han evaluado el uso de DSC como un método viable para detectar la adulteración de queso fresco por la adición de grasa vegetal.

Literatura citada

- Abbeddou, S., Rischkowsky, B., Richter, E. K., Hess, H. D., Kreuzer, M. (2011). Modification of milk fatty acid composition by feeding forages and agro-industrial byproducts from dry areas to Awassi sheep. *Journal of Dairy Science*, 94, 4657–4668. doi: 10.3168/jds.2011-4154.
- Aminifar, M., Hamed, M., Emam-Djomeh, Z., Mehdinia, A. (2010). Microstructural, compositional and textural properties during ripening of lighvan cheese, a traditional raw sheep cheese. *Journal of Texture Studies*, 41, 579–593. doi: 10.1111/j.1745-4603.2010.00244.x.
- Arbiza, A. I. S., De Lucas, T. J. (2001). La leche caprina y su producción. Editores Mexicanos Unidos S. A. México.
- Arechiga, C. F., Aguilera, J. C., Rincón, R. M., Méndez de Lara, S., Buñuelos, V. R., Meza-Herrera, C. A. (2008). Roll and perspectives of goat production in a global world. A review. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 9, 1-4.
- Aryana, K. J., Haque, U. Z. (2001). Microstructure of Jarlsberg type and Edam cheeses as influenced by maturation. *Journal of Food Quality*, 24, 337-350. doi: 10.1111/j.1745-4557.2001.tb00613.x.
- Bedoya, M. O., Rosero, N. R., Posada, S. (2011). Composición de la leche de cabra y factores nutricionales que afectan el contenido de sus componentes. Desarrollo y Transversalidad. *Serie Lasallista Investigación y Ciencia. ResearchGate*. 94 pp.
- Bourne, M. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology*, 42(7), 62-66.
- Bourne, M. C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. 2ª Edición. Academic Press. San Diego California, EE. UU. 427 pp.
- Buffa, M. N., Guamis, B., Saldo, J., Trujillo, A. J. (2004). Changes in organic acids during ripening of cheese made from raw, pasteurized or high-

pressure treated goat's milk. *LWT- Food Science and Technology*, 37(2), 247-253. doi:10.1016/j.lwt.2003.08.006.

Chacón-Villalobos, A., Pineda, C. M. L. (2009). Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo "Crottin de Chavignol". *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 297-309.

Claeys, L. W., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., Dewettinck, K., Herman, L. (2014). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188–201. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.01.045.

Crosa, M. J., Harispe, R., Márquez, R., Pelaggio, R., Repiso, L., Silvera, C. (2008). Cambios reológicos del queso Colonia durante el proceso de maduración. *Tecnología Alimentaria. Publicación Anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay N° 3, INN-TEC-55*.

Cunha, C. R., Dias, A. I., Viotto, W. H. (2010). Microstructure, texture, color and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International*, 43(3), 723-729. doi:10.1016/j.foodres.2009.11.009.

Diezhandino, I., Fernández, D., Sacristán, N., Combarros-Fuertes, P., Prieto, B., Fresno, J. M. (2015). Rheological, textural, colour and sensory characteristics of a Spanish blue cheese (Valdeón cheese). *LWT - Food Science and Technology*, 65, 118-1125. doi: 10.1016/j.lwt.2015.10.003.

Doraiswamy, D. (2002). The origins of rheology: a short historical excursion. *Rheology Bulletin*, 71, 7–17.

Esteban-Torres, M., Santamaría, L., de las Rivas, B., Muñoz, R. (2014) Characterisation of a cold-active and salt-tolerant esterase from *Lactobacillus plantarum* with potential application during cheese ripening.

International Dairy Journal, 39(2), 312–315. doi: 10.1016/j.idairyj.2014.08.004.

Everett, D. W., Auty, M. A. E. (2008). Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal*, 18(7), 759-773. doi:10.1016/j.idairyj.2008.03.012.

Falcone, P. M., Baiano, A., Conte, A., Mancini, L., Tromba, G., Zanini, F., Del Nobile, M. A. (2006). Imaging Techniques for the Study of Food Microstructure: A Review. *Advances in Food and Nutrition Research*, 51, 205-263. doi: 10.1016/S1043-4526(06)51004-6.

Famelart, M. H., Graet, Y. L., Michel, F., Richoux, R., Riaublanc, A. (2002). Evaluation des méthodes d'appréciation des propriétés fonctionnelles des fromages d'Emmental de l'ouest de la France. *Lait*, 82(2), 225–245. doi: 10.1051/lait:2002006.

FAO (2013). FAO statistical yearbook World Food and Agriculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 145 pp.*

FAOSTAT. (2011). Reporte anual. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.*

FAOSTAT. (2012). Reporte anual. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.*

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. doi:10.1016/j.lwt.2009.05.026.

Gliguem, H., Ghorbel, D., López, C., Michon, C., Ollivon, M., Lesieur, P. (2009). Crystallization and polymorphism of triacylglycerols contribute to the

- rheological properties of processed cheese. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 3195–3203. doi: 10.1021/jf802956b.
- Gordon, M. H. (2013). Chapter 4: Milk Lipids. *In: Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health, First Edition. Edited by Young W. Park and George F.W. Haenlein.*
- Guerra-Martínez, J. A., Montejano, J. G., Martín-del-Campo, S. T. (2012). Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CyTA - Journal of Food*, 10(4), 296–305. doi: 10.1080/19476337.2011.653791.
- Gutiérrez, M. N., Trancoso, R. N., Leal, R. M. Y. (2013). Texture profile analysis of Fresh cheese and Chihuahua cheese using miniature cheese models. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 7(2).
- Guzmán, C. L. E., Tejada, T. C., De la Ossa, M. Y. J., Rivera, R. C. A. (2015). Análisis comparativo de perfiles de textura de quesos frescos de leche de cabra y vaca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 139-147.
- Haenlein, G. (2004). Goat milk in human nutrition. *In: Small Ruminant Research*, 51(2), 154–163. doi:10.1016/j.smallrumres.2003.08.010.
- Herman-Lara, E., Tejeda-Paz, M., Martínez-Sánchez, C. E., Rodríguez-Miranda, J., Ramírez-Rivera, E. J., Hernández-Santos, B., Juárez-Barrientos, J. M. (2017). Differential scanning calorimetry coupled with chemometric tools for determining adulteration with vegetable fat in fresh cheeses. *LWT-Food Science and Technology*, 85(A), 269-274. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.036.
- Inocente, N., Pittia, P., Stefanuto, O., Corradini, C. (2002). Correlation among instrumental texture, chemical composition and presence of characteristic

holes in a semi-hard Italian cheese. *Milchwissenschaft*, 57(4), 204-207.
<http://hdl.handle.net/11575/1344>.

Ivana, C. M. (2013). Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia hispanica* L.) aplicación en tecnología de alimentos. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata.

Jones, S., Woolfson, A., (1998). Measuring Sensory properties of semi-solid products using texture profile analysis. *Pharmaceutical Manufacturing Review*, 9(1).

Joshi, N. S., Muthukumarappan, K., Dave, R. I. (2004). Effect of calcium on microstructure and meltability of part skim Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 1975–1985. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70014-4.

Karaman, A. D., Benli, M., Akalin, A. S. (2012). Microstructure of industrially produced reduced and low fat Turkish White cheese as influenced by the homogenization of cream. *Grasas y aceites*, 63(3), 267-273.

Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K., Safari, M. (2009). Microstructural properties of fat during the accelerated ripening of ultrafiltered-Feta cheese. *Food Chemistry*, 113(2), 424-434. doi:10.1016/j.foodchem.2008.07.104.

Kim, L. S., Anema, S., Klostermeyer, H. (2004). The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 763–771. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.00842.x.

Liu, H., Ming, X. X., Dong, G. S. (2008). Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *Journal of Food Science and Technology*, 43, 1581–1592. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x.

- Lobato-Calleros, C., Lozano-Castañeda, I., Vernon-Carter, E. J. (2009). Textura y microestructura de quesos tipo Panela bajos en grasa y en colesterol: diferentes metodologías. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(1), 39-48.
- Lobato-Calleros, C., Morales-Celaya, M. F., Santos-Moreno, A., Vernon-Carter, E. J. (2008). Microestructura y comportamiento reológico de queso Oaxaca: efecto del tipo de acidificación y pasteurización. *V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. CIMNE, España*.
- Lobato-Calleros, C., Reyes-Hernández, J., Beristain, C. I., Hornelas-Urbe, Y., Sánchez-García, J. E., Vernon-Carter, E. J. (2007). Microstructure and texture of white fresh cheese made with canola oil and whey protein concentrate in partial or total replacement of milk fat. *Food Research International*, 40(2007), 529-537. doi:10.1016/j.foodres.2006.10.011.
- López, C.; Briard-Bion, V., Camier, B., Gassi, J. Y. (2006). Milk fat thermal properties and solid fat content in Emmental cheese: a differential scanning calorimetry study. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 2894-2910. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72562-0
- Luna, P., Fontecha, J., Juárez, M., de la Fuente, M. A. (2005). Lipids.
- Madadlou, A., Khosroshahi, A., Mousavi, M. E. (2005). Rheology, microstructure and functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet. *Journal of Dairy Science*, 88(9), 3052-3062. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72986-6.
- Madadlou, A., Khosroshahi, A., Mousavi, M. E., Djome, Z. E. (2006). Microstructure and rheological properties of Iranian White cheese coagulated at various temperatures. *Journal of Dairy Science*, 89, 2359-2364. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72308-6.
- Marin, A. L. M., Gómez-Cortes, P., Castro, A. G. G., Juárez, M., Alba, L. M. P., Hernández, M. P. de la Fuente, M. A. (2011). Animal, performance and milk fatty acid profile of dairy goats fed diets with different unsaturated

- plant oils. *Journal of Dairy Science*, 94, 5359–5368. doi: 10.3168/jds.2011-4569.
- Marschoun, L. T., Muthukumarappan, K., Gunasekaran, S. (2001). Thermal properties of Cheddar cheese: Experimental and modeling. *International Journal of Food Properties*, 4(3), 383-403. doi: 10.1081/JFP-100108644.
- Maurice-Van Eijndhoven, M. H. T., Hiemstra, S. J., Calus, M. P. L. (2011). Short communication: milk fat composition of 4 cattle breeds in the Netherlands. *Journal of Dairy Science*, 94, 1021–1025. doi: 10.3168/jds.2009-3018.
- McCarthy, M. J., Choi, Y. J., Goloshevsky, A. G., De Ropp, J. S., Collins, S. D., Walton, J. H. (2006). Measurement of fluid food viscosity using microfabricated radio frequency coils. *Journal of Texture Studies*, 37(2006), 607–619. doi: 10.1111/j.1745-4603.2006.00073.x.
- Mc Donald, P., Edward, A. R., Greenhalgh, D. F. J., Morgan, A. C. (1995). *Nutrición Animal*. Acribia S. A. Ed. Quinta. España.
- Michalski, M. C., Camier, B., Briard, V., Leconte, N., Gassi, J. Y., Goudédranche H.; Michel F.; Fauquant J. (2004). The size of native milk fat globules affects physico-chemical and functional properties of Emmental cheese. *Lait*, 84, 343–358. doi: 10.1051/lait:2004012.
- Morales-Celaya, M. F., Lobato-Calleros, C., Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J. (2012). Effect of milk pasteurization and acidification method on the chemical composition and Microstructure of a Mexican pasta filata cheese. *LWT- Food Science and Technology*, 45(2), 132-141. doi:10.1016/j.lwt.2011.08.015.
- Nájera-Domínguez, C., Gutiérrez-Méndez, N., Aguirre-Gardea, K., Peralta-Bolivar, A., Chavez-Garay, D. R., Leal-Ramos, M. Y. (2014). Texture properties of miniature chihuahua-type cheese manufactured with different strains of *lactococcus lactis* isolated from plants and raw milk cheese. *Journal of Texture Studies*, 45, 487–494. doi:10.1111/jtxs.12092.

- Noronha, N., Duggan, E., Ziegler, G. R., Stapleton, J. J., O'riordan, E. D., O'sullivan, M. (2008). Comparison of microscopy techniques for the examination of the microstructure of starch-containing imitation cheeses. *Food Research International*, 41(5), 472-479. doi: 10.1016/j.foodres.2008.02.008.
- Núñez, S. M. (2010). La industria de la leche y carne de cabra en México. Tesis Licenciatura, Material Educativo. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco.
- O'Callaghan, D. J., Guinee, T. P. (2004). Rheology and Texture of Cheese. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 1, 511-540.
- Oliszewski, R., Rabasa, A., Fernández, J., Poli, M., Núñez de Kairúz, M. (2002). Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. *Zootechnia Tropical*, 20(2), 179-189.
- Olivares, M. L., Zorrilla, S. E., Rubiolo, A. C. (2009). Rheological properties of mozzarella cheese determined by creep/recovery tests: effect of sampling direction, test temperature and ripening time. *Journal of Texture Studies*, 40(2009), 300–318. doi: 10.1111/j.1745-4603.2009.00183.x.
- Ong, L., Dagastine, R. R., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2011). Microstructure of milk gel and cheese curd observed using cryo scanning electron microscopy and confocal microscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 44(5), 1291-1302. doi: 10.1016/j.lwt.2010.12.026.
- Osorio, J. F., Ciro, V. H., Mejía, L. G. (2004). Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(1), 2269-2278.
- Osorio, J. F., Ciro, V. H., Mejía, L. G. (2005). Caracterización reológica y textural del queso Edam. *Dyna*, 72(147), 33- 45.

- Pacinovski, N., Dimitrovska, G., Kucoski, L., Cilev, G., Menkovska, M., Petrovska, B., Pacinovski, A. (2015). Nutritive advantages of goat milk and possibilities of its production in republic of macedonia. *Macedonian Journal of Animal Science*, 5(2), 81–88.
- Park, Y. W. (2006). Goat milk- chemistry and nutrition. En: Park Y.W, Haenlein G.F.W. (Eds.), *Handbook of Milk of Non-bovine Mammals*. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa.
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 88–113. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.013.
- Park, J., Rosenau, J. R., Peleg, M. (1984). Comparison of Four Procedures of Cheese Meltability Evaluation. *Journal of Food Science*, 49, 1158-1162. doi: 10.1111/j.1365-2621.1984.tb10417.x.
- Pereira, C. I., Gomes, A. M. P., Malcata, F. J. (2009). Microstructure of cheese: Processing, technological and microbiological considerations. *Trends in Food Science and Technology*, 20(5), 213-219. doi: 10.1016/j.tifs.2009.02.006.
- Pinho, O. E., Mendes, M. M., Alves, I., Ferreira, M. (2004). Chemical, physical, and sensorial characteristics of “Terrincho” ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science*, 87(2), 249-257. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73163-X.
- Pollard, A., Sherkat, F., Seuret, M. G., Halmos, A. L. (2003). Textural Changes of Natural Cheddar Cheese During the Maturation Process. Institute of Food Technologists. *Journal of Food Science*, 68(6), 2011-2016. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb07010.x.
- Pustjens, M., Weesepeel, Y., Van, R. M. (2016). Food fraud and authenticity: emerging issues and future trends. In *Innovation and Future Trends in*

Food Manufacturing and Supply Chain Technologies, 1st ed.. *Edited by Leadley CE. 2016:3-20.*

Ramírez-López, C., Vélez-Ruiz, J. F. (2018). Effect of goat and cow milk ratios on the physicochemical, rheological, and sensory properties of a fresh Panela cheese. *Journal of Food Science*, 0(0). doi: 10.1111/1750-3841.14195.

Rao, M. A. (2007). Influence of food microstructure on food rheology. *In Understanding and Controlling the Microstructure of Complex Foods. D. McClements, ed. CRC Press. 411-424 pp.*

Rodden, D. (2004). Dairy goat composition. [En línea]. California, Estados Unidos. [Último acceso el 26 de febrero de 2019]. Disponible en <http://drinc.ucdavis.edu/html/milkg-1.shtml>.

Rodriguez-Alcala, L. M., Fontecha, J. (2010). Major lipid classes separation of buttermilk, and cows, goats and ewes milk by high performance liquid chromatography with an evaporative light scattering detector focused on the phospholipid fraction. *Journal of Chromatography A.*, 1217(18), 3063–3066. doi: 10.1016/j.chroma.2010.02.073.

Rovira, S., M. B. López, E. Ferrandini, and J. Laencina. (2011). Hot topic: microstructure quantification by scanning electron microscopy and image analysis of goat cheese curd. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1091–1097. doi: 10.3168/jds.2010-3996.

Sablani, S. S., Kasapis, S., Rahman, M. S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 266-271. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025.

Sadowska, J., Białobrzewski, I., Jeliński, T., Markowski, M. (2009). Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering*, 94(3-4), 254-259. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.03.015.

- Sapna, R., Sharmili, J. (2018). Acceleration of Swiss cheese ripening by microbial lipase without affecting its quality characteristics. *Journal Food Science Technology*, 56, 497-506. doi: 10.1007/s13197-018-3482-6.
- Schäffer, B., Szakály, S., Lőrinczy, D. (2001). Processed cheeses made with and without peptization: Submicroscopic structure and thermodynamic characteristics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 64, 671-679. doi: 10.1023/a:1011532009021.
- SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Dirección de Ganadería. [En línea]. Disponible en www.siap.gob.mx.
- Silva, H. E., Herrera L., Hernández, O. E., Cruz, H. C., Galán, M. F., Aquino, B. E., Verdalet, G. I. (2010). Productos no tradicionales de la leche de cabra: helados y yogurth. In: Primer foro sobre ganadería lechera de la zona alta de Veracruz. Veracruz, México. 11 p.
- Szczesniak, A. S. (1998). Objective measurements of food texture. *Journal of Food Science*, 28, 410-420.
- Torres, G. J. D., González, M. K. J., Acevedo, C. D. (2014). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista ReCiTeIA*. Cali, Colombia.
- Tunick, M. H. (1994). Effects of Homogenization and Proteolysis on Free Oil In Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2487-2493. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77190-3.
- Vega, S., Gutiérrez, R., Ramírez, A., González, M., Díaz-González, G., Salas, J., González, C., Coronado, M., Schettino, B., Alberti, A. (2007). Características físicas y químicas de leche de cabra de razas alpino francesa y saanen en épocas de lluvia y seca. *Revista Salud Animal*, 29(3), 160-166.

- Veiga, P. G., Cunha, R. L., Viotto, W. H., Petenate, A. J. (2000). Caracterizado química, reológica y aceptado sensorial del queso petit suisse brasileiro. *Food Science and Technology (Campinas)*, 20(3), 349-357.
- Wattiaux, M. (2005). Guía Técnica Lechera. Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera.
- Wijesinha-Bettoni, R., Burlingame, B. (2013). Milk and dairy product composition. Milk and Dairy products in human nutrition. *FAO, Rome, Italy*.
- Wium, H., Euston, S. R., & Qvist, K. B. (2002). Structure-texture relationships in model cheeses. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57(2), 97.
- Yildiz, O., Unluturk, S. (2009). Differential scanning calorimetry as a tool to detect antibiotic residues in ultra high temperature whole milk. *Journal Food Science Technology*, 44, 2577-2582. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02087.x.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS, TEXTURALES, ESTRUCTURALES Y TÉRMICAS EN QUESO TIPO MANCHEGO ELABORADO CON LECHE DE CABRA

Introducción

En las últimas décadas, el estudio de los quesos ha sido importante como parte de su caracterización al formar parte de productos de consumo frecuente en las poblaciones (Roest & Menghi, 2002). A nivel global, la importancia de la leche de cabra para su uso en la producción de queso se ha enfatizado, debido a los atributos sensoriales y contribuciones nutricionales que éste le confiere al producto terminado (Masotti et al., 2012). Ciertas propiedades de la leche de cabra son nutricionalmente superiores a las de la leche de vaca (Turkmen, 2017). En México, gran parte de la leche de cabra se comercializa sin pasteurizar, para la elaboración de dulces de diversos tipos y quesos que van desde quesos frescos tradicionales y regionales, hasta quesos de pastas lácticas y quesos madurados de pasta dura con calidad gourmet, que pueden alcanzar mejores precios por kilogramo en el mercado, respecto a los quesos frescos, siendo éste un factor primordial para seguir impulsando una industria que va en aumento debido a lo atractivo de su mercado (Andrade-Montemayor, 2017).

El queso es uno de los productos lácteos más populares y más antiguos. Es una fuente de valiosos nutrientes y minerales (Vásquez et al., 2018). El proceso de maduración es un paso crucial en la fabricación de quesos madurados, ya que permite que éste alcance su olor, sabor y textura característicos debido a la desnaturalización de proteínas, lípidos y carbohidratos (Darnay et al., 2018).

La microestructura del queso está influenciada por factores que incluyen las interacciones caseína-caseína, caseína-agua y caseína-grasa; la cantidad de agua unida a la matriz de caseína, el estado del ion calcio y el grado de proteólisis (Everett & Auty, 2017).

El análisis de la calidad del queso requiere una comprensión adecuada de la ubicación de los componentes del queso, su relación entre sí, y cómo éstos interactúan cambiando durante la maduración (Everett & Auty, 2017). Por ello, la información generada en cuanto a sus características composicionales, fisicoquímicas, texturales y microestructurales es muy útil, ya que nos permiten en mayor grado, la caracterización y diferenciación de las distintas variedades de quesos (Guerra-Martínez et al., 2012); de tal forma que las determinaciones de sus características determinan la calidad para la industria láctea y finalmente en los consumidores (Lei & Sun, 2019).

La textura es un atributo importante de la calidad de los alimentos, particularmente en queso, ya que incide directamente en la aceptabilidad y percepción del producto terminado en los consumidores (Cyrille et al., 2019). Por otro lado, la observación microestructural en queso puede ser muy útil para predecir y controlar las propiedades estructurales de cómo se percibe el producto final (El-Bakry & Sheehan, 2014). Las imágenes obtenidas nos permiten visualizar algunos componentes, como la grasa y la proteína, proporcionando información sobre el tamaño, la forma y la distribución de estos componentes clave en la formación de la matriz estructural del queso (Ong et al., 2011).

La aplicación de temperatura afecta en gran medida las propiedades de los glóbulos de grasa y la disposición espacial de otros componentes del queso, que determinan su estructura, sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales. La capacidad de fusión del queso se refiere a la capacidad para fluir y estirarse a temperaturas elevadas. Esta condición de estiramiento y flujo, es el resultado de la matriz de caseína en el queso, que proporcionan estructura a través de las interacciones caseína-caseína. Por lo general, la matriz de caseína en el queso se vincula principalmente a través de interacciones no covalentes, pero la fuerza de la red depende de las condiciones de producción específicas del tipo de queso (Lamichhane et al., 2018).

La reología es otra de las pruebas importantes con las que se puede evaluar la calidad del queso. Mediante la evaluación de pruebas reológicas se puede determinar las características viscoelásticas del queso (Gunasekaran & Ak, 2003).

Con lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características composicionales, reológicas, texturales, térmicas y microestructurales de Queso Tipo Manchego elaborado con Leche de Cabra, lo que permite aportar información para su caracterización, así como su influencia en el estudio de la calidad del producto final.

Materiales y Métodos

Material experimental

Muestras de Queso Tipo Manchego elaborados con Leche de Cabra (QTM_{LC}) a distintas etapas de maduración (30, 60 y 90 días), así como muestras control elaboradas a partir de Leche de Vaca (QTM_{LV}) (60 y 90 días) fueron obtenidas de la empresa productora, Productos Alimenticios Oly S. P. R. de R. L., de la región de Apaseo el Grande, Guanajuato, México.

Análisis químico proximal

A las muestras de los QTM_{LC} y QTM_{LV} se les determinó el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas, de acuerdo con las metodologías descritas por la Standard Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2019). La evaluación de pH se realizó utilizando un potenciómetro, macerando las muestras y suspendiéndolas en agua destilada para posteriormente tomar las mediciones correspondientes (AOAC, 2019). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Análisis de Perfil de Textura (TPA)

La evaluación de textura instrumental de las muestras de QTM, fueron analizadas a distintas etapas de maduración (30, 60 y 90 días en QTM_{LC}; mientras que para QTM_{LV} fueron de 60 y 90 días), mediante una prueba de TPA, utilizando un equipo Texturómetro TA-XT2i Texture Analyser (Stable Micro Systems). De acuerdo al método descrito por Lobato-Calleros et al. (2002), los QTM fueron cortados en cilindros de 1 cm de diámetro x 1 cm de altura, con ayuda de un horador y una navaja afilada. Las muestras fueron dispuestas en contenedores cerrados y mantenidas a 20 ± 2 °C hasta su análisis. Posteriormente, los QTM se sometieron a dos compresiones del 40 %, utilizando una sonda cilíndrica de aluminio de 50 mm de diámetro, a velocidades de 5.0, 1.0 y 5.0 mm/s en pre-ensayo, ensayo y post-ensayo, respectivamente. Las características texturales obtenidas a partir de las curvas

fuerza-tiempo y fuerza-distancia fueron dureza, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Microestructura de los QTM

Muestras del centro de cada pieza de los QTM_{LC} y QTM_{LV} fueron cortadas con un horador, en forma cilíndrica con dimensiones de 0.5 cm de diámetro x 0.3 cm de altura; dichas muestras se prepararon de acuerdo al método descrito por Sandoval-Castilla et al. (2004). Para la fijación de proteínas, las muestras fueron inmersas en una solución de glutaraldehído al 2 % en una solución amortiguadora de fosfatos (PBS) (0.1 M, pH 7.2) a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante 2 h; posteriormente, se decantó y fueron sumergidas nuevamente en glutaraldehído, a la misma concentración, por 24 h más. Las muestras fijadas fueron lavadas con solución PBS y posteriormente sumergidas en una solución de tetraóxido de osmio al 1 % en solución PBS durante 2 h para fijar los lípidos. Una vez transcurrido el tiempo en la solución de osmio, fueron lavadas con solución PBS y se deshidrataron en una serie gradual de soluciones de etanol (30 %, 50 %, 70 %, 90 % y etanol absoluto), manteniéndolas en cada una por lapsos de 1 h (realizando 2 cambios en cada concentración); posteriormente las muestras fueron secadas a punto crítico con dióxido de carbono con un equipo Technics CPA II Critical Point Dryer (Tousimis, Rockville, MD), se fragmentaron y montaron en portamuestras. Finalmente se recubrieron con oro al vacío en un equipo Fine Coat Jeol-JFC-1100 (Jeol Ltd., Akishima, Japan). La microestructura de las muestras de quesos QTM_{LC} y QTM_{LV} se examinaron con un microscopio electrónico de barrido a alto vacío Jeol JSM-035 (Jeol Ltd., Akishima, Japan) a 20 kV y fueron tomadas a una magnificación de 3500x.

Caracterización reológica

La caracterización reológica se realizó en un equipo Reómetro Physica MCR 301 (Antón Paar Messtechnik, Stuttgart, Alemania), utilizando una geometría plana corrugada de 50 mm de diámetro, a una temperatura de 20 ± 0.05 °C. Las

muestras, se tomaron del centro de cada queso, en forma de discos (50 mm de diámetro y 5 mm de espesor); una vez colocadas en el sistema de medición se dejaron en reposo durante 30 min, con la finalidad de favorecer el equilibrio de la temperatura y recuperación de la estructura. Se aplicaron pruebas oscilatorias dinámicas para determinar la zona viscoelástica lineal (ZVL). Posteriormente, las muestras fueron sometidas a barridos de temperatura, a un ciclo de variación de temperatura en un intervalo de 25 a 70 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 ± 0.05 °C/min; de acuerdo a lo descrito por Lobato-Calleros et al. (2003). Las mediciones se realizaron por triplicado para cada etapa de maduración de los QTM_{LC} y QTM_{LV}.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las propiedades térmicas de las muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} se analizaron de acuerdo a la metodología descrita por Aguirre-Mandujano et al. (2009) mediante DSC, utilizando un equipo TA Q-1000 (TA Instruments, New Castle, USA); el cual fue calibrado con Indio (Punto de fusión = 156.6 °C; ΔH de fusión = 25.8 J/g). Muestras de QTM (~30 mg) fueron colocadas en charolas de aluminio, pesadas y selladas herméticamente. A la par se utilizó una charola de aluminio vacía y sellada como muestra de referencia. Las charolas selladas con las muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} fueron sometidas a una rampa de calentamiento de 5 °C / min, desde 25 °C hasta 100 °C, y después enfriadas hasta 25 °C a la misma velocidad (Liu et al., 2008). Los datos obtenidos se analizaron mediante el software Universal Analysis 2000.

Prueba de fundido

Se empleó la técnica de Schreiber, con algunas modificaciones. Muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} fueron cortadas en forma de discos (5 mm de altura x 20 mm de diámetro), las cuales fueron refrigeradas a 4 ± 1 °C durante 30 min; posteriormente fueron colocadas sobre papel encerado y cubiertas con una caja Petri para ser procesadas en un horno de microondas por un lapso de 62 ± 2 s a una potencia del 20 %, una vez pasado el tiempo se dejaron enfriar para su

posterior medición con un Vernier; el incremento de sus diámetros fue evaluado y a partir de ello se calculó el porcentaje de extensibilidad de las muestras (Ramírez, 2010).

Análisis estadístico

Para evaluar los datos obtenidos de los distintos parámetros de los QTM_{LV} y QTM_{LC} se aplicó un Diseño Completamente al Azar; y en los casos pertinentes se aplicó la prueba de Tukey de comparación de medias ($p \leq 0.05$). El análisis de datos se realizó utilizando el software estadístico Minitab 18.0 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

Resultados y Discusión

Composición Química Proximal

Los quesos correspondientes a los QTM_{LC} y QTM_{LV} mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los distintos parámetros de composición química evaluados (Cuadro 2). Los QTM_{LC}, no mostraron diferencia significativa en pH ($p > 0.05$), a los distintos días evaluados de maduración; en comparación con los QTM_{LV}, en los que se presentó una disminución ($p \leq 0.05$) en dicho parámetro. Tunick et al. (2012), mencionan en un estudio realizado en queso (1-8 semanas de almacenamiento), que cambios imperceptibles en el pH puede ser atribuido a una baja actividad de los microorganismos para la descomposición de la lactosa, presente en los quesos. Otro factor importante que pudo haber influido en los resultados obtenidos para QTM_{LC} es que la cantidad de lactosa presente en la leche de cabra para la elaboración de los quesos es menor en comparación a la cantidad presente en la leche de vaca (Claeys et al., 2014) por lo que no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Burgos et al. (2016), reportaron en un estudio realizado en queso de cabra, que, el contenido proteico disminuye mediante un proceso catabólico llevado a cabo por los microorganismos, utilizados en la elaboración del queso, degradando los aminoácidos presentes en la proteína; esto sugiere entonces, una baja proteólisis durante el tiempo de maduración, en el queso analizado. Explicando además con ello el pH obtenido en las muestras de QTM_{LC}.

Los contenidos de humedad en los QTM_{LC} mostraron diferencias ($p \leq 0.05$) a los distintos días evaluados de maduración, siendo QTM_{LC30} el que presentó mayor porcentaje; los QTM_{LV} manifestaron un comportamiento similar, en los que se pudo observar que a mayores días de maduración, menor fue el contenido de humedad; comportamiento similar fue reportado para queso Suizo (Sapna y Sharmili, 2018), queso Lighvan elaborado con leche de oveja (Aminifar et al., 2010) y en queso de cabra (Burgos et al., 2016). Las muestras de QTM_{LC60} y QTM_{LV90}, presentaron condiciones similares ($p > 0.05$). Entre los contenidos

grasos se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de las muestras analizadas de los QTM_{LC} y QTM_{LV}, pudiéndose observar que, a mayores días de maduración, mayor fue el contenido de grasa. D'Incecco et al. (2020), reportan un comportamiento similar durante la maduración en queso Parmigiano Reggiano. Se pudo observar además que no hubo diferencia en el contenido graso de los QTM_{LC30} y el queso QTM_{LV90} utilizado como control.

Cuadro 2. Composición química proximal en QTM_{LC} y QTM_{LV} a distintas etapas de maduración.

MUESTRA	pH	HUMEDAD (%)	GRASA (%)	PROTEÍNA (%)	CENIZAS (%)	SÓLIDOS TOTALES (%)
QTM _{LC30}	6.15±0.02 ^a	39.93±0.29 ^a	31.67±0.58 ^b	36.53±0.18 ^d	5.79±0.03 ^a	60.07±0.29 ^c
QTM _{LC60}	6.18±0.02 ^a	33.02±0.39 ^c	33.33±0.58 ^a	38.43±0.06 ^c	5.10±0.22 ^{ab}	66.98±0.39 ^b
QTM _{LC90}	6.17±0.02 ^a	28.71±0.68 ^d	34.67±0.58 ^a	38.63±0.20 ^c	5.70±0.31 ^a	71.95±1.60 ^a
QTM _{LV60}	5.97±0.03 ^b	34.60±0.76 ^b	29.33±0.58 ^c	45.20±0.11 ^b	5.46±0.07 ^a	65.40±0.76 ^b
QTM _{LV90}	5.85±0.01 ^c	32.45±0.19 ^c	31.17±0.29 ^b	46.10±0.10 ^a	4.55±0.47 ^b	67.55±0.19 ^b

^{a, b, c, d}, superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Los QTM_{LV} presentaron un mayor contenido proteico ($p \leq 0.05$) en comparación con los QTM_{LC}. Se pudo observar que al igual que en el contenido graso, la proteína incrementa conforme aumentan los días de maduración. Los quesos QTM_{LC60} y QTM_{LC90}, no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$).

Los QTM_{LC} no mostraron diferencias ($p > 0.05$) en el contenido de cenizas, con relación a la muestra de queso control QTM_{LV60}; por su parte, QTM_{LC60} no mostró significancia con QTM_{LV90}. Y en general los QTM_{LC} presentaron mayor contenido de cenizas en comparación a los QTM_{LV}.

Microestructura

La microestructura de los QTM_{LC} y QTM_{LV} (Figuras 2 y 3) estuvo conformada por estructuras tridimensionales en las que se observan agregados de proteínas y múltiples espacios de forma globular en los que posiblemente se alojaron los glóbulos de grasa teniendo los más grandes alrededor de 6 μm , así mismo se observan canales entre las estructuras debidas a el lactosuero que estuvo presente en los quesos. Se pueden apreciar pequeñas estructuras esféricas

adheridas a las matrices proteicas con forma de racimos de uvas, características de las bacterias lácticas utilizadas durante el proceso de fermentación de la leche para la elaboración de los quesos. Los tamaños de los glóbulos de grasa de los QTM_{LC} y QTM_{LV} pueden variar, sin embargo, se puede tomar en cuenta un valor medio de entre 1.5 y 5 μm de diámetro (Figuras 2 y 3), Buchheim y Dejmek, (1997) mencionan que los diámetros de los glóbulos de grasa en leche varía de entre 1 y 8 μm , representando por lo menos el 90 % de la grasa total.

Se pudo observar que aquellos quesos elaborados con leche de cabra QTM_{LC30}, QTM_{LC60} y QTM_{LC90} exhibieron matrices proteicas más fusionadas indicando una alta sensibilidad a la temperatura de chedarización de los quesos en comparación con los QTM_{LV}. El QTM_{LC30} (Figura 2a), mostró una matriz proteica más abierta en comparación de QTM_{LC60} y QTM_{LC90} (Figuras 2b y 2c), donde aún se pueden observar algunos canales de lactosuero, esto puede deberse probablemente a su mayor contenido de humedad, de igual forma se observan espacios de forma globular muy definidos en los que estuvo alojada la grasa. Conforme se evaluaron los días de maduración se pudo determinar una pérdida de estructura del queso, resultando en matrices menos estructuradas y más fusionadas lo que provocó la pérdida de la estructura inicial, se observó además matrices proteicas más cerradas y con pérdida de la geometría que envolvía a los glóbulos grasos (Figuras 2 y 3) esto también puede ser explicado por la pérdida de humedad que se da durante el tiempo de maduración, Fox (1999) menciona que la maduración es la etapa en que se desarrollan las características organolépticas típicas como aspecto, textura, sabores y aromas, debido a una serie de cambios bioquímicos, de reacciones glicolíticas, lipolíticas y proteolíticas, estas últimas como las principales causantes de los cambios texturales durante la maduración del queso.

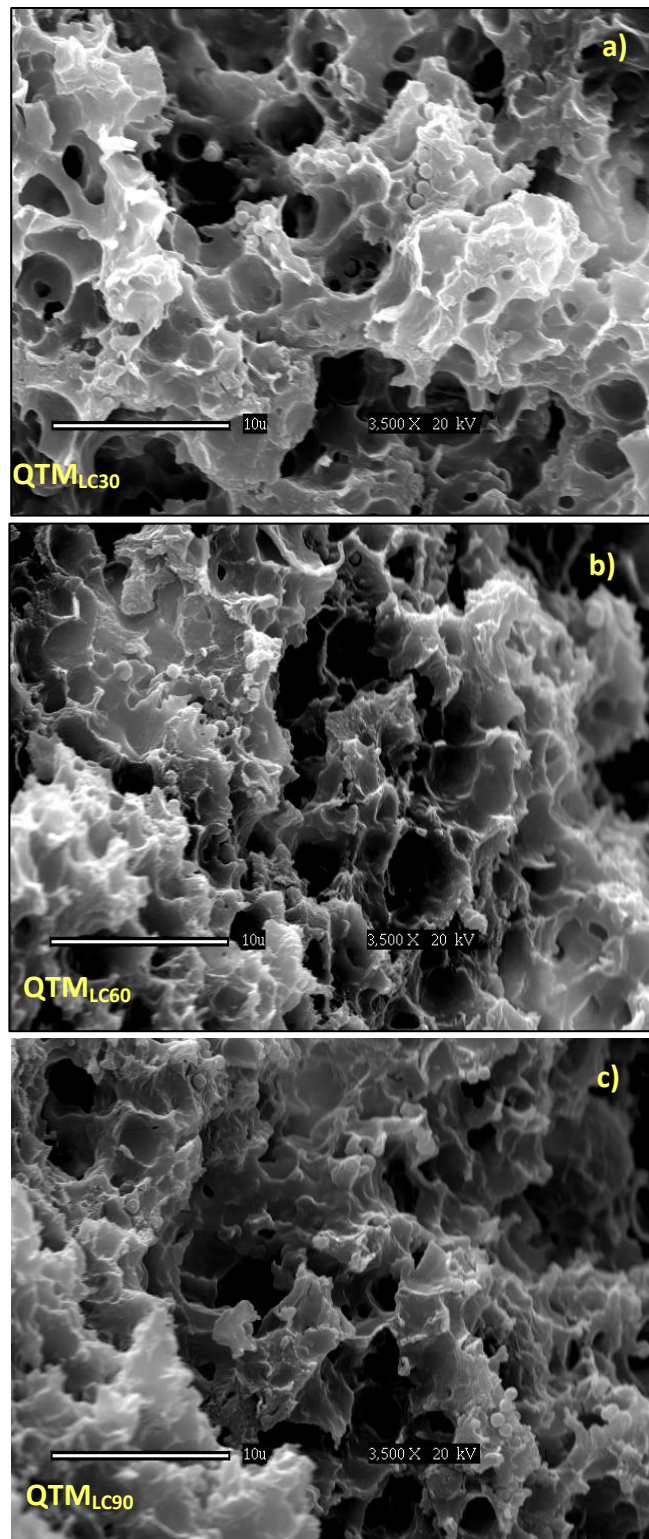


Figura 2. Micrografías SEM de QTM_{LC} (30, 60 y 90 días), a distintos tiempos de maduración.

Las micrografías obtenidas para los QTM_{LV} (Figura 3), muestran matrices proteicas más abiertas, relajadas y mejor estructuradas que aquellos quesos QTM_{LC}. Los QTM_{LV} exhibieron matrices proteicas más consistentes, lisas, más compactas y menos fusionadas en comparación con los QTM_{LC}, indicando con ello una baja sensibilidad a la temperatura de chedarización en comparación con los QTM_{LC}, estructuras similares obtuvieron Tunick et al. (2012) y Zady et al. (2019).

Se observó además que, en los QTM_{LV} presentaron una buena diferenciación de los glóbulos grasos que contuvo el queso, esto debido a las estructuras que forman las caseínas alrededor del glóbulo graso emulando la estructura de un panal de abejas, observaciones que concuerdan con lo mencionado por Tunick et al. (2012), ya que se observó una matriz fusionada, característica visible en quesos semiduros y duros.

En lo que respecta al tiempo de maduración evaluado en los QTM_{LV} (Figura 3) se puede observar una mayor compactación de la matriz proteica sin pérdida de sus características iniciales, sin embargo se puede observar una reducción de los espacios en los que estuvieron alojados los glóbulos de grasa, Soodam et al. (2017) mencionan que los cambios que ocurren en la estructura de la matriz proteica del queso se deben, posiblemente, a las acciones proteolíticas ocurridas durante el almacenamiento y por ende la maduración. Burgos et al. (2016) observaron que, la matriz proteica presentó grandes cavidades con partículas de caseínas dispersas. Sin embargo, el tamaño de dichas cavidades disminuyó durante el proceso de maduración, ocasionando que la matriz de proteína se compactara.

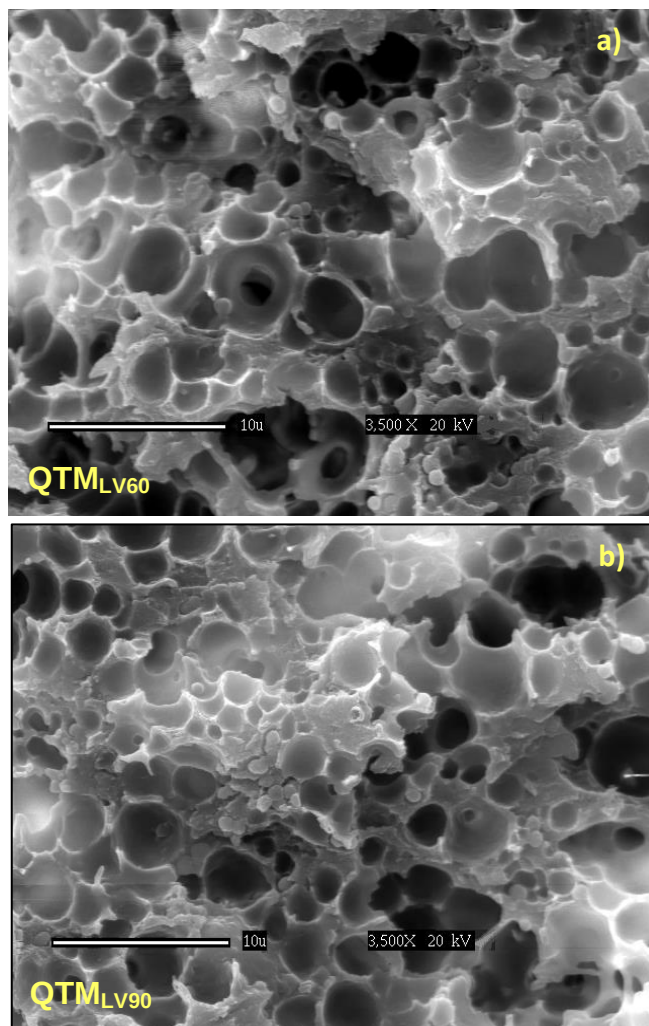


Figura 3. Micrográficas SEM de QTM_{LV} (60 y 90 días), a distintos tiempos de maduración.

Análisis Perfil de Textura (TPA)

Los tratamientos de queso QTM_{LC} y QTM_{LV} presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en sus características texturales instrumentales de dureza, elasticidad, cohesividad, adhesividad y masticabilidad (Cuadro 3). Se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) en los parámetros de dureza, gomosidad y masticabilidad, los cuales presentan un aumento conforme pasan los días de maduración para el caso de QTM_{LC}, misma tendencia mostraron los quesos control QTM_{LV}. El QTM_{LC60} y QTM_{LV60}, no presentaron diferencias ($p > 0.05$) en los parámetros de dureza y cohesividad.

El incremento de la dureza y, en general, los cambios en las características texturales en quesos, según Madadlou et al. (2007) derivan de los cambios en la interacción caseína-grasa, ocasionados principalmente por el efecto plastificante del componente graso. De igual manera, Cuhna et al. (2012) señalan que el tamaño de los glóbulos de grasa influye en las características del queso, ya que, al existir glóbulos de menor tamaño, éstos pueden incrementar las interacciones proteína-proteína generando una red más compacta, causando un incremento en la dureza, gomosidad, y masticabilidad; estas estructuras se pueden observar en las micrografías de QTM_{LC90} y QTM_{LV90} que mostraron una dureza y gomosidad mayor, presentaron matrices proteicas más cerradas y compactas (Figuras 2c y 3b). Buffa et al. (2001) mencionan que otro factor importante que influye en la dureza, es que cuando la cantidad de agua presente disminuye durante la maduración, genera una menor movilidad de las moléculas de proteínas (caseínas principalmente), ocasionando la obtención de una matriz de queso más firme.

A diferencia de aquellos tratamientos que presentaron valores mayores de humedad QTM_{LC30}, QTM_{LC60} y QTM_{LV60} en los que la dureza fue menor ($p \leq 0.05$), este contenido de humedad pudo ser debido al alto contenido de lactosuero, aun contenido en la matriz del queso (Figuras 2a, 2b y 3a). Cooke et al. (2013), mencionan que altos contenidos de humedad generan una estructura proteica débil y relajada, reduciendo la dureza del mismo.

La adhesividad de los QTM_{LC} y QTM_{LV}, no cambió ($p > 0.05$) por el tipo de leche utilizada en su elaboración, pero si entre ellas, determinándose que aquellos elaborados con leche de cabra fueron más adhesivos ($p \leq 0.05$) que aquellos elaborados con leche de vaca utilizados como controles, esto pudo deberse a que existió una mayor resistencia a la deformación proporcionada por una matriz proteica más estructurada en los quesos elaborados con leche de cabra (Figura 2). Los valores de cohesividad presentaron una disminución a mayores días de maduración de los QTM_{LC} y QTM_{LV}. Sin embargo, QTM_{LC30} y QTM_{LC60} no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), siendo el QTM_{LC90} el menos

cohesivo. Resultados similares obtuvieron Siddique y Park (2018) en queso Cheddar, donde se muestra una tendencia similar durante la maduración; de igual forma la disminución de la adhesividad en los QTM son comparables con los resultados obtenidos por Brickley et al. (2007).

El aumento de la elasticidad en los QTM_{LV}, proporcionada por la grasa en la estructura, pudo deberse a que se observan glóbulos de mayor tamaño con forme se evalúa el tiempo de maduración de los quesos (Figura 3), sin embargo, en los QTM_{LC} no se presentan diferencias significativas ($p>0.05$), esto pudo ser debido a que el tamaño en los glóbulos grasos de los quesos fue más pequeño y homogéneo durante el tiempo de evaluación no afectando dicho parámetro (Figura 2).

Cuadro 3. Parámetros texturales en muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} a distintas etapas de maduración.

MUESTRA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	ADHESIVIDAD (g·s)	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (ad)	MASTICABILIDAD (N)
QTM _{LC30}	13.06±1.09 ^d	0.71±0.01 ^a	94.64±6.78 ^a	9.30±0.69 ^d	0.939±0.010 ^{ab}	8.73±0.57 ^d
QTM _{LC60}	23.81±4.96 ^c	0.69±0.03 ^a	90.76±5.06 ^a	16.29±0.77 ^c	0.935±0.008 ^b	15.24±2.57 ^c
QTM _{LC90}	36.53±1.08 ^b	0.61±0.02 ^b	81.13±7.21 ^{ab}	22.36±1.12 ^b	0.936±0.004 ^b	20.93±1.01 ^b
QTM _{LV60}	26.82±2.05 ^c	0.74±0.02 ^a	71.33±5.65 ^b	20.17±0.97 ^b	0.888±0.001 ^c	17.62±1.38 ^b
QTM _{LV90}	69.84±1.58 ^a	0.53±0.03 ^c	68.15±1.76 ^b	37.11±1.60 ^a	0.948±0.010 ^a	35.21±1.53 ^a

a, b, c, d¹, superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p\leq 0.05$).

Prueba de fundido

Muestras de QTM_{LC} presentaron mayor porcentaje de fundido ($p\leq 0.05$) en comparación con QTM_{LV} (Cuadro 4). Los QTM_{LC30} y QTM_{LC60} presentaron los porcentajes mayores ($p>0.05$); para el caso de QTM_{LC90} no tuvo diferencias ($p>0.05$) con su contraparte QTM_{LV60}, el QTM_{LV90} presentó los valores menores de fundido ($p\leq 0.05$). Este comportamiento sugiere que el porcentaje de fundido disminuye conforme los días de maduración aumentan; observándose que, a menores contenidos de humedad y mayor dureza en las muestras presentaran una menor capacidad de fundido. Cais-Sokolińska et al. (2017), mencionan que la capacidad de fundido en los quesos mejora por el contenido de caseínas, grasa y humedad, que a su vez generan proteólisis que ocurre durante el tiempo de maduración y por las variaciones de temperatura. Por su parte,

Everett y Auty (2017) indican que la suficiente hidratación de las caseínas presentes en queso, promueven la interacción caseína-agua, favoreciendo a que el queso se derrita. De manera general se pudo observar que aquellos QTM con alto contenido de humedad presentaron los valores mayores de fundido (Cuadro 4; Figura 4).

Cuadro 4. Índice de fundido en muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} a distintas etapas de maduración.

MUESTRA	FUNDIDO (%)
QTM _{LC30}	132.35±9.43 ^a
QTM _{LC60}	129.22±6.28 ^a
QTM _{LC90}	92.85±2.70 ^b
QTM _{LV60}	89.17±2.35 ^{bc}
QTM _{LV90}	85.67±2.43 ^c

a, b, c, d; superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

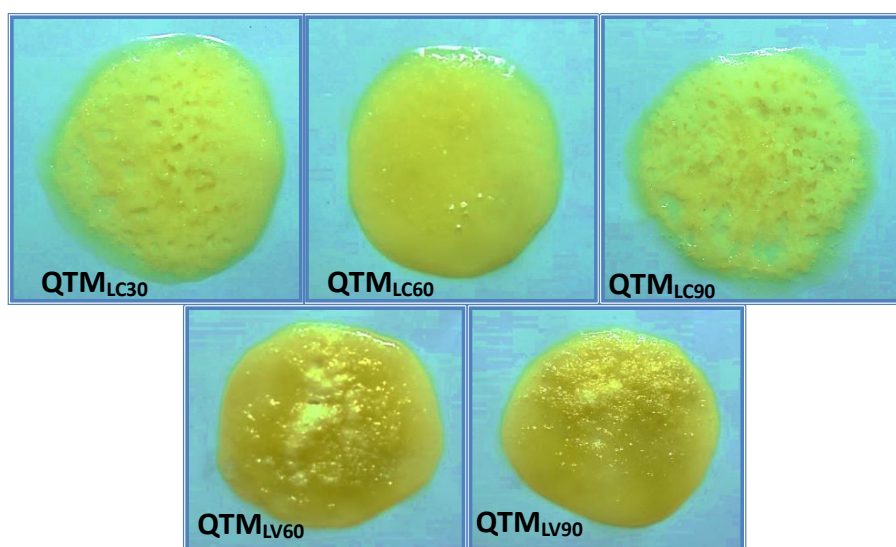


Figura 4. Imágenes prueba de fundido a muestras QTM_{LC} y QTM_{LV} a distintas etapas de maduración.

Cais-Sokolińska et al. (2017) encontraron que, en muestras de queso de cabra, la capacidad de fundido disminuyó a través del tiempo de almacenamiento, como efecto en el aumento del contenido graso y disminución de la humedad presentes en el propio queso. De acuerdo con Schenkel et al. (2014), existe una mayor capacidad de flujo en el queso, cuando éste posee una menor capacidad de estiramiento, o viceversa. Así mismo mencionan que, en muestras de queso

comercial, se presenta una mayor capacidad de fundido debido a la poca estabilización de la estructura de la matriz del queso, resultado de un mayor contenido de humedad y menor contenido de grasa y proteína.

Determinaciones reológicas

Las Figuras 5 y 6 muestran las variaciones en los valores de G' y G'' en los QTM_{LC} y QTM_{LV} en función de la temperatura (25-70 °C), en donde se puede observar una disminución de manera general, mientras que los valores de $\tan \delta$ (relación de G''/G') aumentaron de forma gradual (Figura 7), ocasionado por la constante reestructuración de la matriz proteica que se ve debilitada por efecto del incremento de la temperatura. Se puede observar que los QTM_{LV} poseen una estructura más elástica con una capacidad mayor de recuperación ante la aplicación de un esfuerzo externo y al aumentar la temperatura en comparación a aquellos QTM_{LC}. Las muestras de QTM_{LC60} y QTM_{LV60} mostraron un comportamiento similar en sus características reológicas y sus valores de dureza (Cuadro 3) así como valores de humedad muy cercanos, se pudo observar además que el QTM_{LC30} fue el que presentó una mayor sensibilidad al incremento de temperatura, lo anterior sugiere que debe existir una relación entre las estructuras, composición química y reología de las muestras, mostrando valores menores de G' y G'' aquellos QTM que contuvieron un mayor porcentaje de humedad y por lo tanto estructuras más debilitadas por efecto de la temperatura.

En un estudio realizado en quesos análogos se observó que la disminución del contenido de humedad incrementa las interacciones intermoleculares debido a la concentración proteica, mientras que un mayor contenido de humedad originó un hinchamiento de las caseínas, limitando las interacciones moleculares, presentando valores más bajos en G' (Liu et al., 2008). Esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que QTM_{LC30} presentó mayor contenido de humedad y valores menores en G' en comparación a los demás QTM.

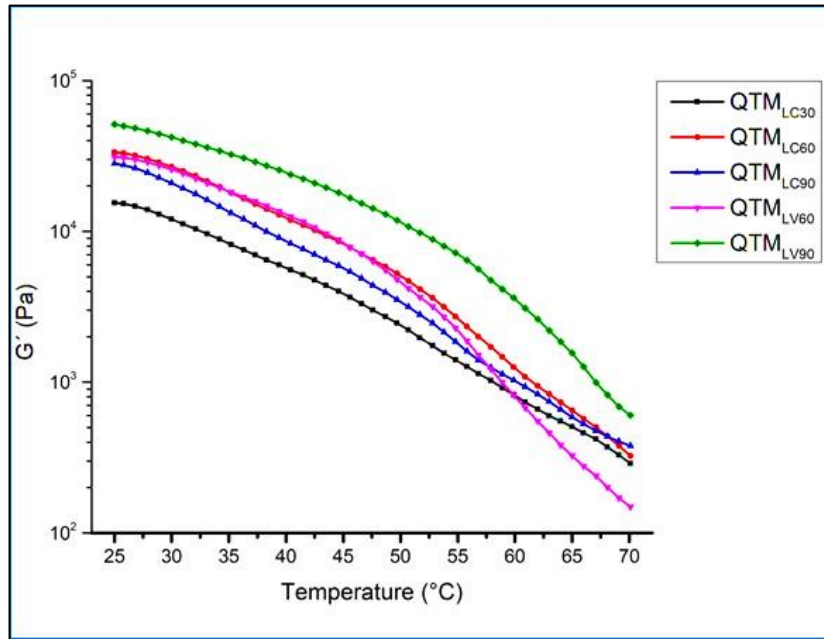


Figura 5. Módulos de almacenamiento (G') por efecto de la temperatura en muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} .

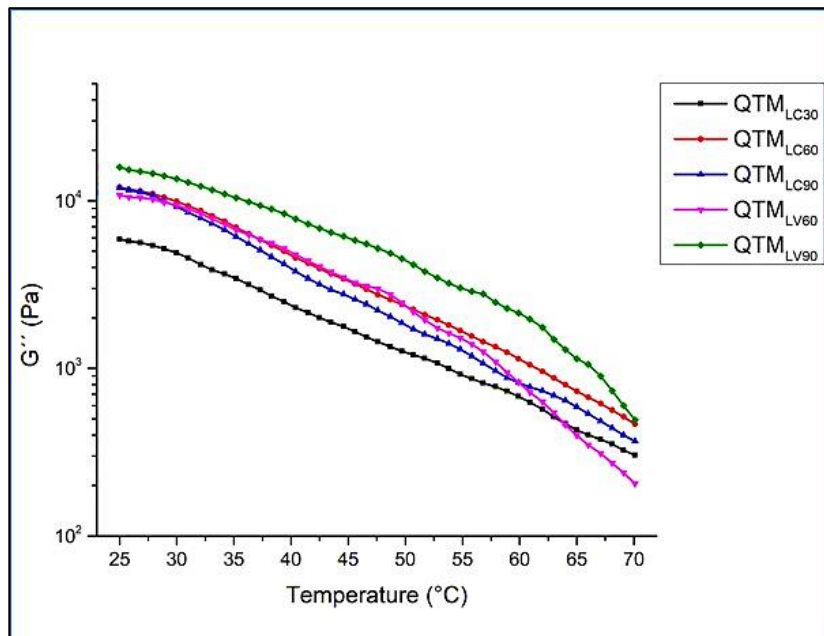


Figura 6. Módulos de pérdida (G'') por efecto de la temperatura en muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV} .

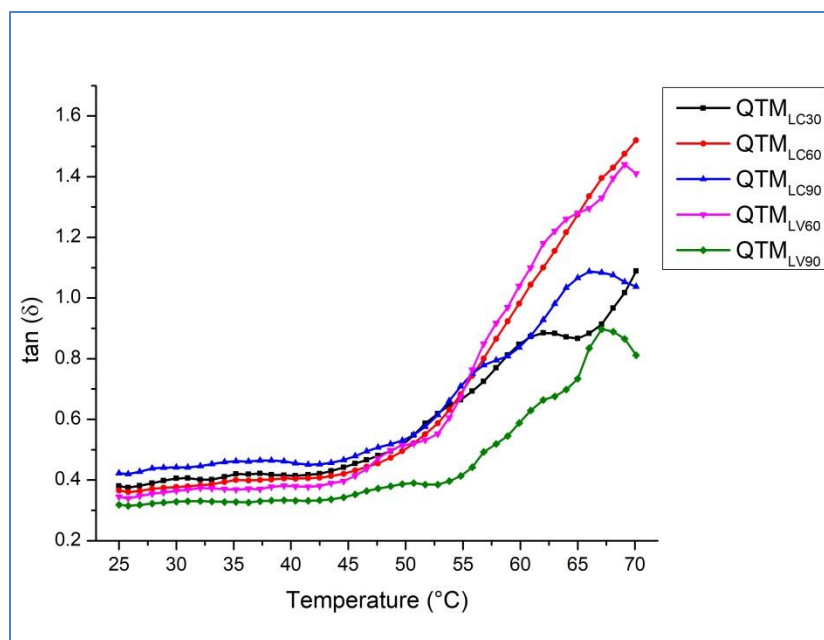


Figura 7. Variación de $\tan \delta$ por efecto de la temperatura en muestras de QTM_{LC} y QTM_{LV}.

La Figura 7 muestra la evolución de $\tan \delta$ durante el intervalo de temperatura estudiado, se observó que aproximadamente a partir de los 57.5 °C hay un crecimiento exponencial de los valores para los QTM_{LC} y QTM_{LV}, esto sugiere que se presenta una transición del comportamiento elástico al comportamiento viscoso, es decir, que las muestras de queso fluyen con mayor facilidad debido a la ruptura de las estructuras propias de los QTM que hacen que se comporten como un fluido visco-elástico. Solhi et al. (2020) reportan valores de $\tan \delta$ mayores a uno en queso procesado a temperaturas 57.5-59.7 °C, similares a los resultados obtenidos en las muestras evaluadas.

Pastorino et al. (2002) argumentan que los cambios ocurridos en la estructura del queso, a medida que aumenta la temperatura del mismo, se producen por los cambios en el alcance y la naturaleza de las interacciones proteicas.

Comportamientos similares en G' , G'' y $\tan \delta$, fueron observadas en queso Americano procesado (Lu et al., 2002), queso tipo Gouda (Schenkel et al., 2013), quesos Gruyere, Raclette, Edam, Brie y Mozzarella (Schenkel et al.,

2014), queso Cheddar (Brickley et al., 2007), queso procesado (Hosseini-Parvar et al., 2015) y queso tipo Manchego Mexicano (Lobato-Calleros et al., 2003).

Calorimetría Diferencial de Barrido

La calorimetría diferencial de barrido reveló que los QTM_{LC} en comparación con los QTM_{LV} presentaron poca resistencia al flujo de calor, por lo que necesitaron de una menor cantidad de energía para presentar el fenómeno de fundido de sus matrices, indicando con ello que se trata de sistemas menos estables al tratamiento térmico (Figuras 8 y 9) lo que también se puede corroborar con los índices de fundido de los quesos (Cuadro 4) ya que aquellos elaborados con leche de vaca fueron los que presentaron mayor índice.

Se puede observar que de los tratamientos analizados el QTM_{LC30} necesitó absorber menos cantidad de calor para presentar el proceso de fusión, contrario a QTM_{LV90} quien necesitó una mayor cantidad de flujo de calor, para que sucediera dicho proceso (Figura 8), esto derivado de sus características fisicoquímicas (Cuadro 2) y estructurales (Figuras 2a y 3b).

Algunos autores mencionan que, el contenido graso es el único componente de un alimento que se derretirá en el rango de 0 - 60 °C (Mattice y Marangoni, 2019). Sin embargo, los quesos son sistemas alimenticios complejos en los que existen varios tipos de interacciones: caseína – caseína, caseína – glóbulo de grasa, proteínas - agua, que determinan en gran medida la capacidad calorífica de los quesos. Se pudo determinar que tanto los QTM_{LC} como los QTM_{LV} en un rango de temperatura de 32 - 41 °C absorbieron la suficiente cantidad de calor (endotérmica) para fundirse (Figura 8 y 9), estos resultados son comparables con los obtenidos por Gliguem et al. (2011) quienes informaron que el rango de temperatura de fusión en Queso procesado fue de 32-38.6 °C, Ramel & Marangoni (2017) para queso procesado encontraron picos endotérmicos, correspondiente a la temperatura de fusión en el rango de 24-40 °C.

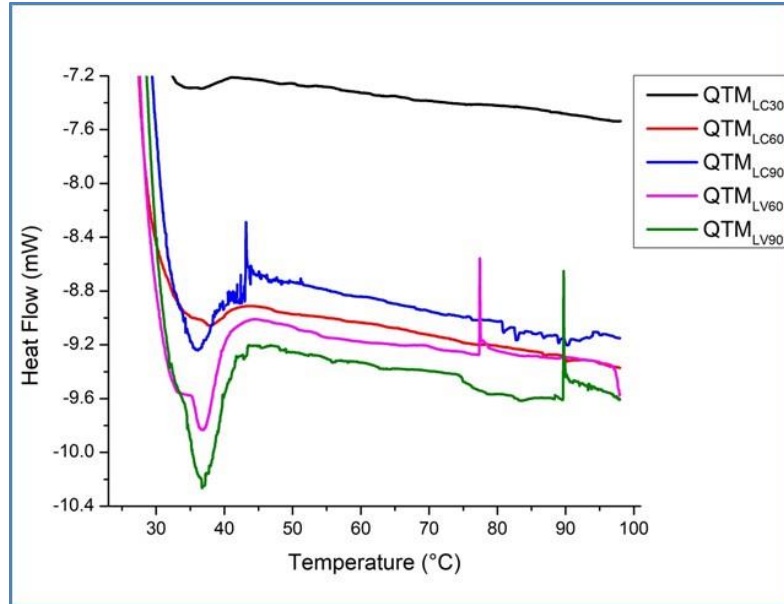


Figura 8. Termograma DSC de muestras QTM_{LC} y QTM_{LV} por efecto de temperatura de calentamiento.

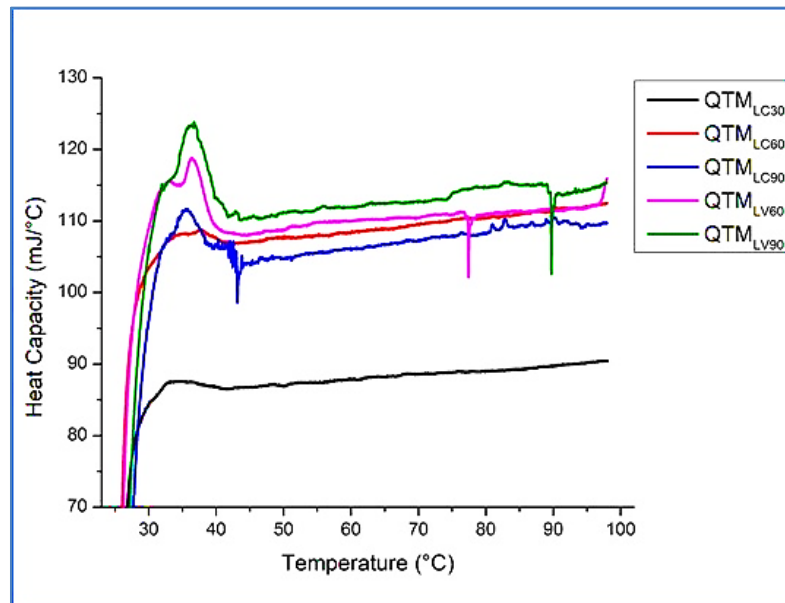


Figura 9. Capacidad calorífica por efecto de la temperatura (DSC) de muestras QTM_{LC} y QTM_{LV}.

Se puede observar que las características de estabilidad a la temperatura de los quesos QTM_{LC} y QTM_{LV} se vio influenciada por la forma en como la matriz estructural de cada queso (Smith et al., 2017) (Figuras 2 y 3) soportó la aplicación del calor, el cual puede producir desnaturalización parcial y

reorganización de los componentes como caseínas, glóbulos grasos y proteínas de lactosuero en el queso (Buchheim y Dejmek, 1997) observándose que aquellos QTM_{LV} presentaron una mayor estabilidad estructural ante la aplicación de la temperatura, requiriendo una mayor cantidad de energía y resistencia al flujo de calor para presentar el fenómeno de fundido (Figuras 8 y 9) con respecto a sus contrapartes QTM_{LC}.

Por su parte, Herman-Lara et al. (2017), informaron que, en Queso fresco adicionado con grasa vegetal, existieron picos endotérmicos (DSC) en el rango de 43.3-47.1 °C, los cuales pueden estar relacionados con la presencia de ácidos grasos poliinsaturados.

Conclusiones

Las características texturales conferidas por los componentes de la leche de cabra al queso se vieron reflejadas en productos QTM_{LC} menos duros, con mayor adhesividad y una mayor capacidad de fundido en comparación con los QTM_{LV}.

El uso de leche de cabra en la elaboración de QTM generó modificaciones en el comportamiento reológico obteniéndose productos con menor carácter viscoelástico en comparación con aquellos elaborados con leche de vaca durante el tiempo de maduración evaluado.

Las micrografías de los QTM_{LC} y QTM_{LV} permitieron la observación de los componentes estructurales de los quesos principalmente del comportamiento de la matriz proteínica y glóbulos grasos durante la maduración de los quesos.

De los resultados de DSC se infiere que los QTM_{LV} presentaron una mayor estabilidad estructural ante la aplicación de la temperatura en comparación con QTM_{LC}, requiriendo estos últimos una menor cantidad de energía para fundir.

Componentes como humedad, contenido graso y proteína principalmente, así como el tiempo de maduración afectaron en mayor o menor medida las características texturales, estructurales, reológicas y térmicas de QTM_{LC}, aportando información para su caracterización.

Literatura citada

- Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C., Beristain, C. I., García, H. S., Vernon-Carter, E. J. (2009). Microstructure and viscoelastic properties of low-fat yogurt structured by monoglyceride gels. *LWT- Food Science and Technology*, 42, 938–944. doi:10.1016/j.lwt.2008.12.002.
- Aminifar M., Hamedí M., Emam-Djomeh Z., Mehdinia, A. (2010). Microstructural, compositional and textural properties during ripening of lighvan cheese, a traditional raw sheep cheese. *Journal of Texture Studies*, 41, 579–593. doi: 10.1111/j.1745-4603.2010.00244.x.
- Andrade-Montemayor, H. M. (2017). Producción de caprino en México. VIII Foro Nacional del caprino: *Tierras Caprino, International Goat Association* 18, 24 pp.
- Boyazoglu, J., Hatziminaoglou, I., Morand-Fehr, P. (2005). The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research*, 60(1–2), 13–23. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.06.003.
- Brickley, C. A., Auty, M. A. E., Piraino, P., McSweeney P. L. H. (2007). The Effect of Natural Cheddar Cheese Ripening on the Functional and Textural Properties of the Processed Cheese Manufactured Therefrom. *Food Chemistry and Toxicology*, 72(9), 483-490. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00539.x.
- Buchhem, W., Dejmek, P. (1997). Milk and dairy type emulsions. In *Food Emulsions, 3rd Ed.*, (S. E. Friberg and K. Larsson, eds.) Marcel Dekker, New York.
- Buffa, M., Trujillo, A. J., Pavia, M., Guamis, B. (2001). Changes in textural, microstructural and colour characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goat's milk. *International Dairy Journal*, 11(11-12), 927–934. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00141-8

- Burgos, L., Pece, N., Maldonado S. (2016). Proteolysis, Texture and Microstructure of Goat Cheese. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 3(5), 14-19. <http://hdl.handle.net/11336/105957>.
- Cais-Sokolińska, D., Bierzuńska, P., Kaczyński, L. K., Baranowska, H. M., Tomaszewska-Gras, J. (2017). Stability of texture, meltability and water mobility model of pizza-style cheeses from goat's milk. *Journal of Food Engineering*, 222, 226-236. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.11.034.
- Claeys, L. W., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., Dewettinck, K., Herman, L. (2014). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188–201. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.01.045.
- Cooke, D. R., Khosrowshahi, A., McSweeney, P. L. (2013). Effect of gum tragacanth on the rheological and functional properties of full-fat and half-fat Cheddar cheese. *Dairy Science and Technology*, 93(1), 45-62. doi: 10.1007/s13594-012-0088-z.
- Cuhna, C. R., Grimaldi, R., Alcântara, M. R., Viotto, W. H. (2012). Effect of the type of fat on rheology, functional properties and sensory acceptance of spreadable cheese analogue. *International Journal of Dairy Technology*, 65, 1-9. doi: 10.1111/j.1471-0307.2012.00876.x.
- Cyrille, G. Z., Attien, P., Kouassi, C., Ernest, K. K. (2019). Properties and Mechanism of Melted Cheeses and Non-melted Cheeses: A Case Study Mozzarella and Bread Cheese (Juustolepia). *American Journal of Food Science and Technology*, 7(3), 94-98. doi:10.12691/ajfst-7-3-4.
- Darnay, L., Németh, Á., Koncz, K., Monspart-Sényi, J., Pásztor-Huszár, K., Friedrich, L., Laczay, P. (2018). Effect of different O₂/CO₂ permeable

- foils on aging of semi-hard goat cheese. *International Dairy Journal*, 90, 114-118. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.11.010.
- D’Incecco, P., Limbo, S., Hogenboom, J., Rosi, V., Gobbi, S., Pellegrino, L. (2020). Impact of Extending Hard-Cheese Ripening: A Multiparameter Characterization of Parmigiano Reggiano Cheese Ripened up to 50 Months. *Foods*, 9, 268. doi:10.3390/foods9030268.
- El-Bakry, M., Sheehan, J. (2014). Analysing cheese microstructure: A review of recent developments. *Journal of Food Engineering*, 125, 84-96. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.030
- Everett, D. W., Auty, M. A. E. (2017). Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal*, 18, 759–773. doi: 10.1016/B978-0-12-417012-4.00021-1.
- Gliguem, H., Lopez, C., Michon, C., Lesieur, P., Ollivon, M. (2011). The viscoelastic properties of processed cheeses depend on their thermal history and fat polymorphism. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 59, 3125–3134. doi: 10.1021/jf103641f.
- Guerra-Martínez, J. A., Montejano, J. G., Martín-del-Campo, S. T. (2012). Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CyTA - Journal of Food*, 10(4), 296–305. doi: 10.1080/19476337.2011.653791.
- Gunasekaran, S., Ak, M. M. (2003). Cheese rheology and texture. CRC. Press LLC, Boca Raton. eBook ISBN: 9781420031942.
- Herman-Lara, E., Tejeda-Paz, M., Martínez-Sánchez, C. E., Rodríguez-Miranda, J., Ramírez-Rivera, E. J., Hernández-Santos, B., Juárez-Barrientos, J. M. (2017). Differential scanning calorimetry coupled with chemometric tools for determining adulteration with vegetable fat in fresh cheeses. *LWT-*

Food Science and Technology, 85(A), 269-274. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.036.

Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Golding, M. (2015). Effect of basil seed gum (BSG) on textural, rheological and microstructural properties of model processed cheese. *Food Hydrocolloids* xxx, 1-11. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.07.015.

Lamichhane, P., Kelly, A. L., Sheehan, J. J. (2018). Invited review: Structure-function relationships in cheese. *Journal of Dairy Science*, 101, 2692-2709. doi: 10.3168/jds.2017-13386.

Lei, T., Sun, D. W. (2019). Developments of nondestructive techniques for evaluating quality attributes of cheeses: A review. *Food Science and Technology*, 88, 527-542. doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.013.

Liu, H., Ming, X. X., Dong G. S. (2008). Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *Food Science and Technology*, 43, 1581–1592. doi:10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x.

Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Osorio-Santiago, V. J. (2002). Microstructure and texture of manchego cheese-like products made with canola oil, lipophilic and hydrophilic emulsifiers. *Journal of Texture Studies*, 33, 165-182. doi: 10.1111/j.1745-4603.2002.tb01343.x.

Lobato-Calleros, C., Velázquez-Varela, J., Sánchez-García, J., Vernon-Carter, E. J. (2003). Dynamic rheology of Mexican Manchego cheese-like products containing canola oil and emulsifier blends. *Food Research International*, 36(1), 81–90. doi: 10.1016/S0963-9969(02)00111-4.

Lu, Y., Shirashoji, N., Lucey, J. A. (2007). Rheological, textural and melting properties of commercial samples of some of the different types of pasteurized processed cheese. *Journal of Dairy Technology*, 60(2), 74-80. doi: 10.1111/j.1471-0307.2007.00314.x.

- Madadlou, A., Mousavi, M. E., Farmani, J. (2007) The influence of brine concentration on chemical composition and texture of Iranian white cheese. *Journal Food Engineering*, 81, 330–335. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.010.
- Mattice, K. D., Marangoni, A. G. (2019). Structure-Function Analysis of Edible Fats. Chapter 10: Fat Crystallization and Structure in Bakery, Meat, and Cheese Systems. doi: 10.1016/B978-0-12-814041-3.00010-1.
- Masotti, F., Battelli, G., De Noni, I. (2012). The evolution of chemical and microbiological properties of fresh goat milk cheese during its shelf life. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 4760–4767. doi: 10.3168/jds.2011-5039.
- Ong, L., Dagastine, R. R., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2011). Microstructure of milk gel and cheese curd observed using cryo scanning electron microscopy and confocal microscopy. *LWT–Food Science and Technology*, 44(5), 1291-1304. doi: 10.1016/j.lwt.2010.12.026.
- Pastorino, A. J., Dave, R. I., Oberg, C. J., McMahon, D. J. (2002). Temperature Effect on Structure-Opacity Relationships of Nonfat Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2106–2113. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74288-4.
- Ramel, P. R., Marangoni, A. G. (2017). Characterization of the polymorphism of milk fat within processed cheese products. *Food Structure*, 12, 15–25. doi: 10.1016/j.foostr.2017.03.001.
- Ramírez N. J. S. (2010). Propiedades funcionales de los quesos: énfasis en quesos de pasta hilada. Universidad del Valle, Colombia. *ReCiTela*, 10(2).
- Roest, K., Menghi, A. (2002). Reconsidering ‘Traditional’ Food: The Case of Parmigiano Reggiano Cheese. *Sociologia Ruralis*, 40, 439-451. doi: 10.1111/1467-9523.00159.
- Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., Vernon-Carter, E. J. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by

fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, 151–159. doi:10.1016/S0958-6946(03)00166-3.

Sapna, R., Sharmili, J. (2018). Acceleration of Swiss cheese ripening by microbial lipase without affecting its quality characteristics. *Journal Food Science Technology*, 56, 497-506. doi: 10.1007/s13197-018-3482-6.

Schenkel, P., Hartmann, K. I., Samudrala, R., Hinrichs, J. (2014). Characterization of commercial cheese regarding thermophysical properties and application of multivariate statistical analysis to elaborate product mapping. *Journal of Texture Studies*, 45, 440–451. doi: 10.1111/jtxs.12095.

Schenkel, P., Samudrala, R., Hinrichs, J. (2013). The effect of adding whey protein particles as inert filler on thermophysical properties of fat-reduced semihard cheese type Gouda. *Journal of Dairy Technology*, 66(2), 220-230. doi: 10.1111/1471-0307.12036.

Siddique, A., Park, Y. W. (2018). Effect of iron fortification on microstructural, textural, and sensory characteristics of caprine milk Cheddar cheeses under different storage treatments. *Journal of Dairy Science*, 102, 1–13. doi: 10.3168/jds.2018-15427.

Smith, J. R., Vogt, S. J., Seymour, J. D., Carr, A. J., Codd, S. L. (2017). Probing water migration in Mozzarella cheese during maturation and heating utilizing magnetic resonance techniques. *Journal of Food Engineering*, 198, 1–6. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.11.010.

Solhi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J. Hamishehkar, H. (2020). Production of the processed cheese containing tomato poder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. *Journal Food Science and Technology*, 57, 2198-2205. doi: 10.1007/s13197-020-04256-1.

Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2017) Effect of elevated temperature on the microstructure of full fat Cheddar cheese

during ripening. *Food Structure*, 14, 8–16. doi: 10.1016/j.foostr.2017.05.003.

Tunick, M. H., Van Hekken, D. L., landola, S. K., Tomasula, P. M. (2012). Characterization of Queso Fresco during Storage at 4 and 10°C. *Journal of Food Research*, 1(1), 309-319. doi: 10.5539/jfr.v1n1p308.

Turkmen, N. (2017). Chapter 35–The nutritional value and health benefits of goat milk components. In R. W. Ronald, J. C. Robert, & V. R. Preedy (Eds.). *Nutrients in Dairy and Their Implication on Health and Disease* (441–449 pp.). London, England: Academic Press/Elsevier.

Vásquez, N., Magan, C., Oblitas, J., Chuquizuta, T., Avila-George, H., Castro, W. (2018). Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles. *Journal of Food Engineering*, 219, 8–15. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.09.008.

Wang, F., Zhang, X., Luo, J., Guo, H., Zeng, S. S., Ren, F. (2011). Effect of Proteolysis and Calcium Equilibrium on Functional Properties of Natural Cheddar Cheese during Ripening and the Resultant Processed Cheese. *Journal of Food Science*, 76(3), 248-253. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02085.x.

Zady, C. G., Paul, A., Clement, K., Koffi, E. K. (2019). Properties and Mechanism of Melted Cheeses and Non-melted Cheeses: A Case Study Mozzarella and Bread Cheese (Juustoleipa). *American Journal of Food Science and Technology*, 7(3), 94-98. doi:10.12691/ajfst-7-3-4.