



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

AGROALIMENTARIA

**CAMBIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS,
MICROESTRUCTURALES Y PERFIL PEPTIDÓMICO
DURANTE LA MADURACIÓN DE QUESO CHAPINGO**

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

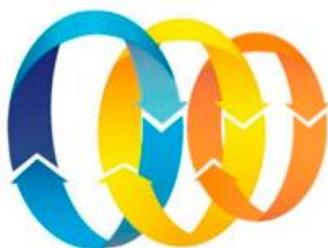
Presenta:

ISABEL MARGARITA PASCACIO SEBOLLON

Bajo la supervisión de: OFELIA SANDOVAL CASTILLA, DRA.



APROBADA



Estado de México, Chapingo, noviembre 2023

**CAMBIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS,
MICROESTRUCTURALES Y PERFIL PEPTIDÓMICO DURANTE
LA MADURACIÓN DE QUESO CHAPINGO**

Tesis realizada por **Isabel Margarita Pascacio Sebolon**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR:



DRA. OFELIA SANDOVAL CASTILLA

ASESOR:



DR. EMMANUEL FLORES GIRÓN

ASESOR:



DR. JOSÉ ELEAZAR AGUILAR TÓALA

Contenido	
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VI
DEDICATORIAS	IX
AGRADECIMIENTOS	X
DATOS BIOGRÁFICOS	XI
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	3
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 General	4
1.1.2 Específicos.....	4
1.2 Hipótesis.....	5
1.3 Organización de la tesis.....	5
1.4 Bibliografía.....	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Marco teórico	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.1.2 Investigaciones previas en queso Chapingo	8
2.1.3 Proceso de producción del queso Chapingo.....	11
2.1.4 Caracterización del queso durante la maduración	15
2.1.5 Propiedades texturales.....	15
2.1.6 Propiedades reológicas del queso	16

2.1.7	Microestructura del queso	18
2.1.8	Propiedades sensoriales del queso.....	19
2.1.9	Proteómica: técnica emergente.....	20
2.2	MARCO DE REFERENCIA	22
2.2.1	Unidad de tecnología lechera (UTL).....	22
2.2.2	Antecedentes y objetivos de la UTL	23
2.3	Bibliografía.....	24
3	CAMBIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, SENSORIALES y MICROESTRUCTURALES DURANTE LA MADURACIÓN DE QUESO CHAPINGO.....	28
	Resumen	28
	Abstract	29
3.1	Introducción	30
3.2	Materiales y métodos.....	31
3.2.1	Elaboración de muestras de queso.....	31
3.2.2	Análisis químico proximal.....	31
3.2.3	Análisis de propiedades mecánicas	32
3.2.4	Estudio de la microestructura del queso Chapingo	33
3.2.5	Evaluación sensorial	34
3.3	Resultados y discusión	35
3.3.1	Análisis químico proximal.....	35
3.3.2	Análisis de propiedades mecánicas	39
3.3.3	Estudio de la microestructura.....	44

3.3.4	Evaluación sensorial	46
3.4	Conclusiones	53
3.5	Bibliografía.....	55
4	PERFIL PEPTIDÓMICO EN EL QUESO CHAPINGO DURANTE EL PROCESO DE MADURACIÓN.....	59
	Resumen	59
	Abstract	60
4.1	Introducción	61
4.2	Materiales y métodos.....	61
4.2.1	Perfil peptidómico.....	61
4.2.2	Grado de hidrolisis	62
4.2.3	Coincidencia de bases de datos para la identificación de péptidos bioactivos	63
4.3	Resultados y discusión	63
4.3.1	Perfil peptidómico.....	63
4.3.2	Grado de hidrolisis	66
4.3.3	Identificación de péptidos bioactivos.....	67
4.4	Conclusiones	70
4.5	Bibliografía.....	71
5	APÉNDICES.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de proceso de elaboración de queso Chapingo.	14
Figura 2. Mapa satelital ubicación exacta de la Unidad de Tecnología Lechera.	22
Figura 3. Contenido de humedad de queso Chapingo durante el proceso de maduración.	36
Figura 4. Contenido de proteína de queso Chapingo durante el proceso de maduración.	37
Figura 5. Contenido de grasa de queso Chapingo durante el proceso de maduración.	38
Figura 6. Cambios la dureza del queso Chapingo durante el proceso de maduración.	40
Figura 7. Propiedades reológicas del queso Chapingo en diferentes etapas de maduración.	42
Figura 8. Efecto de la temperatura sobre el ángulo de pérdida ($\tan \delta$), durante tres etapas del proceso de maduración.	43
Figura 9 Micrográficas de queso Chapingo 3 y 7 semanas de maduración.	45
Figura 10. Micrografía de queso Chapingo 11 semanas de maduración.	46
Figura 11. Penalizaciones de medias para los diez atributos (efecto sobre la media frente porcentaje de jueces).	47
Figura 12. Porcentaje para cada nivel de intensidad en diez atributos evaluados en queso Chapingo.	49
Figura 13 Comparación de los resultados JAR a través de los tiempos de maduración.	51
Figura 14. Perfil peptidómico durante algunas etapas del proceso de maduración de queso Chapingo.	66

Figura 15. Porcentaje de hidrolisis en dos lotes de queso Chapingo durante el proceso de maduración. 67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Prueba de Friedman para aceptabilidad de atributos.....	52
Cuadro 2. Prueba de comparación de medias Nemenyi para atributo sabor dulce.	53
Cuadro 3. Péptidos bioactivos identificados durante el proceso de maduración de queso Chapingo.....	68
Cuadro 4. Secuencias de péptidos encriptadas dentro de un péptido con carácter bioactivo.....	69

DEDICATORIAS

A mi hermosa Familia, pilar importante en mi vida: mi madre por estar siempre alentándome, apoyándome, ser incondicional y estar a mi lado en cada etapa de mi vida. Mi neni, mi hermana, mi cómplice, por siempre cuidar de mí y hacer mi vida mucho más divertida y fabulosa. Mi hermano y su hermosa familia por siempre hacerme saber lo orgullosos que están de mí y estar pendiente de nosotras. Mi ángel que siempre me acompaña en mis pensamientos y ocupa un lugar especial en mi corazón, estoy segura de que estarías muy feliz y orgulloso por mí, esto también va por ti papi.

Al motor de mi vida, mi pequeña gran familia: mis princesas, por su alegría, por su amor, por su existencia y a ti amor, por darme a estas hermosas hijas, por caminar a mi lado, apoyarme, alentarme, amarme y protegerme ¡LOS AMO!

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi segundo hogar, en particular al Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria del Departamento de Ingeniería Agroindustrial.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

A mi comité asesor: Dra. Ofelia Sandoval Castilla por su dirección y acompañamiento, por su paciencia y entusiasmo; Dr. Emmanuel Girón por su alegría que se contagia, por el apoyo, y aprendizajes brindados; Dr. Eleazar Aguilar por ser una guía por su disposición y por los conocimientos compartidos.

Al Maestro Villegas por su acertada participación para hacer posible esta investigación, por sus sugerencias y apoyo.

A la Unidad Tecnológica Lechera: MC. Guillermo Ayala e Ing. Alejandro Cano por brindar las facilidades y apoyo para obtención de muestras y a los maestros queseros: Javier y Jesús por su compromiso y apoyo.

Al grupo de expertos: Dra. Verenice Torres, Dr. Yair Cruz, Dr. Bernabé Laureano por compartir conmigo su valiosa experiencia y por su asesoría.

A las personas que me abrieron las puertas en diversos laboratorios por su confianza: Dr. Baldomero Alarcón, Dra. Diana Guerra, Dr. Blanca Hernández, M.C. Armando Santos, QFB. Félix Esparza, QFB. Adalberto Gómez, Dr. Teodoro, Dr. Artemio y al valioso apoyo de compañeros y laboratoristas para la fase experimental.

A las personas que me acompañaron en este camino, que depositaron en mí su confianza, y se convirtieron en buenos amigos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Isabel Margarita Pascacio Sebolon

Fecha de nacimiento: 16 de febrero de 1994

Lugar de nacimiento: Estado de México



Desarrollo académico y profesional

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Cédula profesional 12538899.

Desarrolló la investigación “Calidad de grano y tortillas de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) con valor agregado” en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX) donde además colaboró como auxiliar en el laboratorio de calidad de maíz durante un año (2016-2017).

RESUMEN GENERAL

El proceso de maduración es esencial en muchas de las variedades de quesos para desarrollar sus características. El queso Chapingo es un queso tradicional genuino mexicano medianamente madurado. El objetivo de esta investigación fue estudiar los cambios mecánicos (texturales y reológicos), microscópicos, sensoriales y perfil peptidómico durante la maduración. Los resultados mostraron que la humedad disminuye durante la maduración debido a ello la dureza del queso aumenta. Las características reológicas los quesos más jóvenes (11 semanas), presentan mantenimiento de las propiedades elásticas en un intervalo de calentamiento mayor (64 °C), comparado con la semana 19 (58 °C). El queso Chapingo presenta cambios sensoriales importantes durante el proceso de maduración, los atributos que presentaron mayor impacto en la aceptación global fueron: sabor dulce, aroma (frutal), sabor residual, sabor amargo, sabor ácido y salado. En la mayoría de estos atributos la muestra 3A (11 semanas) presentó el mayor porcentaje de consumidores que definieron a la intensidad como punto ideal (JAR). El perfil peptidómico del queso Chapingo durante el proceso de maduración. Se identificaron aminoácidos que tuvieron efecto sobre las características sensoriales: fenilalanina, lisina, la metionina, entre otros. La arginina y fenilalanina tienen efecto en el gusto amargo estuvieron presentes en mayor proporción en tiempos de maduración más prolongados. El proteoma del queso Chapingo es dinámico y presenta péptidos bioactivos, lo cual contribuye a su caracterización y representa un efecto benéfico potencial a la salud de los consumidores.

Palabras clave: Maduración, reología, textura, análisis de penalizaciones, péptidos bioactivos

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Isabel Margarita Pascacio Sebolon

Directora de Tesis: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

GENERAL ABSTRACT

In many varieties of cheese, the maturation process is essential to develop their characteristics. Chapingo cheese is a traditional genuine Mexican cheese that is moderately matured. This research aimed to study the mechanical (textural and rheological), microscopic, sensory, and in peptidomic profile changes during maturation. The results showed that the moisture decreases during maturation, so the hardness of the cheese increases. The rheological characteristics, the youngest cheeses (11 weeks), show maintenance of elastic properties in a longer heating interval (64 °C), compared to 19-week ones (58 °C). Chapingo cheese presents important sensory changes during the maturation process, the attributes that had the greatest impact on global acceptance were sweet taste, aroma (fruity), residual taste, bitter taste, acidic and salty taste. In most of these attributes, sample 3A (11 weeks) presented the highest percentage of consumers who defined its intensity as the ideal point (JAR). The peptidomic profile of Chapingo cheese during the maturation process changes. Amino acids that influenced sensory characteristics were phenylalanine, lysine, methionine, among others. Arginine and phenylalanine influence in the bitter taste and were present in greater proportion at longer ripening times. The proteome of Chapingo cheese is dynamic and contains bioactive peptides, which contributes to its characterization and represents a potential beneficial effect on the health of consumers.

Key words

Ripening, rheology, texture, penalty analysis, bioactive peptides

Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ing. Isabel Margarita Pascacio Sebollon

Advisor: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El queso ha sido descrito como un gel en emulsión en que todos los glóbulos de grasa láctea y el suero quedan atrapados en una estructura, la red de caseína (Lorenzen, et al. 2024). La composición, la estructura y los cambios durante la maduración son distintivos de cada tipo de queso; sin embargo, estos cambios que se dan durante el proceso de maduración se deben especialmente a modificaciones en la matriz proteica, provocadas principalmente por la degradación de las caseínas α y β (Park, 2001).

El proceso de maduración es esencial en muchas de las variedades de quesos para desarrollar sus características, este proceso es un fenómeno complejo que se lleva a cabo por enzimas nativas de la leche, enzimas coagulantes y enzimas secretadas por microorganismos que están presentes en la pasta del queso, durante la maduración se llevan a cabo cambios bioquímicos (Brickley et al., 2007), siendo la proteólisis el evento bioquímico más complejo e importante responsable de cambios sensoriales y en la textura del queso (Burgos et al., 2016; Fox et al., 2017^a)

Para la caracterización de un queso es importante determinar su composición y sus cambios durante la maduración, pero también la microestructura, es decir conocer la organización espacial de los constituyentes de la matriz proteica, que a su vez son un factor determinante de la textura y las características sensoriales que definen la calidad final del producto ya que las interacciones entre los componentes del queso, como los enlaces de proteínas y los glóbulos de grasa unidos a las micelas de caseína, determinan la textura percibida por los consumidores (Fallico et al., 2006; Rovira et al., 2011).

Otro fenómeno importante que ocurre durante la proteólisis es la liberación de péptidos bioactivos. La composición y secuencias de aminoácidos en los péptidos definirá su bioactividad; en los quesos se han encontrado péptidos bioactivos que exhiben numerosas funciones terapéuticas potenciales: por

ejemplo, antioxidantes, antitrombóticas, antimicrobianas, anticancerígenas, antiinflamatorias y antihipertensivos (Rafiq et al., 2021).

El queso Chapingo es definido como un queso tradicional genuino mexicano (Villegas de Gante, Cervantes Escoto & Duhart, 2017), en el cual se lleva a cabo un proceso de maduración y es clasificado en tres categorías según su tiempo de maduración: tierno (20 a 45 días), medio madurado (45 a 90 días) y muy madurado (más de 90 días) sin embargo no se ha definido un tiempo específico donde se desarrollen las mejores características y aún no se presenten defectos en el producto.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Estudiar los cambios mecánicos (texturales y reológicos), microscópicos, sensoriales y perfil peptidómico en diferentes etapas del proceso de maduración de queso Chapingo para así encontrar la etapa de maduración apropiada para su consumo

1.1.2 Específicos

- Evaluar los cambios en la composición del queso Chapingo (humedad, proteína, grasa y cenizas) en diferentes tiempos de maduración
- Determinar los cambios en el perfil de textura del queso Chapingo en diferentes etapas de maduración.
- Determinar las características reológicas del queso Chapingo durante el proceso de maduración
- Observar la microestructura del queso Chapingo durante distintas etapas del proceso de maduración.
- Determinar las características sensoriales y la etapa de maduración en que prefieren los consumidores el queso Chapingo
- Evaluar el perfil peptidómico del queso Chapingo a través del proceso de maduración

1.2 Hipótesis

Las características, texturales, reológicas, microscópicas y sensoriales del queso Chapingo se ven influenciadas por la maduración. La proteólisis es el proceso bioquímico más importante en la maduración a través del cual se pueden desarrollar péptidos bioactivos que representarían un efecto benéfico potencial a la salud de los consumidores.

1.3 Organización de la tesis

El presente trabajo se organizó en dos capítulos en el primero se detallan las propiedades mecánicas, microestructurales y sensoriales durante algunas etapas de maduración de queso Chapingo. En el siguiente capítulo se incluyen el perfil peptidómico del queso Chapingo durante el proceso de maduración y los péptidos bioactivos identificados con efecto potencial a la salud de los consumidores.

1.4 Bibliografía

- 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. *Journal of Food Science*, 72(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00539>.
- Fallico, V., Tuminello, L., Pediliggieri, C., Horne, J., Carpino, S., & Licitra, G. (2006). Proteolysis and microstructure of Piacentinu Ennese cheese made using different farm technologies. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 37–48. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72067-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72067-7)
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^a). Biochemistry of Cheese Ripening. In *Fundamentals of Cheese Science* (391–442). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_12
- Lorenzen, M., Van den Berg, F. W. J., Lillevang, S. K., & Ahrné, L. (2024). The effect of milk fat content on microstructure and rheological properties of rennet casein gel emulsions. *Food Hydrocolloids*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109243>
- Park, Y. W. (2001). Proteolysis and Lipolysis of Goat Milk Cheese. *Journal of Dairy Science*, 84, E84–E92. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70202-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70202-0)

- Rafiq, S., Gulzar, N., Sameen, A., Huma, N., Hayat, I., & Ijaz, R. (2021). Functional role of bioactive peptides with special reference to cheeses. In *International Journal of Dairy Technology* 74 (1), 1–16. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12732>
- Rovira, S., López, M. B., Ferrandini, E., & Laencina, J. (2011). Hot topic: Microstructure quantification by scanning electron microscopy and image analysis of goat cheese curd. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1091–1097. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3996>
- Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., & Duhart, F. (2017). El Queso Chapingo: su reconocimiento institucional como patrimonio cultural inmaterial. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad (RIVAR)*, 136-147.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico

2.1.1 Antecedentes

Los quesos tradicionales poseen una fuerte vinculación al territorio de origen, por lo que estos deberían ser considerados como testimonio de la historia y de la cultura de las comunidades donde son elaborados (Licitra, 2010). En este contexto, en México se han identificado más de 40 variedades de quesos tradicionales y auténticos esto debido a sus características ya particulares debido a que estas representan la expresión de las condiciones ambientales, sociales y culturales del lugar donde se producen, lo que a su vez contribuye a la identidad del país (Villegas et al., 2003).

Los quesos poseen múltiple importancia: pues estos son responsables de la valorización y conservación adecuada de los sólidos solubles de la leche fluida para consumo directo; en consecuencia, representan un alimento de alto valor nutricional ya que proporciona nutrientes esenciales para los consumidores, además, de ser un producto de gran diversidad composicional y sensorial que satisface no solo las necesidades nutricionales sino también las gustativas (Villegas de Gante, 2003).

Debido a ello, los quesos mexicanos son reconocidos como un alimento genuino, arraigados en la rica historia de nuestra nación, dado que su producción se remonta a la época colonial y se mantiene viva hasta nuestros días, gracias a la labor de mexicanos de nacimiento, así como de aquellos que se han nacionalizado, e incluso de residentes extranjeros que han hecho de México su hogar (Villegas de Gante, 2004).

Un caso ilustrativo de ello es el queso Chapingo, definido como un queso tradicional genuino mexicano, es decir es un queso elaborado solamente con leche fluida de vaca y de ingredientes permitidos para su hechura (vg. cuajo y sal), (Villegas de Gante, Cervantes Escoto & Duhart, 2017).

El origen del queso Chapingo se remonta al año de 1930 en la Universidad Autónoma Chapingo, antes denominada Escuela Nacional de Agricultura (ENA), ubicada en municipio de Texcoco Estado de México, presuntamente como resultado de la búsqueda de uso alternativo a la leche excedente producida por la institución para la alimentación de los alumnos (Cervantes-Escoto et al., 2008)

En sus orígenes el queso Chapingo era elaborado a partir de leche cruda, fue hasta 1978 que comenzó a elaborarse utilizando leche pasteurizada y cultivos lácticos. Durante décadas este producto se elaboró e identificó como queso Chapingo, con identidad propia, pero desafortunadamente a partir de 1995 se comenzó a denominar “Queso Tipo Manchego”, marca “Chapingo”, lo cual dio lugar a un proceso de desvalorización, degradando su identidad y transformando su imagen lo que lo convirtió en un producto común a otros quesos tipo manchegos mexicanos que se producen a lo largo del territorio nacional (Villegas de Gante, Cervantes Escoto & Duhart, 2017).

Un grupo académico del departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, a partir de las inconsistencias identificadas, se dio a la ardua tarea de patrimonializarlo; esto implicaba identificarlo y percibir su valor como bien de gran relevancia simbólica e identitaria de la Institución y caracterizarlo por su calidad integral (química, física, microbiológica, sensorial y el significado que tiene entre los miembros actuales y egresados de la universidad). Después de esta caracterización, en diciembre de 2015 el Honorable Consejo Universitario de la UACH reconoció oficialmente al queso Chapingo como “Patrimonio cultural inmaterial de la Universidad Autónoma Chapingo debido a su arraigo histórico, tipicidad bien definida, su calidad simbólica y su significado como bien identitario de la comunidad universitaria” (Villegas de Gante, Cervantes Escoto & Duhart, 2017).

2.1.2 Investigaciones previas en queso Chapingo

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha llevado a cabo investigaciones durante varios años sobre el sistema agroindustrial de la UTL y la caracterización

completa del queso Chapingo. Con estos estudios previos se ha logrado tener una visión global del proceso de producción incluyendo: la maduración y la calidad en algunas de sus dimensiones: microbiológica, fisicoquímica, sensorial, simbólica entre otras. Amílcar Renan Mejenes fue uno de los pioneros en estudiar el queso Chapingo en 1979 realizó una publicación en la revista Chapingo: Estudios sobre la caracterización del Queso Chapingo y transformaciones que sufren las proteínas a través del proceso de maduración, tema que, además, fue objeto de su tesis de licenciatura, en el que se documentó por primera vez los cambios que ocurren en las proteínas de la leche durante el proceso de elaboración de queso Chapingo, especialmente a través de la maduración.

Unos años más tarde (1989) Rodríguez Pacheco L. realizó un trabajo titulado “Estudio sobre estandarización tipificación y evaluación del rendimiento de queso Chapingo”, con el objetivo de caracterizar y tipificar al Queso Chapingo además de encontrar una ecuación empírica que relacionara el rendimiento, con el contenido de grasa y proteína de la leche, en este entonces el queso Chapingo se elaboraba de manera empírica sin obedecer a un proceso estricto de elaboración que condujera a una calidad constante a lo largo del año. Con esta investigación se determinó que el queso Chapingo a los 30 días de maduración presenta las mejores características sensoriales (color, textura, aroma y sabor).

Salvador Tapia F. J. en 1995 estudio una técnica para acelerar la maduración en queso madurado tipo Chapingo, evaluó el efecto del lavado de la pasta en la aceleración de la maduración del queso Chapingo. Propuso cuatro niveles de lavado (0, 25, 50 y 90 %), se tomaron muestras a los 7,15 y 30 días de maduración para evaluar la composición, la textura, el pH y el índice de maduración, así como la evaluación sensorial. Esta técnica del lavado de la pasta dio como resultado un aumento en la proteólisis, aumento en el porcentaje de nitrógeno soluble de igual manera las características texturales y por consiguiente sensoriales se vieron afectadas por el porcentaje de lavado, la masticabilidad y elasticidad fueron mayores en los porcentajes de lavado de 50 y 90 %. Con el lavado de pasta si bien el porcentaje de proteína soluble aumenta,

es decir la proteólisis se incrementa y con ello se acelera el proceso de maduración, esta técnica afectó negativamente el desarrollo de textura, sabor y aroma.

Se realizaron también estudios que no estuvieron enfocados en el producto en sí, más bien en el sistema agroindustrial, uno de estos fue realizado en el año 2013 por la M.C. Sánchez Moctezuma G., titulado “Diseño de una estrategia para la implementación de una cultura de calidad e inocuidad, en la unidad de tecnología lechera de la Universidad Autónoma Chapingo”. Este proyecto tuvo la finalidad de detectar las condiciones en las que la UTL producía los derivados lácteos y el objetivo de este documento fue servir como guía para realizar un diagnóstico y generar estrategias que cambien determinada situación dentro de cualquier empresa agroalimentaria, se describen los modelos más importantes de calidad e inocuidad, se desarrolla una metodología de diagnóstico y finaliza con la elaboración de estrategias de acción y recomendaciones particulares a los actores involucrados en el funcionamiento de la Unidad.

Años más tarde gracias al interés de un grupo académico del departamento de Ingeniería Agroindustrial y la iniciativa de la posible patrimonialización del queso Chapingo se continuo la caracterización microbiológica y fisicoquímica del Queso Chapingo. Martínez-Hernández, L. B, (2015) evaluaron la caracterización técnica (fisicoquímica, composicional, de textura y microbiológica) del queso Chapingo, contrastando su calidad fisicoquímica y microbiológica en dos diferentes estados de maduración: 3 y 6 semanas, encontrando que durante este proceso la humedad se reduce, los sólidos totales aumentan, el pH aumenta y el aw disminuye, el contenido de calcio influye en la disminución de la firmeza del queso mientras transcurre el proceso de maduración.

Osorio Cruz, R. en 2015 realizó una investigación titulada “Caracterización del Queso Chapingo para su Patrimonialización institucional”, donde se documentó el sistema agroindustrial (SAI) del Queso Chapingo, sus parámetros de fabricación, y las características fisicoquímicas de la leche, la caracterización del queso, así como la historia y la calidad simbólica, este documento fue sin duda

importante para lograr el reconocimiento institucional del queso Chapingo. En este documento además de la caracterización del queso se abordó la historia del queso y la calidad simbólica.

Más tarde (2017) ya que se había logrado el reconocimiento institucional por parte del Honorable Consejo Universitario del queso Chapingo como un patrimonio cultural inmaterial de la Universidad Autónoma Chapingo, Villegas de Gante A., Cervantes Escoto F. & Duhart F (2017) publicaron un artículo científico en la revista RIVAR “El Queso Chapingo: su reconocimiento institucional como patrimonio cultural inmaterial”. En el artículo se detallan la importancia del queso Chapingo como un producto tradicional además su proceso de elaboración y las etapas de patrimonialización, se destacan las características intrínsecas y tipicidad sensorial remarcables.

El documento más reciente sobre el queso Chapingo fue publicado por Hernández-Montes, A. (2018) en la revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo: “Propuesta para identificar simbolismo y valores en consumidores de quesos tradicionales mexicanos: caso queso Chapingo”. El autor aplicó metodologías para identificar la estructura de los valores de una comunidad y la existencia de comunalidad en el simbolismo de un alimento. Encontró que para el queso Chapingo los valores representativos de la comunidad universitaria correspondieron a la categoría de benevolencia y los pertenecientes a la categoría de conformidad y tradición fueron de menor importancia y poco frecuentes. Se pudo observar que los panelistas miembros de la comunidad de Ingeniería agroindustrial resaltaron características tangibles del queso como apariencia, sabor, textura y en mucho menor medida un significado intangible, el cual comprende la parte simbólica.

2.1.3 Proceso de producción del queso Chapingo

El queso Chapingo se elabora tradicionalmente a partir de leche pasteurizada proveniente de la granja experimental de Chapingo usualmente la leche es destinada a los comedores universitarios sin embargo durante los periodos

vacacionales el total de la producción lechera es destinada a la elaboración de quesos, principalmente queso Chapingo, la unidad comercializa la mayoría de su producción a los comedores universitarios y una pequeña parte de los consumidores acuden a comprarla directamente en la UTL y en el Super Campestre ubicado en la universidad.

A pesar de que el queso Chapingo es elaborado a escala artesanal las etapas de elaboración están bien definidas y estandarizadas, por lo que se cuenta con un manual descriptivo: “Nomas de Uso”, donde se detalla el proceso de elaboración del queso destacando principalmente el origen de la materia prima que debe ser utilizada para su elaboración.

El queso Chapingo es clasificado como un queso de pasta: semidura, texturizada, prensada y no cocida, tajable; durante su elaboración, se lleva a cabo un proceso de maduración en el cual se desarrollan sus características sensoriales atractivas para el consumidor como su color amarillo marfil a dorado, su pasta ligeramente cremosa aroma característico un tanto a piña y sabor ligero (Villegas de Gante, 2003; Cervantes Escoto., et al. 2008).

En la Figura 1, se muestra el diagrama de bloques del proceso de elaboración de queso obtenido a partir de las reglas de uso. En este documento se detallan las características de la materia prima y el proceso de elaboración, las características específicas del queso, la higiene de la práctica de producción y manejo del queso, la comercialización y las penalizaciones y sanciones en caso de que no se acate el cumplimiento de las reglas de uso.

En los primeros apartados se detalla que el ganado productor de leche para la elaboración de queso Chapingo (vacas Holstein, Jersey o una cruce de ambas) se debe encontrar sano y bien alimentado, el hato debe contar con certificación vigente que avale que es libre de brucelosis y tuberculosis. La leche no se estandariza, pero si se pasteuriza y se aplica un cultivo microbiano, siendo los productos prohibidos para su elaboración: leche en polvo, polvos lácteos proteicos y grasas vegetales.

El queso Chapingo se presenta en su característica forma cilíndrico-plana con un diámetro promedio de 20 cm y 10 cm de altura y un peso aproximado de 4.5 kg. Este queso fue clasificado según su maduración, en tres categorías: tierno (20 a 45 días), medio madurado (45 a 90 días) y muy madurado (más de 90 días), la primera parte de la maduración se realiza sin empaque, en la parte final de la maduración se acondicionan las muestras (v.g. lavado, raspado y eliminación de moho externo) para su posterior empaque al vacío y comercialización. La composición básica de un queso medio madurado es: humedad máxima de 39 %, grasa mínima 28 % y proteína mínima 24 %, debe estar libre de microorganismos patógenos y de compuestos químicos.

Las normas de higiene y producción destacan utensilios, equipo y áreas de proceso limpios, personal que se encuentre involucrado directamente en la elaboración de queso dese estar libre de enfermedades e infecciones infectocontagiosas y atacar los principios de la higiene y buenas prácticas de manufactura establecidas en reglamentos, manuales y normas vigentes para el procesamiento de alimentos.

Pasteurización	<ul style="list-style-type: none"> • 63 °C, 30 min
Ajuste de temperatura y adición de cloruro de calcio	<ul style="list-style-type: none"> • 25-28 °C • 20 g de cloruro de calcio/ 100 L. de leche
Inoculación cultivo láctico y agitación	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo: <i>Lactococcus lactis ssp. lactis</i> y <i>L. l. ssp. cremoris</i>
Madurado de la leche y reposo	<ul style="list-style-type: none"> • 30 min
Ajuste de temperatura y coagulación	<ul style="list-style-type: none"> • 32-34 °C • 5 mL de cuajo/100 L. de leche
Corte de la cuajada	<ul style="list-style-type: none"> • Liras de 1.5 cm de espaciado
Primer trabajo de grano	<ul style="list-style-type: none"> • 34 °C • 20-30 min
Segundo trabajo de grano	<ul style="list-style-type: none"> • 38 °C • 10 min
Tercer trabajo de grano	<ul style="list-style-type: none"> • 38 °C • 30 min
Reposo	<ul style="list-style-type: none"> • 10 min
Desuerado de la cuajada y corte en bloques	
Picado, desmenuzado y salado de la cuajada	
Moldeado	<ul style="list-style-type: none"> • Moldes metálicos, cilindrico-planos
Presado	<ul style="list-style-type: none"> • Prensa mecánica, 1era fase 5 h, se voltean las piezas, 2da fase 12 h.
Madurado	<ul style="list-style-type: none"> • 4 °C y humedad relativa 76 %

Figura 1. Diagrama de bloques de proceso de elaboración de queso Chapingo.

Fuente: Elaboración propia con datos del manual Reglas de Uso de Queso Chapingo.

2.1.4 Caracterización del queso durante la maduración

El proceso de maduración es un fenómeno complejo que se lleva a cabo por enzimas nativas de la leche, enzimas coagulantes y enzimas secretadas por microorganismos que están presentes en la pasta del queso. Durante la maduración se llevan a cabo cambios bioquímicos: en primera instancia el metabolismo de la lactosa residual, lactato y citrato, lipólisis y proteólisis. Posteriormente, se dan eventos bioquímicos secundarios que incluyen el metabolismo de los ácidos grasos y de aminoácidos que son importantes en el desarrollo de muchos compuestos volátiles relacionados con el aroma y sabor (Brickley et al., 2007).

Entre los eventos bioquímicos que ocurren durante el proceso de maduración la proteólisis es el evento más complejo e importante responsable de cambios sensoriales y en la textura del queso; este proceso es esencial en muchas de las variedades de quesos para desarrollar sus características (Fox et al., 2017^a).

2.1.5 Propiedades texturales

La textura es una propiedad que tienen los alimentos. Su determinación es la respuesta de los sentidos táctiles a los estímulos físicos del contacto entre alguna parte del cuerpo y el alimento; el sentido del tacto es el método principal para detectar la textura. En algunos alimentos la textura es crucial para determinar la calidad del producto, por ejemplo, en la carne, las papas fritas, los cereales de caja, en otros alimentos no es una característica dominante que determine su calidad, por ejemplo, algunas frutas, verduras, pan. Por su parte existen alimentos en los que esta característica hace una contribución insignificante a la calidad en general, por ejemplo, las bebidas (Bourne, 2002).

La textura en los alimentos abarca muchas de sus propiedades que estimulan no solo el sentido del gusto, si no también están asociados a la vista, el olfato y el tacto, se dice que la textura es la “calidad comestible”. La Organización Internacional de Normalización define a la textura de un alimento como “todos los atributos reológicos y estructurales (geométricos y superficiales) del producto

perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, y en su caso, visuales y auditivos”.

La textura del queso es una de las características que determina su identidad y calidad, además refleja su estructura a nivel molecular, los diferentes tipos de queso tienen una estructura única que, junto con las características de sabor determinan su calidad y aceptabilidad por parte del consumidor (Burgos et al., 2016)

La textura en los quesos es dinámica, algunos factores como es el cambio en el equilibrio de la concentración de calcio en el queso pueden afectar las variables de dureza, elasticidad, cohesividad, fracturabilidad (Fox et al., 2017^b) El Análisis de perfil de textura, es un procedimiento instrumental para determinar parámetros relacionados con la textura. Este análisis consiste en una prueba de doble compresión; las muestras se someten a una compresión del 80, 90 o hasta 50 % de su altura inicial, lo que provoca la ruptura del alimento. Con el gráfico que se obtiene durante este procedimiento se determinan parámetros como: fractura, dureza, cohesión, adhesividad, resortabilidad, gomosidad y masticabilidad (Demonte, 1995).

El análisis de perfil de textura en los quesos es comúnmente utilizado ya que son productos poco quebradizos, parámetros como la dureza y la elasticidad son determinantes en la evaluación de la textura, una prueba de doble compresión da referencia del comportamiento del queso durante el proceso de masticación y es útil para clasificar a los quesos según su textura, por ejemplo, el parmesano es un queso duro sin elasticidad ni cohesión, contrario a un queso mozzarella, que es muy elástico y de dureza media (Osorio Tobón et al., 2004).

2.1.6 Propiedades reológicas del queso

La reología estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos entre otros, por tanto, se extiende desde la mecánica de los fluidos newtonianos, hasta la elasticidad de Hooke, la región que comprende entre estas dos teorías corresponde a la deformación y

flujo de todos los tipos de materiales pastosos y suspensiones (Ramírez-Navas, 2006).

Los métodos reológicos miden de manera precisa la fuerza, la deformación y el flujo en función del tiempo. Las propiedades reológicas en los alimentos sólidos es medida por medio de la compresión, la extensión o la torsión del material, las cuales pueden ser llevadas a cabo mediante dos aproximaciones generales, denominadas los ensayos por deformación grande y pequeña, en los primeros, deformación grande o de fractura, las muestras son deformadas hasta un grado en el cual la matriz del alimentos es dañada o fracturada, contrario a lo que sucede con los ensayos de deformación pequeña, que buscan aplicar la mínima cantidad de deformación o esfuerzo necesarios para medir el comportamiento reológico, mientras que al mismo tiempo se evita el daño sufrido por la muestra, estos ensayos se utilizan para comprender las propiedades de una matriz alimenticia (Daubert R. & Foegeding E., 2008)

Las características reológicas de un queso se miden instrumentalmente por la aplicación de tensión o deformación en condiciones definidas y midiendo las respuestas del queso; las propiedades reológicas de un queso son importantes ya que pueden afectar: la textura y calidad gustativa, las cuales están determinadas por el esfuerzo requerido para su masticación, además determinará el comportamiento físico, es decir su tendencia a fracturarse, desmoronarse, etc., lo que determinará los usos que se le dará. La funcionalidad del queso es dinámica, cambia conforme el tiempo de almacenamiento debido a los cambios bioquímicos continuos que incluyen la proteólisis y la lipólisis (Fox et al., 2017^a)

El comportamiento reológico de un queso es viscoelástico; la prueba para la descripción del comportamiento viscoelástico lineal es la más sencilla, esta consiste en perturbar ligeramente el material desde su estado de equilibrio; estas pruebas pueden ser categorizadas como no destructivas y objetivas. Para la expresión de este comportamiento se utilizan los módulos de almacenamiento y perdida (G' y G'' respectivamente) (Muthukumarappan & Swamy, 2017).

Los ensayos reológicos dinámicos son métodos importantes y fundamentales para determinar las propiedades reológicas de un queso y son comúnmente utilizadas para determinar el comportamiento del queso durante el calentamiento (Lobato-Calleros et al., 2003).

2.1.7 Microestructura del queso

La microestructura en un queso representa la distribución espacial de los componentes de la matriz alimenticia (queso) a nivel microscópico intra e intermolecular observando también las interacciones entre los componentes: proteínas (caseína) minerales, grasa, humedad y solutos disueltos tales como: lactosa, ácido láctico, sales solubles, péptidos). (Fox et al., 2017^b) La microestructura de un queso se puede visualizar como una red continua proteica interrumpida por glóbulos de grasa que se encuentran distribuidos dentro de la red (Rogers et al., 2010)

La microestructura es un factor determinante de la textura y características sensoriales que definen la calidad final del producto. Las interacciones entre los componentes del producto terminado, como los enlaces de proteínas y los glóbulos de grasa unidos a las micelas de caseína, determinan la textura percibida por los consumidores (Rovira et al., 2011).

La microscopia permite la visualización directa de la estructura de queso; es empleada como una herramienta importante para explicar las relaciones entre las propiedades de textura y los análisis fisicoquímicos de los quesos (Everett & Auty, 2008) La microscopía electrónica de barrido es utilizada para visualizar la microestructura en los quesos, tiene la ventaja de una alta resolución y con ello se puede tener una imagen clara de la interacción entre los componentes del queso (grasa y proteína), incluso se puede llegar a observar la microestructura de algunos de los componentes tales como los glóbulos de grasa (López et al., 2007).

2.1.8 Propiedades sensoriales del queso

La evaluación sensorial es una disciplina que incluye técnicas que permiten a los humanos usar sus sentidos para obtener información objetiva con la que se puedan sacar conclusiones. A medida que estas metodologías fueron más complejas se requirió acudir a ciencias como la psicología, química, física, matemáticas, medicina entre otras, para fundamentar así el desarrollo de las metodologías sensoriales que permitieran evaluar los alimentos y materiales (Severiano Pérez, 2019)

Las metodologías sensoriales pueden agruparse en dos grandes grupos: metodologías analíticas y metodologías afectivas, las primeras estudian los límites en que son percibidas las muestras, si existen diferencias sensorialmente perceptibles entre ellas, las características de las muestras y la intensidad en las que se presentan, entre otras. Mientras que las metodologías afectivas usualmente son consumidores del producto los cuales son seleccionados en función del objetivo de la prueba o estarán definidos en función de sus características sociodemográficas por ejemplo edad, género, escolaridad, nivel socioeconómico, por mencionar algunas (Severiano Pérez, 2019)

Hay pruebas emergentes relativamente sencillas de aplicar y son utilizadas usualmente para conocer la percepción y las expectativas de los consumidores para productos en desarrollo, son apropiadas también, para destacar aspectos de mejora de los productos (Luc et al., 2022). Una de estas pruebas es el análisis de penalizaciones el que combina el procedimiento “Just-about-Right” (JAR) y pruebas generales de agrado con el fin de relacionar la disminución de la aceptación del consumidor con atributos que no están en el nivel JAR (Narayanan et al., 2014)

Este método relativamente nuevo; los panelistas son consumidores habituales de los productos y evalúan de acuerdo con una lista predefinida de atributos, la escala JAR generalmente es de 5 o 7 puntos y es utilizada para determinar la

intensidad de los atributos, siendo el punto medio la intensidad ideal del atributo (Lee et al., 2021; Narayanan et al., 2014).

2.1.9 Proteómica: técnica emergente

Las proteínas de la leche son los constituyentes más importantes en la elaboración de queso, según su solubilidad a pH 4.6 a 20°C estas pueden ser clasificadas como caseínas y proteínas de lactosuero, las primeras son solubles en las condiciones antes mencionadas. Las caseínas son las que se encuentran en mayor proporción en leches de vaca, oveja, cabra y búfala (80 % del nitrógeno total). En técnicas experimentales se ha demostrado que las caseínas tienen escasa estructura secundaria y terciaria, pero tienen estructuras muy flexibles lo que ha hecho que permanezcan estables a agentes desnaturizantes como por ejemplo el calor, pero esta misma condición las hace susceptibles a la hidrólisis (Fox et al., 2017^c)

Durante la maduración del queso ocurre un fenómeno bioquímico: la hidrólisis de las proteínas, que contribuye a las características texturales y reológicas del queso (Fox et al., 2017^a). La hidrólisis de las caseínas da lugar a la producción de péptidos y aminoácidos libres, esto debido a enzimas que pueden provenir de cuatro diferentes fuentes: enzimas nativas de la leche (plasmina), coagulante utilizando en la elaboración del queso (quimosina) y microorganismos tanto iniciadores, como no iniciadores y secundarios (Muthukumarappan & Swamy, 2017).

Una herramienta importante para el estudio a gran escala de las proteínas es la proteómica, que permite tener una imagen dinámica de las proteínas que se están expresando en un momento dado y bajo ciertas condiciones de tiempo y ambiente. Se dice que es una imagen dinámica ya que, a diferencia del genoma, el proteoma es altamente dinámico y sus componentes varían en un organismo, tejido, célula o compartimiento subcelular como consecuencias de cambios en su entorno. Los estudios del proteoma en conjunto con otras metodologías permiten, además de la identificación y cuantificación de las proteínas, conocer su

localización, modificaciones, interacciones, actividades y función (Rizo, Cárdenas, & Rodríguez- Sanoja, 2014).

Los estudios del proteoma han crecido de manera exponencial debido a la revelación de más y nuevas proteínas; al desarrollo de nuevas tecnologías que se basan principalmente en la combinación de técnicas ya conocidas y a la posibilidad de interpretar y analizar grandes cantidades de datos gracias a diferentes programas informáticos o softwares que se han desarrollado (Rizo, Cárdenas, & Rodríguez- Sanoja, 2014).

Para separar el proteoma se utilizaban tecnologías electroforéticas y cromatográficas, tanto separadas o en combinación; pero, no se ha definido ningún método único que pueda determinar todas las proteínas del proteoma; debido a su gran número, concentración y su dinamismo. Uno de los métodos más utilizados para la separación de proteínas se basa en la electroforesis en dos dimensiones; sin embargo, algunas de las limitaciones de esta metodología es que algunas proteínas son muy ácidas o básicas y de bajo peso molecular (Issaq & Veenstra, 2008)

Usualmente se combinan técnicas electroforéticas junto con espectrofotometría de masas; en estas metodologías las proteínas son separadas de acuerdo con su peso molecular y punto isoeléctrico, lo cual permite obtener una distribución uniforme en la matriz bidimensional; este gel puede ser considerado como “la huella digital” de la muestra (Rizo, Cárdenas, & Rodríguez- Sanoja, 2014).

La proteómica en la ciencia de los alimentos tiene diversas aplicaciones, destacan: identificación de las proteínas presentes en los alimentos para evaluar su calidad y seguridad: podrían detectarse proteínas alergénicas en los alimentos; otra aplicación importante es la detección de contaminantes en los alimentos tales como toxinas microbianas y residuos de plaguicidas. También puede ser posible identificar y caracterizar proteínas que confieran propiedades funcionales a los alimentos (Arivaradarajan & Misra, 2019)

2.2 MARCO DE REFERENCIA

2.2.1 Unidad de tecnología lechera (UTL)

Las muestras de queso Chapingo fueron elaboradas por el maestro quesero en la Unidad de Tecnología Lechera, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo. Texcoco, Estado de México, C.P. 56235. La UTL se localiza a unos kilómetros de la Universidad (Figura 2), es una Unidad de producción que brinda apoyo a la docencia, investigación y producción de derivados lácteos, que depende directamente del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, con la finalidad de brindar a los estudiantes las condiciones adecuadas para lograr un óptimo desarrollo y formación profesional, en el área de procesamiento y transformación de la Leche, en la elaboración de productos lácteos genuinos, sin conservadores químicos; y que está respaldada por la calidad de su personal de trabajo, el cual dispone de una vasta experiencia académica, practica y de investigación.



Figura 2. Mapa satelital ubicación exacta de la Unidad de Tecnología Lechera.

Fuente: Google Maps 20/03/23

2.2.2 Antecedentes y objetivos de la UTL

En 1970 se inauguraron las instalaciones, adquiriendo equipos para la pasteurización. El objetivo principal de la UTL es contribuir a la formación profesional de los estudiantes, de manera práctica en la tecnología de los procesos de leche en la pasteurización y la elaboración de sus derivados. Entre sus principales funciones podemos citar la asistencia técnica a estudiantes de otras universidades y al público mediante cursos específicos, elaborar productos lácteos para suministrarlos a los comedores universitarios y al público, cuantificar la leche producida en la granja, pasteurizarla y producir derivados lácteos manteniendo la calidad de los productos elaborados a partir de las normas sanitarias establecidas, de igual forma se busca comercializar y distribuir los productos fabricados en la UTL obteniendo recursos económicos (Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., & Duhart, F, 2017).

2.3 Bibliografía

- Ardö, Y., McSweeney, P. L. H., Magboul, A. A., Upadhyay, V. K., & Fox, P. F. (2017). Biochemistry of Cheese Ripening: Proteolysis. In *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology: Fourth Edition 1*, 445–482. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00018-1>
- Arivaradarajan, P., & Misra, G. (2019). Omics approaches, technologies, and applications: Integrative approaches for understanding OMICS data. In *Omics Approaches, Technologies, and Applications: Integrative Approaches for Understanding OMICS Data*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2925-8>
- Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. (Second Edition). State Agricultural Experiment Station and Institute of Food Science Cornell University Geneva.
- 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. *Journal of Food Science*, 72(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00539.x>
- Burgos, L., Pece, N., & Maldonado, S. (2016). Proteolysis, Texture and Microstructure of Goat Cheese. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 3(5), 2394–3661.
- Cervantes-Escoto, F., Villegas-De Gante, A., Cesín Vargas, A., & Espinoza Ortega, A. (2008). Los quesos mexicanos genuinos patrimonio cultural que debe restarse (1a. edición). bba. <https://www.researchgate.net/publication/322626141>
- Daubert R., C., & Foegeding E., A. (2008). Fundamentos reológicos para el análisis de los alimentos. In S. Nielsen S., A. C. Fernando Navarro, & M. Á. Usón Finkenzeller (Eds.), *Análisis de los alimentos* 587–602. Acribia.
- Demonte, P. (1995). Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales. *Memorias Del Seminario Textura y Reología de Alimentos*, 8–20.
- Everett, D. W., & Auty, M. A. E. (2008). Cheese structure and current methods of analysis. In *International Dairy Journal* 18 (7), 759-773. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.012>
- Fallico, V., Tuminello, L., Pediliggieri, C., Horne, J., Carpino, S., & Licitra, G. (2006). Proteolysis and microstructure of Piacentinu Ennese cheese made using different farm technologies. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 37–48. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72067-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72067-7)
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^a). Biochemistry of Cheese Ripening. In *Fundamentals of Cheese Science* (391–442). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_12

- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^b). Cheese: Structure, Rheology and Texture. In *Fundamentals of Cheese Science* (475–532). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_14
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^c). Chemistry of Milk Constituents. In *Fundamentals of Cheese Science* (71–104). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_4
- Hernández-Montes, A. (2018). Propuesta para identificar simbolismo y valores en consumidores de quesos tradicionales mexicanos: caso queso Chapingo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15, 399–412. <https://www.chapingo.mx/gaceta-universitaria/nu->
- Issaq, H. J., & Veenstra, T. D. (2008). Two-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis (2D-PAGE): Advances and perspectives. In *BioTechniques* 44 (5), 697-700. <https://doi.org/10.2144/000112823>
- Lee, S., Kwak, H., Kim, S., & Lee, Y. (2021). Combination of the check-all-that-apply (Cata) method and just-about-right (jar) scale to evaluate Korean traditional rice wine (yakju). *Foods*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/foods10081895>
- Licitra, G. (2010). World wide traditional cheeses: Banned for business? *Dairy Science & Technology*, 90, 357–374.
- 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. www.elsevier.com/locate/foodres
- López, C., Camier, B., & Gassi, J. Y. (2007). Development of the milk fat microstructure during the manufacture and ripening of Emmental cheese observed by confocal laser scanning microscopy. *International Dairy Journal*, 17(3), 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.12.015>
- Lorenzen, M., Van den Berg, F. W. J., Lillevang, S. K., & Ahrné, L. (2024). The effect of milk fat content on microstructure and rheological properties of rennet casein gel emulsions. *Food Hydrocolloids*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109243>
- Luc, A., Lê, S., Philippe, M., Qannari, E. M., & Vigneau, E. (2022). Free JAR experiment: Data analysis and comparison with JAR task. *Food Quality and Preference*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104453>
- Martínez Hernández, L. B. (2015). Caracterización microbiológica y fisicoquímica del Queso Chapingo [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Chapingo
- Mejenes Quijano, A. R. (1979). Estudios sobre la caracterización del queso Chapingo y transformaciones que sufren las proteínas a través del proceso de maduración. *Revista Chapingo*, 18, 17–20.

- Muthukumarappan, K., & Swamy, G. J. (2017). Rheology, Microstructure, and Functionality of Cheese. In *Advances in Food Rheology and Its Applications* 245–276. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00010-3>
- Narayanan, P., Chinnasamy, B., Jin, L., & Clark, S. (2014). Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3262–3272. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7365>
- Osorio Cruz, R. (2015). Caracterización del queso Chapingo para su patrimonialización institucional [Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Osorio Tobón, J. F., Ciro Velázquez, H. J., & Mejía Restrepo, L. G. (2004). Caracterización Textural y Físicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 57(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914072009>
- Park, Y. W. (2001). Proteolysis and Lipolysis of Goat Milk Cheese. *Journal of Dairy Science*, 84, E84–E92. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70202-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70202-0)
- Rafiq, S., Gulzar, N., Sameen, A., Huma, N., Hayat, I., & Ijaz, R. (2021). Functional role of bioactive peptides with special reference to cheeses. In *International Journal of Dairy Technology* 74 (1), 1–16. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12732>
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). Introducción a la Reología de Alimentos. *Revista ReCiTeIA*, 6(1), 1–46. <http://revistareciteia.es.tl/>
- Rizo, J., Cárdenas, C., & Rodríguez- Sanoja, R. (2014). Los alimentos: una aproximación proteómica en su estudio. *BioTecnología*, 30-45
- Rodríguez Pacheco, L. (1989). Estudio sobre estandarización tipificación y evaluación del rendimiento de queso Chapingo [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Chapingo
- Rogers, N. R., McMahon, D. J., Daubert, C. R., Berry, T. K., & Foegeding, E. A. (2010). Rheological properties and microstructure of Cheddar cheese made with different fat contents. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4565–4576. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3494>
- Rovira, S., López, M. B., Ferrandini, E., & Laencina, J. (2011). Hot topic: Microstructure quantification by scanning electron microscopy and image analysis of goat cheese curd. *Journal of Dairy Science*. 94(3), 1091–1097. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3996>
- Salvador Tapia, F. J. (1995). Técnica para acelerar la maduración en queso madurado tipo Chapingo [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Chapingo
- Sánchez Moctezuma, G. (2013). Diseño de una estrategia para la implementación de una cultura de calidad e inocuidad, en la Unidad de

Tecnología Lechera en la Universidad Autónoma Chapingo [Maestría en Ciencias de la Administración]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Severiano Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *INTERDISCIPLINA*, 7(19), 47–68.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>
- Villegas de Gante, A. (2003). Los quesos mexicanos. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Villegas de Gante, A., Flores Girón, E., Márquez Roa, L. M., Rodríguez Peralta, D. M., & Sandoval Castilla, O. (2021). La agroindustria alimentaria: Un enfoque sistémico. Texcoco, Estado de México: Colegio de Posgraduados.
- Villegas de Gante, A. (2004). Tecnología quesera. México, D.F.: Trillas.
- Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., & Duhart, F. (2017). El Queso Chapingo: su reconocimiento institucional como patrimonio cultural inmaterial. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad (RIVAR)*, 136-147.

3 CAMBIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, SENSORIALES Y MICROESTRUCTURALES DURANTE LA MADURACIÓN DE QUESO CHAPINGO

Resumen

El queso ha sido descrito como un gel en emulsión en que todos los glóbulos de grasa láctea y el suero quedan atrapados en una estructura la red de caseína. La composición, la estructura y los cambios durante la maduración son distintivos de cada tipo de queso se deben especialmente a modificaciones en la matriz proteica. El queso Chapingo es definido como un queso medianamente madurado del cual no se ha definido el tiempo específico donde se desarrollen las mejores características y sin defectos. El objetivo de esta investigación fue estudiar los cambios mecánicos (texturales y reológicos), microscópicos y sensoriales durante maduración de queso Chapingo para así definir el tiempo apropiado para su consumo. Se elaboraron dos lotes de queso Chapingo y se evaluaron diferentes etapas del proceso de maduración. Los resultados mostraron un incremento significativo en la dureza del queso a lo largo del proceso de maduración. En todas las muestras la respuesta elástica predominó a la viscosa ($G' > G''$), lo que refleja el comportamiento típico de los materiales viscoelásticos sólidos débiles. Se logró observar una matriz proteica continua bien organizada interrumpida por glóbulos de grasa, a mayor tiempo de maduración se observaron glóbulos de grasa más pequeños contribuyendo así a la firmeza del queso. A las 11 semanas de maduración el queso Chapingo presenta las mejores características texturales, reológicas y sensoriales.

Palabras clave: maduración, TPA, propiedades reológicas, escala JAR

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Isabel Margarita Pascacio Sebolon

Directora de Tesis: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

CHANGE IN THE MECHANICAL, SENSORY AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES DURING THE MATURATION OF CHAPINGO CHEESE

Abstract

Cheese has been described as an emulsion gel in which all milk fat globules and whey are trapped in a structure, the casein network. The composition, structure and changes during maturation are distinctive of each type of cheese, they are especially due to modifications in the protein matrix. Chapingo cheese is defined as a moderately matured cheese of which the specific time has not been defined where the best characteristics develop and without defects. The objective of this research was to study the mechanical (textural and rheological), microscopic and sensory changes during the maturation of Chapingo cheese to define the appropriate time for its consumption. Two lots of Chapingo cheese were made and various stages of the maturation process were evaluated. The results showed a significant increase in the hardness of the cheese as the maturation process. In all samples, the elastic response predominated to viscose ($G' > G''$), which reflects the typical behavior of weak solid viscoelastic materials. A well-organized continuous protein matrix interrupted by fat globules was observed, the longer the maturation time, the smaller the fat globules, thus |At 11 weeks of maturation, Chapingo cheese has the best textural, rheological, and sensory characteristics.

Keywords: ripening, TPA, rheological properties, JAR scale.

Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ing. Isabel Margarita Pascacio Sebollon

Advisor: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

3.1 Introducción

Los constituyentes más importantes en la elaboración del queso son las proteínas, especialmente las caseínas ya que son las proteínas más abundantes en la leche. Un fenómeno determinante en el proceso de maduración es la proteólisis de estas proteínas ya que da lugar a la producción de péptidos y aminoácidos libres, determinantes en las características sensoriales y texturales del queso (Fox et al., 2016; Lane et al., 1997). La composición, la estructura de la matriz y los cambios durante la maduración son distintivos de cada tipo de queso; sin embargo, estos cambios que se dan durante el proceso de maduración se deben especialmente a modificaciones en la matriz proteica, provocadas principalmente por la degradación de las caseínas α y β (Park, 2001).

El queso Chapingo es definido como un queso tradicional genuino mexicano (Villegas de Gante, Cervantes Escoto, & Duhart, 2017), en el cual se lleva a cabo un proceso de maduración y es clasificado en tres categorías según su tiempo de maduración: tierno (20 a 45 días), medio madurado (45 a 90 días) y muy madurado (más de 90 días). Durante el periodo 2020-2021, se suscitaron algunas problemáticas en la universidad y en el mundo: la huelga de los trabajadores de la UACH y la pandemia COVID19, en consecuencia a ello en la UTL se generaron aumentos en los volúmenes de producción de queso Chapingo y tiempo de maduración prolongado que trajo consigo defectos en las características sensoriales del queso: se identificaron perfiles de sabor amargo en quesos con maduración mayor a 90 días ocasionando rechazo por parte de los consumidores.

Actualmente no ha definido un tiempo específico donde se desarrollen las mejores características del queso y aún no se presenten defectos (v.g. sabores amargos). La caracterización del proceso de maduración permitirá definir el tiempo de maduración donde se desarrollen las mejores características; por tanto, el objetivo de esta investigación fue estudiar los cambios mecánicos (texturales y reológicos), microscópicos y sensoriales en diferentes etapas del

proceso de maduración de queso Chapingo para así definir el tiempo apropiado para su consumo.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Elaboración de muestras de queso

El maestro quesero elaboró dos lotes de queso Chapingo, en la Unidad de Tecnología Lechera, siguiendo estrictamente las reglas de uso, con tres semanas de diferencia entre cada uno (meses octubre y noviembre de 2022). Se obtuvieron nueve piezas de queso Chapingo de 4 a 5 kg cada uno; estos se mantuvieron en la cámara frigorífica hasta su posterior análisis en los tiempos definidos. En la semana tres los quesos fueron empacados al vacío y continuaron su maduración hasta el tiempo correspondiente. Los tiempos evaluados fueron la semana 3, 7, 11, 15 y 19 (1A, 2A, 3A, 4A, 5A) para el lote 1 (A), y las semanas 1, 3, 7 y 11 (0B, 1B, 2B y 3B) para el lote 2 (B). En cada uno de los tiempos mencionados se utilizó una muestra de queso para realizar los análisis correspondientes. Análisis químicos proximales: humedad, grasa, proteína, cenizas, pH; análisis mecánico: perfil de textura y reología; análisis microscópico, perfil peptidómico y evaluación sensorial.

3.2.2 Análisis químico proximal

Se seleccionaron tres tiempos de cada uno de los lotes para tener puntos de referencia de la composición del queso durante el proceso de maduración. En el lote A se evaluaron las fechas 3, 11 y 19 semanas de maduración y para el lote B, la semana 1, 3 y 11. Los análisis se realizaron por triplicado. Se determinó humedad, siguiendo el método descrito por la AOAC 926.08, 2002, cenizas por calcinación siguiendo el método de la AOAC 935.42, 2002. Determinación de proteína mediante el método Kjeldahl, bajo las especificaciones de la AOAC 978.04-968.01 (2006). El contenido de grasa se determinó por el método gravimétrico (Van Gulik) ISO 3433:2008. Para los tiempos de maduración de 3 y 11 semanas que se evaluaron en ambos lotes se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticamente significativas mediante el software Minitab versión 20.0 (2021).

3.2.3 Análisis de propiedades mecánicas

3.2.3.1 Propiedades reológicas

Para el análisis de perfil de textura, se obtuvieron muestras con un perforador mecánico del centro del queso (sacabocados) de 10mm de diámetro por 10 mm de longitud, el análisis se realizó a una temperatura de 20 ± 2 °C. Se utilizó el equipo: Texture Analyser Modelo XT2i, (Inglaterra). Las muestras fueron sometidas a dos compresiones del 50 %, utilizando una sonda cilíndrica de aluminio de 50 mm de diámetro, las velocidades de pre- ensayo, ensayo y post-ensayo fueron: 5.0, 1.0 y 5.0 mm. s⁻¹ respectivamente. Con los gráficos obtenidos del equipo; se determinaron los parámetros de: dureza, adhesividad y cohesividad (Fox et al., 2017^b). Para los tiempos de maduración: 3, 7 y 11 semanas evaluadas en ambos lotes se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias significativas y prueba de comparación de medias Tukey mediante el software Minitab versión 20.0 (2021).

3.2.3.2 Propiedades reológicas

Para la determinación de las propiedades reológicas de las muestras de queso se utilizó un reómetro Hybrid rheometer Discovery® HR-3 (Lukens Dr, New Castle, Delaware, USA). Este análisis se realizó en diferentes tiempos de maduración para cada uno de los lotes: A: 11, 15 y 19 semanas (3A, 4A y 5A) y lote B: 3, 7 y 11 semanas (1B, 2B y 3B). Para evitar deslizamiento de la muestra se utilizó en el equipo una geometría estriada de platos paralelos (50 mm de diámetro). Con ayuda de un perforador mecánico se obtuvieron muestras del centro del queso de dimensiones: 50 mm de diámetro y 5 mm de grosor

Se realizó fue un barrido de amplitud a una temperatura de 20 °C, una frecuencia de 1Hz y un porcentaje de deformación de 0.1 %-100 %, con ello se determinó la región viscoelástica lineal, es decir es la zona en la que las propiedades reológicas no dependen de la deformación ni de la tensión (Steffe,1996); tal análisis determino que esta zona se encontraba alrededor del 0.5 %. Posterior a ello se realizó un barrido de frecuencia a una temperatura de 20 °C, con un porcentaje de deformación de 0.5 % y una frecuencia angular de 0.1 rad/s – 100

rad/s; las condiciones del análisis fueron determinadas de acuerdo con el barrido de amplitud y algunos estudios publicados (Lobato-Calleros et al., 2003; Ortiz - Deleón et al., 2023; Schenkel et al., 2013). Se registraron el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y se graficaron con respecto a la frecuencia angular.

De las muestras con mayor tiempo de almacenamiento 11,15 y 19 semanas se obtuvieron barridos de temperatura entre 20 y 80 °C, la tasa de aumento de la temperatura del sistema de calefacción Peltier se mantuvo en 1 °C/min. con una frecuencia angular de 1 Hz y porcentaje de deformación de 0.1 %. Se determinaron los módulos de almacenamiento y la tangente delta ($\tan \delta$) que es la relación entre la propiedad viscosa (G'') y la propiedad elástica (G') (Schenkel et al., 2013; Lobato-Calleros et al., 2003; Ray et al., 2016)

3.2.4 Estudio de la microestructura del queso Chapingo

3.2.4.1 Preparación de las muestras de queso

Se seleccionaron tres tiempos de maduración: 3, 7 y 11 semanas. Las muestras se prepararon de acuerdo con la metodología descrita por (Sandoval-Castilla et al., 2004) con algunas modificaciones. Se obtuvieron muestras cilíndricas del centro del queso con un perforador metálico, las dimensiones aproximadas fueron: 1 mm de diámetro y 1 mm de espesor; fueron colocadas en solución de glutaraldehído al 2 % (v/v) para la fijación de proteínas; después de 2 h. a temperatura ambiente y 24 h. a 4 °C se eliminó la solución de glutaraldehído y se realizaron tres enjuagues con buffer de fosfatos (0.1 M, pH 7.2); las muestras se colocaron en una solución de tetróxido de osmio al 1 % (v/v) durante 2 h. con el fin de fijar los lípidos insaturados de la muestra. Posterior a ello, se eliminaron los restos de osmio con buffer de fosfatos y se sometieron a deshidratación utilizando diferentes soluciones de etanol: 30 %, 50 %, 70 %, 80 % y 90 % (v/v).

Las muestras se colocaron en alcohol absoluto hasta su posterior secado a punto crítico; esta operación se realizó en el equipo: Sample Drying Samdri-780 A. Tousimis Research Corporation (Rockville, USA). Las muestras se montaron en

bases metálicas con cinta conductiva y momentos antes de la observación se realizó un recubrimiento metalizado en el equipo: Sputtering QUORUM® - Q150R ES, (Lewes East Sussex, Inglaterra); la observación de las muestras se realizó en un microscopio electrónico de barrido: FEI® / QUANTA 450 (Oregón, USA).

3.2.5 Evaluación sensorial

Se realizó una prueba de aceptabilidad por atributos y se utilizó la escala “punto exacto” o JAR por sus siglas en inglés (Just-About-Right), con el fin de determinar las características que los consumidores consideran apropiadas para el queso Chapingo. Para poder obtener una pieza de queso en cada uno de los tiempos de maduración (semanas: 3, 7, 11, 15 y 19), las piezas del lote A, llegado el tiempo determinado, se cortaron por la mitad para su posterior evaluación sensorial.

Los atributos utilizados para la evaluación sensorial fueron obtenidos del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA-Quantitative Descriptive Analysis) del queso Chapingo realizado por Cruz Osorio (2015). Se eligieron diez atributos del diagrama de telaraña: color, aroma frutal, dureza adhesividad, masosidad, sabor dulce, sabor ácido, sabor amargo, salado y sabor residual. A los panelistas se les entrevistó sobre la aceptación de estos atributos y la aceptabilidad global de cada una de las muestras en una escala hedónica de 9 puntos, siendo el número 1: me disgusta extremadamente y el 9: me gusta extremadamente; además en cada uno de los atributos los panelistas evaluaron la intensidad en una escala JAR de 5 puntos: 1 = insuficiente; 2 = algo insuficiente; 3 = adecuado; 4 = muy intenso; 5 = demasiado intenso (Apéndice 1).

La prueba se realizó con 100 panelistas consumidores de queso Chapingo o quesos similares a este. Las muestras de queso se cortaron en cubos de 3.375 mm³. Se aleatorizó el orden de las muestras para cada panelista y se codificaron con números aleatorios de tres dígitos. Se utilizó como solución tibia de sacarosa al 1 % (p / v) para enjuague y galletas Habaneras Clásicas (Gamesa®) para eliminar el sabor residual de cada muestra.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de penalizaciones, utilizando la aceptación global y la intensidad de los atributos (escala JAR). Con el fin de evidenciar que muestra fue la preferida por los consumidores se realizó un análisis de varianza para la aceptabilidad global y una prueba de comparación de medias LSD de Fisher. Por otro lado, se evaluó la normalidad de los datos de aceptabilidad para los atributos aplicando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, al no cumplir con este supuesto se determinó utilizar la prueba la prueba de Friedman y para las comparaciones múltiples por pares se utilizó la prueba de Nemenyi. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software XLSTAT versión 2014.5.03 (2014).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Análisis químico proximal

La composición del queso en las dos etapas de maduración evaluadas 3 y 11 semanas no exhibió variaciones significativas ($p \leq 0.05$) en los parámetros de humedad, grasa y cenizas Sin embargo gráficamente se puede observar en la Figura 3, todos los tiempos de maduración evaluados y es notable la disminución del porcentaje de humedad conforme avanza el tiempo de maduración del queso Chapingo, este mismo fenómeno observaron Fallico et al. (2006) en quesos italianos, aunque los tiempos de maduración evaluados fueron más prolongados, para el tiempo de maduración de dos meses (8 semanas) reportaron una humedad de 32.49 % valores más bajos que los exhibidos por el queso Chapingo en la semana 11 del proceso de maduración para cada uno de los lotes: 3B y 3A (37.65 ± 0.797 g agua/ 100 g queso y 34.49 ± 0.324 g agua/ 100 g queso respectivamente).

Al principio de la maduración (B0), los valores de humedad que exhibieron los quesos fueron superiores a 43.28 ± 0.786 g. de agua por 100 g de queso Chapingo, asociado con una apariencia del queso más blando, sin costra y color más blanco, mientras que conforme se madura, el queso va desarrollando una costra delgada de color ligeramente amarilla y con menor humedad superficial respecto a el interior.

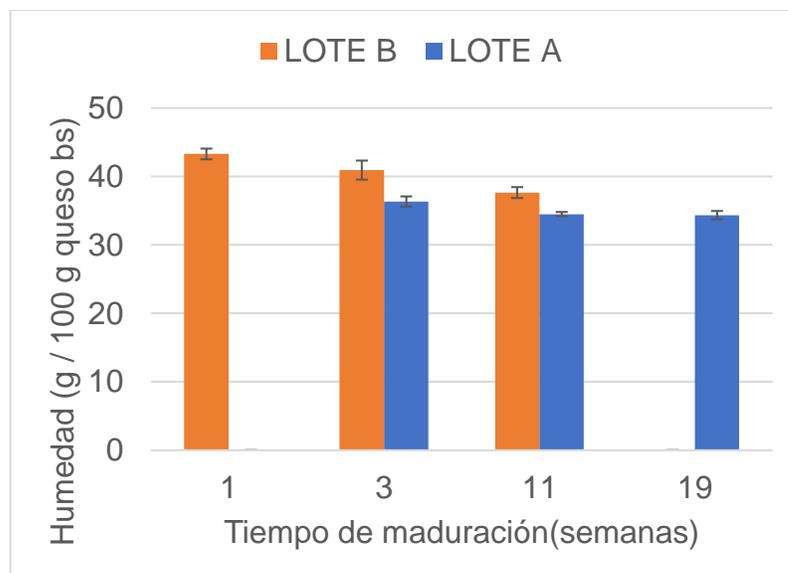


Figura 3. Contenido de humedad de queso Chapingo durante el proceso de maduración.

El queso Chapingo se caracteriza por ser un queso madurado, de por lo menos 3 semanas, aunque se prefiere de alrededor de cuatro a seis semanas de maduración, con una corteza más seca que el interior, respecto al queso recién elaborado, a pesar de que, este se mantiene en las cámaras de maduración con una humedad relativa alta, exhibe evaporación de agua, como lo reportan (Levak et al., 2023).

Para esta determinación se tomó una muestra más o menos homogénea del queso, considerando la corteza y centro de la pieza. Se debe también considerar, que pequeñas variaciones en el proceso de elaboración del queso Chapingo, podrían afectar la composición final, es el caso del proceso de trabajo del grano, en el cual mediante agitación, el grano obtenido después del corte de la cuajada se va deshidratando lentamente, pero variaciones de tiempo en la agitación pueden influir en la humedad del queso al inicio de la maduración; de esta manera, favorecer a ciertas poblaciones microbianas de mayor o menor requerimientos de aw y esto a su vez en el desarrollo de propiedades mecánico-reológicas del queso Chapingo

El contenido de humedad en el queso se encuentra asociado con el desarrollo de actividad microbiana, en este queso, principalmente bacterias ácido lácticas (*Lactococcus lactis ssp. lactis* y *cremoris*), incorporadas como inóculo con el fin de compensar la flora nativa eliminada por el proceso térmico de pasteurización, previo a la elaboración del queso; así durante la maduración producen metabolitos que otorgan el perfil de sabor y aroma, como lo son ácido láctico. El queso Chapingo de aproximadamente de 4 a 6 semanas de maduración ha desarrollado cualidades sensoriales características para consumo directo y mantiene un contenido de humedad, grasa y pH lo que permiten que exhiba propiedades de fundido al calentarse, similar al queso Chihuahua (López-Díaz).

La leche que se utiliza para la elaboración de queso Chapingo proviene de la producción de leche en los predios de la Universidad Autónoma Chapingo, y de manera general puede considerarse que no existe variabilidad en la alimentación, y manejo y tampoco en la temporada, porque fueron muy cercanas las fechas de elaboración de los dos lotes (3 semanas de diferencia), consideración por la que, se explica que no existió variabilidad estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre los porcentajes de proteína y grasa (Fig. 4 y 5) entre quesos Chapingo de los lotes A y B.

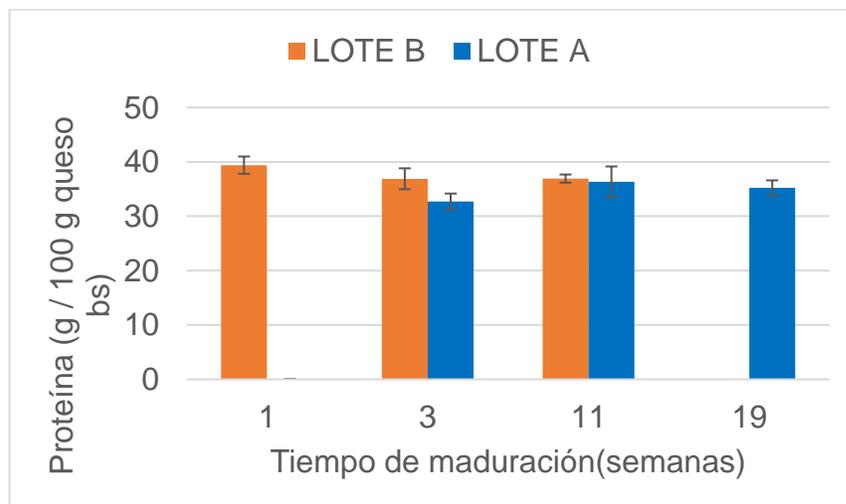


Figura 4. Contenido de proteína de queso Chapingo durante el proceso de maduración.

De acuerdo a los análisis experimentales de composición proximal de leche para elaborar queso Chapingo, en un estudio Osorio-Cruz (2015), encontró contenidos de proteína de 3.85 g de grasa por 100 ml de leche; para estos lotes se evaluó la composición proximal de la leche utilizada y sus valores medios fueron de 3.05 ± 0.35 g proteína/ 100 ml de leche y 4.495 ± 0.23 g grasa/ 100 ml de leche, al hacer la comparación en los valores obtenidos, podemos inferir que las condiciones de alimentación y/o manejo han cambiado y el mayor cambio se ve reflejado en el contenido de grasa.

El contenido promedio de proteína del queso fue de 36.25 g proteína bs/ 100 g queso, se dice que a pesar de que durante la maduración la proteólisis modifica el peso molecular de las proteínas generando polipéptidos, péptidos y aminoácidos libres a partir de caseínas, la cantidad total de nitrógeno cuantificada en el análisis proximal no cambia (Álvarez Ramos et al., 2022).

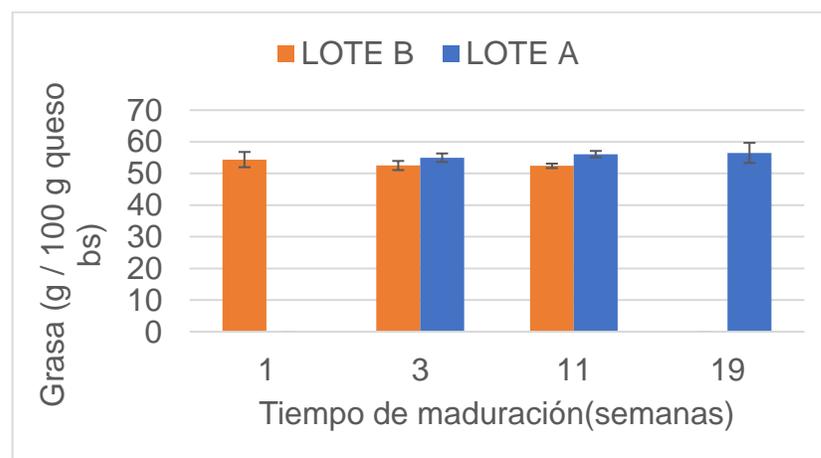


Figura 5. Contenido de grasa de queso Chapingo durante el proceso de maduración.

En las Figuras 4 y 5, puede observarse que las variaciones en los contenidos de los componentes del queso Chapingo (grasa y proteína), durante el tiempo de maduración, no mostraron una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$). Los valores del contenido de proteína del queso Chapingo se encontraron en un intervalo de 34.79 ± 2.77 g. de proteína bs/100 g. de queso en quesos de 3 semanas a 36.643 ± 1.865 g. de proteína bs/ 100 g. de queso a la semana 11.

De acuerdo con (Osorio Cruz, 2015) el contenido de proteína y grasa en el queso Chapingo exhibieron mínimos cambios durante el proceso de maduración, sin embargo, Fox, et al (2000), reportan en estudios de maduración de queso, que para quesos recién elaborados se muestra mayor contenido de agua y en consecuencia la proporción de proteína es menor y viceversa.

Respecto al contenido de grasa de los quesos fue en promedio 53.741 ± 1.841 g. grasa bs/ 100 g. queso, para la semana 3 versus la semana 11 de maduración que presentó 54.253 ± 2.174 g. grasa bs/ 100 g. queso, considerando que el queso Chapingo tiene cualidades similares al queso Chihuahua, Manchego, se puede realizar una comparación respecto a sus contenidos de grasa, sin embargo, al ser el queso Chapingo un queso artesanal y sin estandarización de la leche, el contenido de grasa es más elevado respecto a otros tipos de queso, por ejemplo, Gutiérrez M. (2010) reportó un contenido de grasa en queso Chihuahua entre 29.12 - 37.55 % y García Islas, (2006), de 22 % a 30 % en queso manchego mexicano.

El contenido de cenizas refleja la fracción correspondiente a los minerales del alimento. Toda la materia orgánica del alimento se incinera y únicamente quedarán los compuestos inorgánicos (Caravaca R., 2003), se observó que los porcentajes de ceniza en queso Chapingo se encontraron en el intervalo de 4.8894 ± 0.1515 g. ceniza bs/ 100 g. queso a 6.239 ± 0.301 g. ceniza bs/ 100 g. queso (Apéndice 2), valores un poco más altos a los expresados por Osorio Cruz, (2015) sin embargo no se especifica si estos valores son expresados en base seca o húmeda.

3.3.2 Análisis de propiedades mecánicas

3.3.2.1 Propiedades texturales

Las propiedades texturales en los quesos son influenciadas por la composición y el estado de la matriz proteica (Hernández-Morales et al., 2010; Tunick et al., 2007). En este estudio se encontró que únicamente el parámetro de dureza mostro diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través tiempo de maduración.

Cuadro 1 Parámetros del análisis de perfil de textura, en diferentes etapas de maduración de queso Chapingo.

Semanas	Dureza (N)			Cohesividad			Adhesividad N. s		
3	41.21	± 1.94	b ^z	0.627	± 0.026	0.391	± 0.434		
7	41.73	± 3.37	b	0.633	± 0.051	0.568	± 0.736		
11	53.36	± 5.42	a	0.622	± 0.003	1.151	± 0.133		

^z medias con letra distinta en misma columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$)

La dureza es la fuerza necesaria para comprimir una muestra (Tunick et al., 2007); esta fue aumentando a lo largo del proceso de maduración; debido a una pérdida de humedad significativa mismo fenómeno fue reportado por Kaya (2002) en quesos Gaziantep. Lawrence et al. (1987) menciona que la humedad presente en el queso tenía un efecto sobre la textura, sugiriendo que a medida que avanza la proteólisis y se rompen los enlaces peptídicos, los grupos iónicos quedan expuestos y el agua libre en el queso, aumentando la firmeza del queso

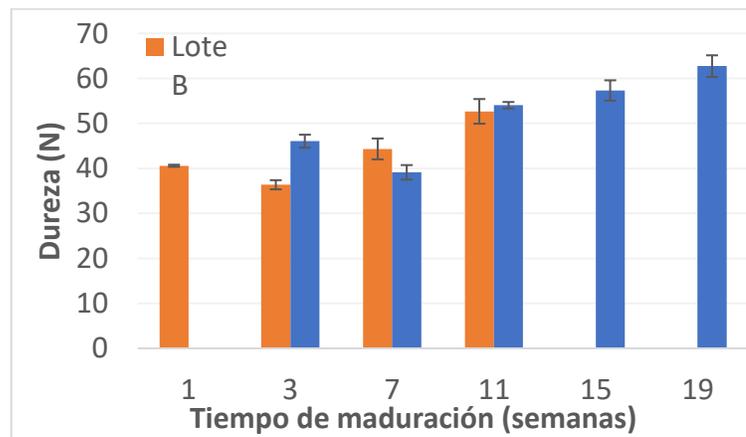


Figura 6. Cambios la dureza del queso Chapingo durante el proceso de maduración.

La cohesividad es una medida de la fuerza de los enlaces internos de una muestra (Tunick et al., 2007). En el lote B se puede observar gráficamente que esta variable fue disminuyendo a lo largo del proceso de maduración; siendo la semana 1, 3 y 7, los tiempos que presentaron mayor cohesividad comparado con la semana 11; esto es prudente con lo que se puede apreciar en la microestructura (Figura 10); para las primeras etapas de maduración se puede

observar una microestructura más compacta; posiblemente los enlaces internos sean más fuertes que los que se aprecian para la semana 11 (3B) donde se puede ver una microestructura más relajada y con más espacios. Este fenómeno de una red proteica más debilitada también puede deberse a la proteólisis, que ocurre durante el proceso de maduración (Soodam et al., 2015).

La adhesividad en los alimentos representa el trabajo requerido para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento entra en contacto, en el análisis de perfil de textura es el área de fuerza negativa en la primera compresión (Gunasekaran & Ak, 2002). Como ya se mencionó no existieron diferencia significativa en este parámetro, sin embargo, gráficamente el tiempo de maduración de 11 semanas presentó mayor adhesividad (Apéndice 3) y también mayor dureza (Cuadro 3)

3.3.2.2 Comportamiento reológico del queso

La reología del queso depende del tipo de queso y estado de maduración que a su vez está en función de factores entre los que destacan la composición y estado fisicoquímico de los componentes, por ejemplo: grasa en estado libre o coalescente, grado de hidratación y proteólisis de la matriz, calcio soluble, insoluble, pH, entre otros (Castro et al., 2014).

El queso ha sido descrito como un gel en emulsión en que todos los glóbulos de grasa láctea y el suero quedan atrapados en una estructura la red de caseína (Lorenzen, et al. 2024). El comportamiento reológico de un queso puede dar indicios de su estructura durante ciertas condiciones, en la Figura 7 se presentan los cambios en G' y G'' en función de la frecuencia durante el proceso de maduración del queso Chapingo. Las figuras rellenas representan el comportamiento elástico o módulo de almacenamiento (G'), mientras que las figuras vacías representan el módulo de pérdida o viscoso (G''). La respuesta elástica predominó a la viscosa ($G' > G''$), lo que refleja el comportamiento típico de los materiales viscoelásticos sólidos débiles (Ustunol et al., 1995) tendencias similares reportaron en estudios en geles de caseína de cuajo (Lorenzen, et al. 2024 y Zhou y Mulvaney, 1998).

Se puede observar que la maduración afectó las propiedades viscoelásticas de las muestras de queso. El tiempo de maduración que presentó los valores más bajos tanto en G' como G'' fue el tiempo de maduración más corto: 3 semanas (1B) mientras que los tiempos de maduración de 15 y 11 semanas (4A y 3A respectivamente) presentaron los valores más altos en ambos módulos. El módulo de almacenamiento (G') está asociado con la rigidez de la red de geles (Lorenzen, et al. 2024), siendo estas últimas dos muestras más firmes que la muestra de 3 semanas de maduración (1B).

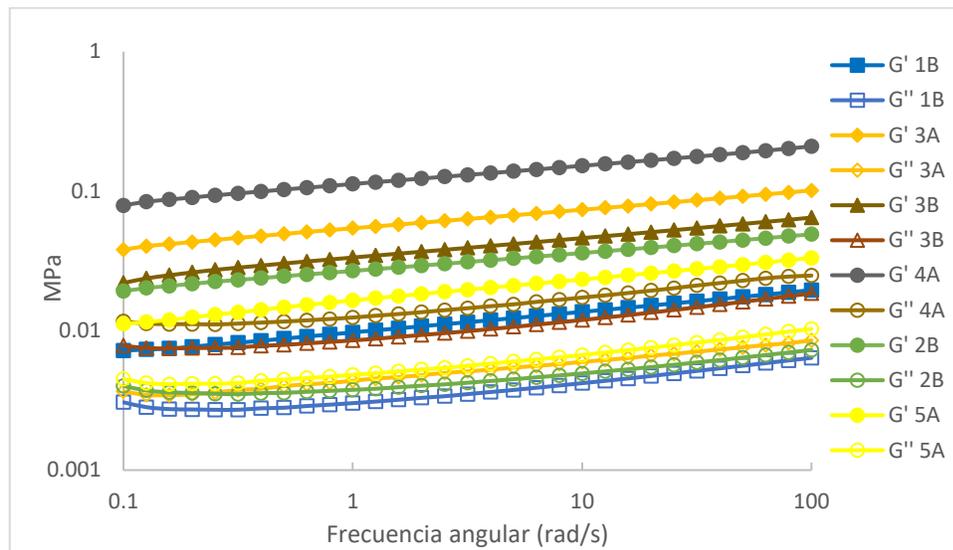


Figura 7. Propiedades reológicas del queso Chapingo en diferentes etapas de maduración.

1B: 3 semanas, 2B: 7 semanas, 3B: 11 semanas; 3A: 11 semanas, 4A: 15 semanas, 5A: 19 semanas. Módulo de almacenamiento (G' : viñetas rellenas) Módulo de pérdida (G'' : viñetas vacías).

Una función que es empleada para describir el comportamiento viscoelástico es la tangente de pérdida ($\tan \delta$), que indica la relación entre la parte viscosa y elástica del material (Castro et al., 2014). Durante el proceso de maduración el ángulo de pérdida ($\tan \delta$), aumento conforme avanzaba el tiempo de maduración lo que indica que el componente elástico del queso Chapingo disminuyó de manera más constante que sus propiedades viscosas (Figura 8) (Schädle, Eisner & Bader-Mittermaier, 2020).

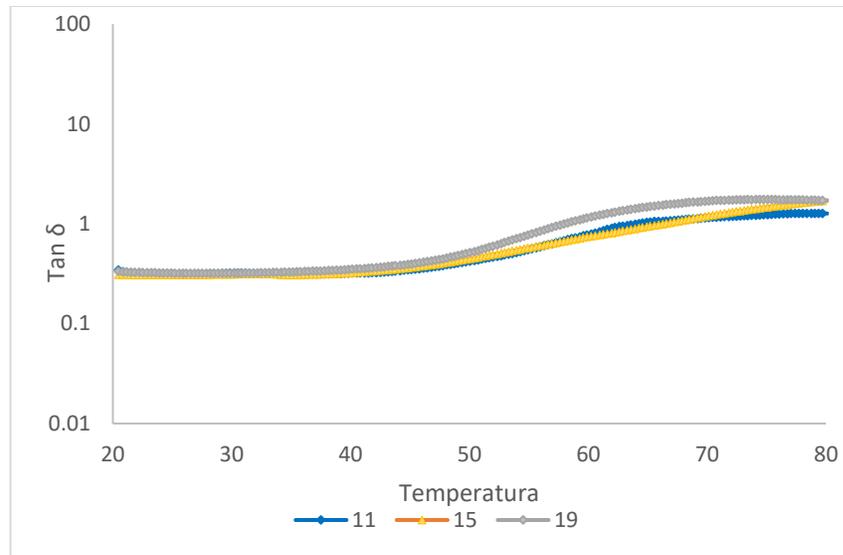


Figura 8. Efecto de la temperatura sobre el ángulo de pérdida ($\text{Tan } \delta$), durante tres etapas del proceso de maduración.

*11,15 y 19 semanas

En la primera etapa de calentamiento de las muestras se observa un ligero aumento en la $\text{Tan } \delta$, mientras que, en la última etapa de calentamiento, esta variable aumenta considerablemente, lo que indica que el G' disminuye a un ritmo más rápido que G'' , esto a su vez se relaciona con un mayor grado de fluidez de las muestras a temperaturas más elevadas (Schädle, Eisner & Bader-Mittermaier, 2020 y Ray et al., 2016).

El barrido de temperatura reveló que, bajo las mismas condiciones de tensión y frecuencia, se requirió de una temperatura más baja para iniciar la fusión de la matriz del queso más maduro (19 semanas) comparado con el queso más joven (11 semanas). Se ha informado que la edad de un queso puede afectar el punto de reblandecimiento, es decir la temperatura a la cual el queso, cuando se calienta, cambia de ser semisólido a ser un fluido (Muthukumarappan, Wang, & Gunarsekaran, 1999).

Los quesos más jóvenes (11 semanas), presentan mantenimiento de las propiedades elásticas en un intervalo de calentamiento mayor, esto puede deberse que la matriz proteica este más estructurada, comparada con la semana

19 donde la matriz ha sufrido cambios bioquímicos importantes como lo es la proteólisis de las caseínas (Fox et al., 2017^a).

3.3.3 Estudio de la microestructura

En esta investigación se utilizó la técnica de microscopía electrónica, la cual permite tener imágenes de los componentes del queso con una resolución mucho mayor, estas imágenes nos permiten visualizar algunos de los componentes del queso: como los glóbulos de grasa y las micelas de caseína; proporcionando así información sobre el tamaño, la forma y la distribución de estos componentes; este tipo de técnicas es usualmente utilizada en quesos semi- maduros y maduros, por ejemplo el queso Cheddar, en el cual su microestructura se desarrolla cuando la leche se coagula para formar un gel, generalmente mediante la acción enzimática de la quimosina (Ong et al., 2011).

Las micrografías pueden dar referencia de las características fisicoquímicas y funcionales como lo es textura y las propiedades de fusión; la predicción y/o control de las propiedades del queso requieren una comprensión de la ubicación de los diversos componentes y sus interacciones durante su proceso, maduración y almacenamiento (El-Bakry & Sheehan, 2014).

En las Figura 9 y 10 es posible visualizar las micrografías de queso Chapingo durante algunas etapas del proceso de maduración (3, 7 y 11 semanas), se logró observar una matriz proteica tridimensional continua bien organizada (recuadros color azul letra P), interrumpida por glóbulos de grasa (algunos de ellos identificados con círculos amarillos y la letra G), se observó que su distribución de tamaño fue muy amplia en un intervalo aproximado de 1.5 a 7 μm de diámetro. Aunque en la preparación de las muestras se utilizó osmio para la fijación de grasa, hubo una pérdida significativa de los glóbulos de grasa en las muestras; pero se observa una distribución homogénea de los espacios donde los glóbulos de grasa estuvieron alojados.

El tiempo de maduración en el cual se observó la microestructura fue muy corto, por tanto, cualitativamente, sólo parecen haberse producido cambios

estructurales mínimos durante este periodo; sin embargo fue posible observar mayor abundancia de glóbulos de grasa más pequeños conforme avanza el tiempo de maduración, los cuales afectan significativamente la textura del queso, ya que por su tamaño son más difíciles de deformar y romper por tanto es menos probable que rompan la matriz de caseína, contribuyendo así a un queso más firme (Everett & Auty, 2008) lo que coincide con el perfil de textura TPA, encontrando que la dureza de los quesos aumenta conforme aumenta el tiempo de maduración.

Durante el proceso de maduración la matriz proteica sufre una transformación de una matriz fibrosa de caseína la cual es formada a partir de cadenas de micelas agregadas que puede observarse claramente en la Figura 10, 3B (11 semanas), en una estructura más amorfa, que como se mencionó no fue posible visualizar ya que el tiempo de maduración en el cual se evaluaron estos cambios fue muy corto. Con el tiempo se espera que la fusión de las cadenas micelares de caseína desarrolle una estructura más homogénea con cavidades séricas más pequeñas (Everett & Auty, 2008).

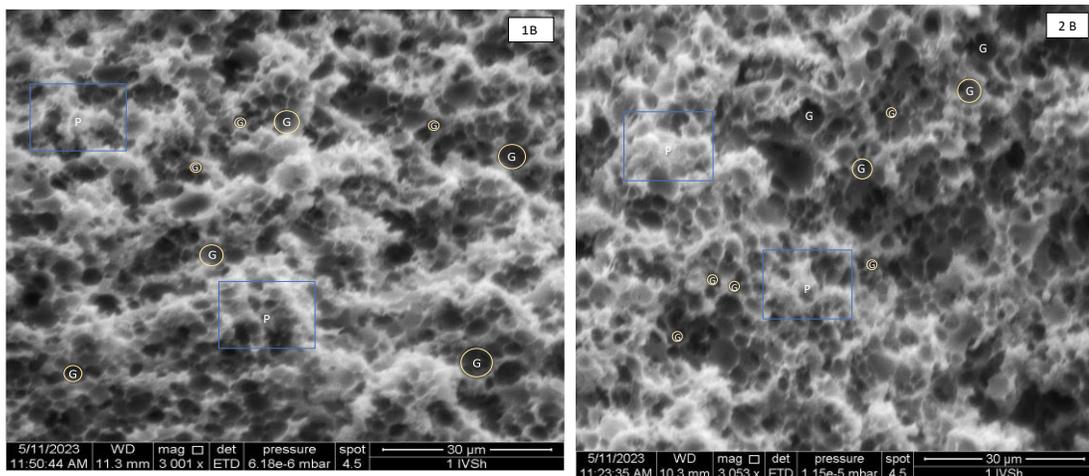


Figura 9 Micrografías de queso Chapingo 3 y 7 semanas de maduración.

Glóbulos de grasa (G), matriz proteica (P).

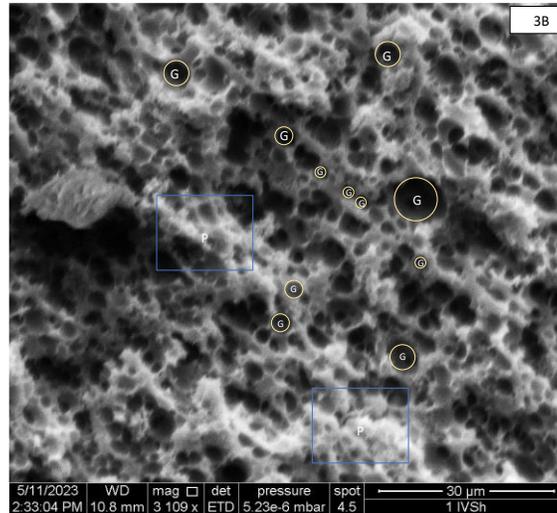


Figura 10. Micrografía de queso Chapingo 11 semanas de maduración.

Glóbulos de grasa (G), matriz proteica (P).

3.3.4 Evaluación sensorial

Los panelistas que evaluaron las diferentes muestras de queso tuvieron en promedio 31 años, estando en un intervalo de 17-74 años, 54 % mujeres y 46 % hombres siendo trabajadores, administrativos, docentes y estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo, todos ellos declararon haber consumido queso Chapingo o algún queso similar (Manchego o Gouda).

El análisis de penalizaciones es un método emergente en la industria alimentaria, proporciona la dirección en el desarrollo y optimización de productos; este análisis produce estadísticas útiles y muestra una gráfica que ayuda a conocer la intensidad del agrado; en el eje “x” se presenta la frecuencia y su penalización en el eje “y”, tal grafico sirve para identificar las categorías no JAR más citadas y con mayor impacto en el gusto (Paries et al., 2022). En la Figura 11 se puede observar el análisis de penalizaciones para esta investigación; el atributo que se citó con mucha frecuencia y que tiene globalmente un fuerte impacto en la disminución del gusto es el “sabor dulce insuficiente” y aunque el “aroma afrutado insuficiente” se citó con menor frecuencia, también tiene un ligero impacto en la disminución del gusto, Wilson & Schooler (1991) encontraron que las personas a menudo carecen de razones conscientes y bien articuladas para sus actitudes y preferencias; cuando se les pide a las personas que reflexionen sobre las razones

por las que les gusta o no un producto, se centran en los atributos más destacados y, cuando luego se les pregunta por sus preferencias, basan sus respuestas en los atributos que parecen ser las razones más plausibles para su preferencia, aunque, en realidad, estos atributos pueden tener poca relación con lo que prefieren.

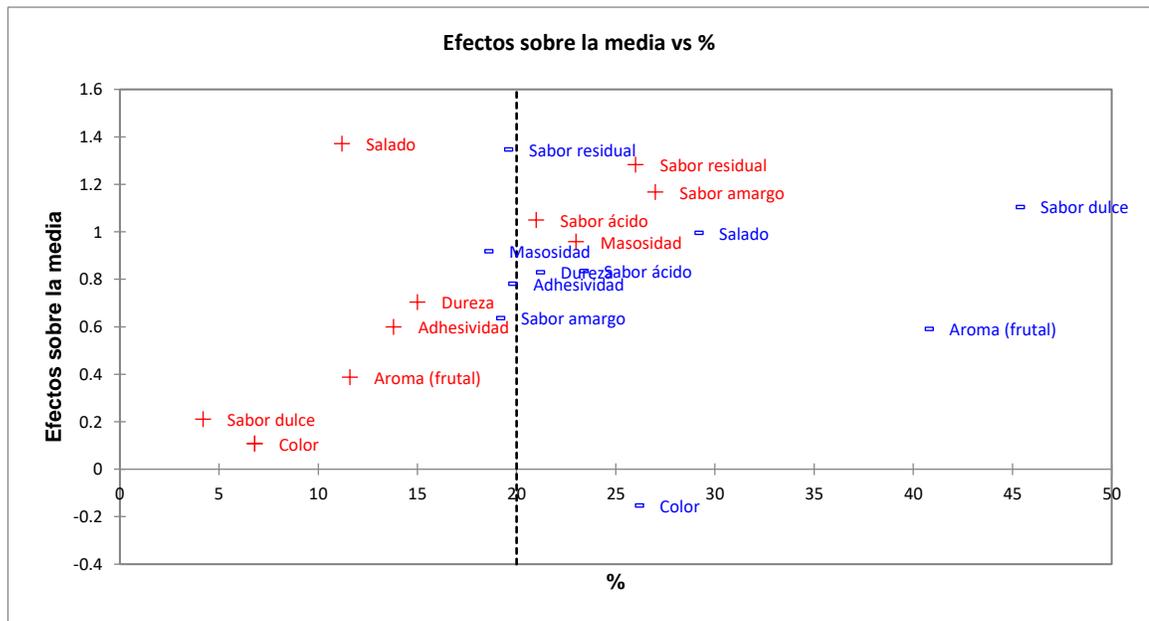


Figura 11. Penalizaciones de medias para los diez atributos (efecto sobre la media frente porcentaje de jueces).

El color azul corresponde a “insuficiente” y el color rojo a “demasiado”

La escala Just About-Right (JAR) ha sido frecuentemente incluida en el cuestionario de pruebas sensoriales a consumidores e investigadores de marketing desde hace ya mucho tiempo, a menudo junto con escalas sensoriales y de agrado (Gacula et al., 2007). Los atributos que deberían considerarse importantes para la aceptación global se basan en el principio de Pareto que al menos un 20% de jueces identifiquen la categoría como no JAR y cuando el efecto sobre la media es mayor a 1 (Fernández Segovia et al., 2018; Narayanan et al., 2014) ; es decir en esta investigación resaltan: el sabor residual (demasiado), sabor amargo (demasiado), sabor ácido (demasiado) y salado (insuficiente), sin embargo estos atributos presentaron un porcentaje menor de

jueces que los calificaron de esta forma respecto a los atributos de sabor dulce y aroma frutal insuficientes.

Generalmente los atributos que se consideran preferidos se sitúan de lado izquierdo inferior de la gráfica (Narayanan et al., 2014) que en este caso fueron sabor dulce (demasiado) y color (demasiado) ya que estos presentan una disminución media baja en el agrado general y un porcentaje bajo de evaluaciones que no son JAR. Se cree que los consumidores consideraron importante el sabor dulce (demasiado) ya que se ha encontrado que los consumidores mexicanos de quesos en general prefieren quesos frescos y de sabor suave (Rendón Rendón & Brunett-Pérez, 2022).

En la Figura 12 se observan los porcentajes acumulados, en este caso, la escala JAR utilizada en la evaluación con cinco puntos se recodificó a solo tres puntos, combinando 1 y 2 como "insuficiente" y 4 y 5 como "demasiado", debido a las pocas respuestas para los puntos extremos de la escala JAR (Paries et al., 2022).

El diagrama de barras permite identificar el porcentaje de jueces que ha calificado la intensidad de cada uno de los atributos según su percepción. Se observa que en algunos atributos el porcentaje de jueces que calificaron tal atributo como insuficiente y demasiado fueron parecidos, por ejemplo, el sabor ácido, dureza, masosidad, sabor residual y sabor amargo; esta división en la población se conoce como condición bipolar que surge debido a una división en las preferencias personales de los consumidores hacia intensidades altas o bajas de un atributo particular (Narayanan et al., 2014), a pesar de que a los panelistas se les preguntó si solían consumir queso Chapingo, Manchego o algún queso madurado para ser candidatos para la evaluación se encontró que en algunos atributos fue notable la división de preferencias. El atributo aroma frutal fue el único que presentó menos del 50 % de panelistas que lo calificaron como JAR (48 %); mientras que los demás atributos presentaron más de la mitad de los jueces que calificaron a la intensidad como ideal.

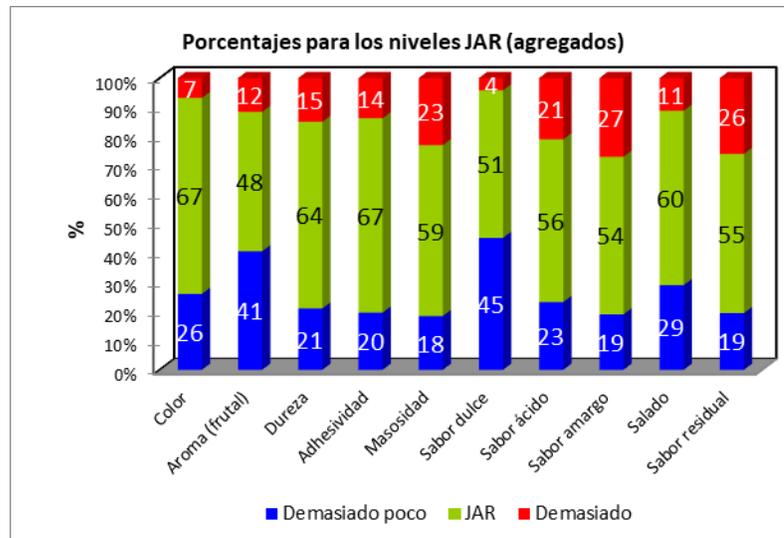


Figura 12. Porcentaje para cada nivel de intensidad en diez atributos evaluados en queso Chapingo.

En la Figura 13 se muestran los atributos que tuvieron mayor impacto en la aceptación global por cada muestra, siendo sabor dulce, el de mayor impacto sobre la aceptación global, la muestra con nivel JAR más alto fue la 3A (11 semanas), en esta muestra un porcentaje importante de jueces (60 %) calificaron el sabor amargo como ideal. En este punto también es importante resaltar que comienza la discrepancia sobre el nivel de este atributo, ya que se observó que las opiniones estaban divididas, 20 % de jueces calificaron el nivel como insuficiente y 20 % de jueces lo calificaron como demasiado. Sin embargo, en la muestra 4A se demostró que un porcentaje importante (31 %) comienza a detectar un nivel demasiado alto para el sabor amargo y en la muestra 5 la mayoría de los panelistas (53 %) detectaron que el sabor amargo fue demasiado.

En el atributo de salado la muestra 3A también fue la que obtuvo el mayor porcentaje de panelistas (65 %) que la detectaron con un nivel ideal. Mientras que en las primeras etapas de maduración (1A y 2A), un porcentaje importante de los consumidores afirmaron que el nivel de salado fue insuficiente (47 % y 36 % respectivamente).

Para el sabor residual, aunque en la muestra 1A la mayoría de los consumidores calificaron el nivel como ideal (62 %), el 27 % señalaron que este nivel fue

insuficiente; por el contrario, en la muestra 3A, se encontró que para el 58 % fue ideal y para el 27 % fue demasiado. En cuanto al nivel de sabor ácido, aunque en todas las muestras 50 % o más de los panelistas calificaron este atributo como ideal, se presenta, una división en las preferencias personales de los consumidores hacia intensidades altas o bajas. Por todo lo anterior, el tiempo de maduración de 11 semanas está en el límite de maduración, que la mayoría de los consumidores prefieren al queso Chapingo.

Algunos atributos que tuvieron influencia en la aceptación global: salado, sabor amargo y sabor ácido fueron citados para describir quesos que al igual que el queso Chapingo llevan a cabo un proceso de maduración y presentan características similares sensoriales: quesos Cheddar y Gouda (Ochi, et al., 2012).

El análisis de varianza reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la aceptabilidad global (Apéndice 4), siendo la muestra 3A la que presentó en promedio el valor más alto en la prueba afectiva (LSD $p \leq 0.05$), reforzando lo que se había mencionado, que la mayoría de los consumidores prefieren consumir el queso Chapingo a 11 semanas de maduración.

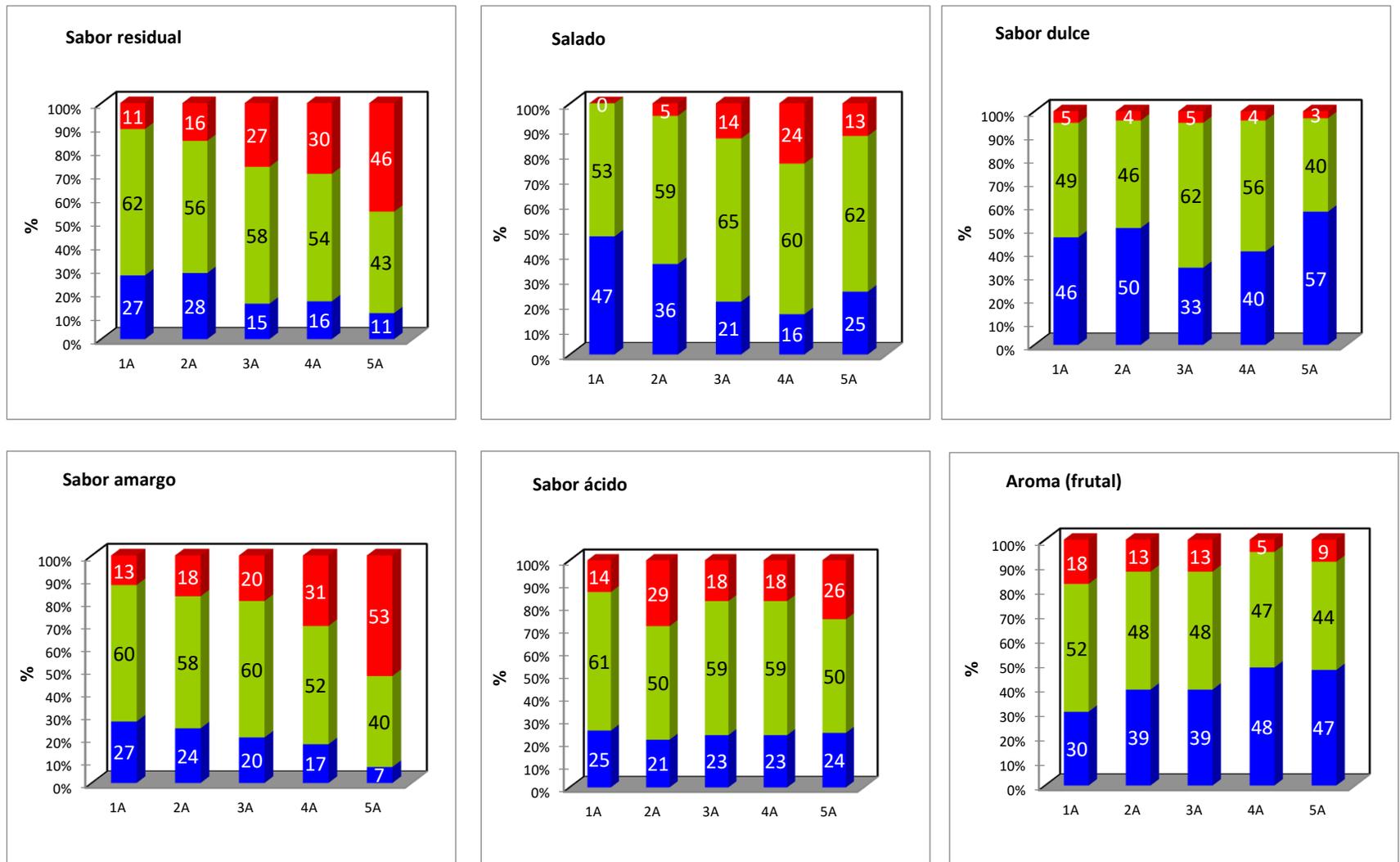


Figura 13 Comparación de los resultados JAR a través de los tiempos de maduración 3, 7, 11, 15 y 19 semanas (1A, 2A, 3A, 4A y 5A respectivamente).

En el Cuadro 1 se presenta la prueba de Friedman para detectar diferencias entre las muestras; se encontraron diferencias en el atributo de sabor dulce para el cual se realizó la prueba de comparaciones múltiples por pares Nemenyi. Este atributo, además, fue el que presentó mayor influencia en la aceptabilidad global.

Cuadro 1. Prueba de Friedman para aceptabilidad de atributos

Variable	Friedman
Color	0.178
Aroma (frutal)	0.782
Dureza	0.786
Adhesividad	0.051
Sabor dulce	< 0.0001
Sabor ácido	0.253
Sabor amargo	0.199
Salado	0.066
Sabor residual	0.178

*diferencias significativas en atributos resaltados en negritas (Friedman, $p \leq 0.05$).

De acuerdo con la escala hedónica utilizada, la mayor aceptación presentó un valor de 9, en este caso se obtuvieron los promedios de jerarquías para sabor dulce entre 2.63 - 3.51, los cuales equivalen a valores de aceptabilidad entre 5.56 - 6.33 relacionados con los términos «Ni me disgusta ni me gusta» y «Me gusta poco» (Cuadro 2). Es posible que las calificaciones bajas para las muestras se deban a que primero se calificó la intensidad de los atributos y después la aceptación. Los estudios muestran que pedir primero a los sujetos que hagan una introspección sobre sus razones por las que les gusta o no un producto puede cambiar su respuesta a una pregunta de preferencia posterior (Popper et al., 2004).

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias Nemenyi para atributo sabor dulce.

Tiempo de maduración	Sabor dulce
5A	2.635a ^z
2A	2.640a
1A	3.025ab
4A	3.190ab
3A	3.510b

^z medias de jerarquizaciones con letra distinta indican diferencia estadística (Nemenyi, $p \leq 0.05$).

El queso Chapingo presenta cambios sensoriales importantes durante el proceso de maduración; la intensidad y aceptabilidad de los atributos es valorada por los consumidores de manera diferente. Los atributos que presentaron mayor impacto en la aceptación global fueron: sabor dulce, aroma (frutal), sabor residual, sabor amargo, sabor ácido y salado; en la mayoría de estos atributos la muestra 3A (11 semanas) presentó el mayor porcentaje de consumidores que definieron a la intensidad como punto ideal (JAR). Atributos como salado, sabor amargo y sabor ácido han sido citados para describir quesos que al igual que el queso Chapingo llevan a cabo un proceso de maduración y presentan características sensoriales similares.

3.4 Conclusiones

Se evidenció una disminución del porcentaje de humedad conforme avanzó el tiempo de maduración por consiguiente un aumento de dureza del queso. Las propiedades reológicas tuvieron cambios importantes: se requirió de una temperatura más baja para iniciar la fusión de la matriz del queso más maduro (19 semanas) comparado con el queso más joven (11 semanas). Se logró observar una matriz proteica tridimensional continua bien organizada interrumpida por glóbulos de grasa. Conforme avanza el tiempo de maduración se observaron glóbulos de grasa más pequeños lo que afecta significativamente la textura del queso, contribuyendo a un queso más firme. Cualitativamente sólo parecen haberse producido cambios microestructurales mínimos durante este periodo. El queso Chapingo presenta cambios sensoriales durante la maduración; la intensidad y

aceptabilidad de los atributos es valorada por los consumidores de manera diferente. Los atributos que presentaron mayor impacto en la aceptación global fueron: sabor dulce, aroma (frutal), sabor residual, sabor amargo, sabor ácido y salado; en la mayoría de estos atributos la muestra 11 semanas presentó el mayor porcentaje de consumidores que definieron a la intensidad como punto ideal (JAR), en este mismo tiempo se mantienen las propiedades elásticas en un intervalo de calentamiento mayor, y el queso es más firme, por tanto se puede decir que es el punto en el que la mayoría de los consumidores más lo aprecian por sus características que se han desarrollado durante este periodo de maduración.

3.5 Bibliografía

- Álvarez Ramos, L., Arrieta Baez, D., Dávila Ortiz, G., Carlos Ruiz Ruiz, J., & Manuel Toledo López, V. (2022). Antioxidant and antihypertensive activity of Gouda cheese at different stages of ripening. *Food Chemistry: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100284>
- Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (2002). Official Methods of Analysis. 17th ed. Official methods cheese. Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (2006). Official Methods of Analysis. 18th ed. Official methods cheese. Gaithersburg, MD, USA
- Castro, A. C., Novoa, C. F., Algecira, N., & Buistrago, G. (2014). Reología y textura de quesos bajos en grasa. *Revista de Ciencia y Tecnología* 22, 58–66.
- Caravaca Rodríguez, F. P. (2003). Bases de la producción animal. España: Universidad de Sevilla.
- Cruz Osorio, R. (2015). CARACTERIZACIÓN DEL QUESO CHAPINGO PARA PATRIMONIALIZACIÓN INSTITUCIONAL [Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria]. Universidad Autónoma Chapingo.
- El-Bakry, M., & Sheehan, J. (2014). Analysing cheese microstructure: A review of recent developments. In *Journal of Food Engineering* 125, (1), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.030>
- Everett, D. W., & Auty, M. A. E. (2008). Cheese structure and current methods of analysis. In *International Dairy Journal* 18, (7), 759–773. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.012>
- Fallico, V., Tuminello, L., Pediliggieri, C., Horne, J., Carpino, S., & Licitra, G. (2006). Proteolysis and microstructure of Piacentinu Ennese cheese made using different farm technologies. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 37–48. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72067-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72067-7)
- Fernández Segovia, I., García-Martínez, E. M., & Fuentes López, A. (2018). Aplicación de las escalas de punto ideal o Just-About-Right (JAR) en análisis sensorial de alimentos. <http://hdl.handle.net/10251/104054>
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2016). Fundamentals of cheese science, second edition. In *Fundamentals of Cheese Science, Second Edition*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^a). Biochemistry of Cheese Ripening. In *Fundamentals of Cheese Science* 391–442. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_12
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017^b). Cheese: Structure, Rheology and Texture. In *Fundamentals of Cheese Science*. 475–532. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_14

- Fox P. F., T. P. Guinee, T. M. Cogan y P. L. Mc Sweeney (2000). *Fundamentals of cheese science*. Editorial Services: Jane Colilla. Estados Unidos de América.
- Gacula, M., Rutenbeck, S., Pollack, L., Resurreccion, A. V. A., & Moskowitz, H. R. (2007). The Just-About-Right intensity scale: Functional analyses and relation to hedonics. *Journal of Sensory Studies*, 2, 194–211.
- Gunasekaran, S., & Ak, M. M. (2002). *Cheese Rheology and Texture* (1st ed.). CRC Press.
- Gutiérrez M. N. (2010). *Características reológicas, sensoriales y fisicoquímicas del queso Chihuahua*. CANICALC, Chihuahua, México.
- Hernández-Morales, C., Hernández-Montes, A., Aguirre-Mandujano, E., & De Gante, A. V. (2010). Physicochemical, microbiological, textural, and sensory characterisation of Mexican Añejo cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 552–560. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00615.x>
- Kaya, S. (2002). Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 155–159. www.elsevier.com/locate/jfoodeng
- Lane, C. N., Fox, P. F., Johnston, D. E., & Mcsweeney, P. L. H. (1997). Contribution of coagulant to proteolysis and textural changes in cheddar cheese during ripening. In *ht. Dairy Journal* 7
- Levak, S., Kalit, S., Špehar, I. D., Radeljević, B., Rako, A., & Kalit, M. T. (2023). The influence of ripening of semi-hard goat cheese in oil on its physicochemical composition and sensory properties. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23533>
- López-Díaz, José A., & Martínez-Ruiz, Nina del R. (2018). Perfil sensorial y fisicoquímico del queso chihuahua considerando las preferencias del consumidor. *Agrociencia*, 52(3), 361-378.
- 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. www.elsevier.com/locate/foodres
- Lorenzen, M., Van den Berg, F. W. J., Lillevang, S. K., & Ahrné, L. (2024). The effect of milk fat content on microstructure and rheological properties of rennet casein gel emulsions. *Food Hydrocolloids*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109243>
- Muthukumarappan, K., & Swamy, G. J. (2017). Rheology, Microstructure, and Functionality of Cheese. In *Advances in Food Rheology and Its Applications*. 245–276. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00010-3>

- Narayanan, P., Chinnasamy, B., Jin, L., & Clark, S. (2014). Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3262–3272. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7365>
- Ochi, H., Naito, H., Iwatsuki, K., Bamba, T., & Fukusaki, E. (2012). Metabolomics-based component profiling of hard and semi-hard natural cheeses with gas chromatography/time-of-flight-mass spectrometry, and its application to sensory predictive modeling. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 113(6), 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2012.02.006>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.026>
- Ortíz-Deleón, A. M., Ramírez-Santiago, C., Sandoval-Castilla, O., Román-Guerrero, A., & Aguirre-Mandujano, E. (2023). Evaluation of physicochemical, rheological, textural, and thermal properties of Mexican manchego-type cheese manufactured from goat s milk. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 22(1), 1–23. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim3012>
- Osorio Cruz, R. (2015). Caracterización del queso Chapingo para su patrimonialización institucional [Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Paries, M., Bougeard, S., & Vigneau, E. (2022). Multivariate analysis of Just-About-Right data with optimal scaling approach. *Food Quality and Preference*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104681>
- Park, Y. W. (2001). Proteolysis and Lipolysis of Goat Milk Cheese. *Journal of Dairy Science*, 84, E84–E92. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70202-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70202-0)
- Popper, R., Rosenstock, W., Schraidt, M., & Kroll, B. J. (2004). The effect of attribute questions on overall liking ratings. *Food Quality and Preference*, 15(7–8), 853–858. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.12.004>
- Ray, C. A., Gholamhosseinpour, A., Ipsen, R., & Hougaard, A. B. (2016). The effect of age on Cheddar cheese melting, rheology, and structure, and on the stability of feed for cheese powder manufacture. *International Dairy Journal*, 55, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.11.009>
- Rendón Rendón, M. C., & Brunett-Pérez, L. (2022). Características y preferencias del consumo de quesos en hogares del Valle de Toluca Estado de México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 1–29. <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1219>
- 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(2).
[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3)

- Schädle, C. N., Eisner, P., & Bader-Mittermaier, S. (2020). The combined effects of different fat replacers and rennet casein on the properties of reduced-fat processed cheese. *Journal Of Dairy Science*, 103(5), 3980-3993.
- Schenkel, P., Samudrala, R., & Hinrichs, J. (2013). Thermo-physical properties of semi-hard cheese made with different fat fractions: Influence of melting point and fat globule size. *International Dairy Journal*, 30(2), 79–87.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.11.014>
- Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2015). Effect of calcium chloride addition and draining pH on the microstructure and texture of full fat Cheddar cheese during ripening. *Food Chemistry*, 181, 111–118.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.135>
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.
- Tunick, M. H., Van Hekken, D. L., Call, J., Molina-Corral, F. J., & Gardea, A. A. (2007). Queso Chihuahua: effects of seasonality of cheesemilk on rheology. In *International Journal of Dairy Technology* 60 (1).
- Ustunol, Z., Kawachi, K., & Steffe, J. (1995). Rheological Properties of Cheddar Cheese as Influenced by Fat Reduction and Ripening Time. *Journal of Food Science*, 60(6), 1208–1210.
- Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., & Duhart, F. (2017). El Queso Chapingo: su reconocimiento institucional como patrimonio cultural inmaterial. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad (RIVAR)*, 136-147.
- Wilson, T. D., & Schooler, J. W. (1991). Thinking Too Much: Introspection Can Reduce the Quality of Preferences and Decisions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 60(2), 181–192. doi:10.1037//0022-3514.60.2.181.
- Zhou, N., & Mulvaney, S. J. (1998). The effect of milk fat, the ratio of casein to water, and temperature on the viscoelastic properties of rennet casein gels. *Journal of Dairy Science*, 81(10), 2561-2571.

4 PERFIL PEPTIDÓMICO EN EL QUESO CHAPINGO DURANTE EL PROCESO DE MADURACIÓN

Resumen

Con el fin de determinar el perfil peptidómico durante el proceso de maduración de queso Chapingo se se obtuvieron extractos acuosos en seis etapas de maduración de queso: 1, 3, 7, 11, 15 y 19 semanas en dos lotes A y B. Las muestras fueron analizadas en un espectrómetro de masas de resonancia de ciclotrón iónico por transformada de Fourier (FT-ICR MS) Solarix XR: Solarix Bruker. El nombre y la estructura de los metabolitos identificados se asignaron con base a su masa carga utilizando el software Bruker Compass MetaboScape 2022 b v.9.0.1 provisto con una base de datos de leche de vaca obtenida en línea: The human Metabolome Data base 5. Se seleccionaron las intensidades de péptidos y aminoácidos para realizar el perfil peptidómico. Se realizó una búsqueda de péptidos bioactivos. Se determinó el porcentaje de proteólisis por el método de TAC (ácido tricloroacético). De acuerdo con los resultados el porcentaje de hidrólisis aumenta según aumenta el tiempo de maduración. Los perfiles peptidómico del queso Chapingo, durante el proceso de maduración, cambian entre los tiempos de maduración y entre lotes. La fenilalanina, lisina, la metionina, arginina e histidina son aminoácidos que tuvieron efecto sobre las características sensoriales. Se identificaron quince péptidos con alguna 'bioactividad y tres secuencias encriptadas dentro de péptidos bioactivos. Las principales bioactividades identificadas para los péptidos incluyen: inhibidores de ECA (enzima convertidora de angiotensina), y dipeptidil peptidasa, entre otras. Por lo tanto, el proteoma del queso Chapingo es dinámico y presenta péptidos bioactivos con diversas propiedades biológicas.

Palabras clave: maduración, proteoma, hidrólisis, péptidos bioactivos

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Isabel Margarita Pascacio Seballon

Directora de Tesis: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

PEPTIDOMIC PROFILE IN CHAPINGO CHEESE DURING THE MATURATION PROCESS

Abstract

To determine the peptidomic profile during the maturation process of Chapingo cheese, aqueous extracts obtained in six stages of cheese maturation: 1, 3, 7, 11, 15 and 19 weeks in two lots A and B. The samples were analyzed in a Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometer (FT-ICR MS) SolariX XR: SolariX Bruker. The name and structure of the identified metabolites were assigned based on their load mass using Bruker Compass MetaboScape 2022 b v.9.0.1 software provided with an online cow's milk database: The human Metabolome Data base 5. Peptide and amino acid intensities were selected to perform the peptidomic profile. A search was conducted for bioactive peptides. The percentage of proteolysis was determined by the TAC (trichloroacetic acid) method. According to results, the percentage of hydrolysis increases as the maturation time increases. The peptidomic profiles of Chapingo cheese, during the maturation, change between maturation times and between lots. Phenylalanine, lysine, methionine, arginine, and histidine are amino acids that influenced sensory characteristics. Fifteen peptides with 'bioactivity' and three encoded sequences within bioactive peptides identified. The main bioactivities identified for peptides include ACE (angiotensin-converting enzyme) inhibitor, and dipeptidyl peptidase inhibitor, among others. Therefore, the proteome of Chapingo cheese is dynamic and features bioactive peptides with diverse biological properties.

Keywords: proteome, hydrolysis, bioactive peptides

Thesis of Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ing. Isabel Margarita Pascacio Sebollon

Advisor: Dra. Ofelia Sandoval Castilla

4.1 Introducción

Los constituyentes más importantes en la elaboración del queso son las proteínas, especialmente las caseínas ya que son las que en mayor proporción se encuentran en la leche. Un fenómeno determinante en el proceso de maduración es la proteólisis de estas proteínas ya que da lugar a la producción de péptidos y aminoácidos libres, determinantes en las características sensoriales y texturales del queso (Fox et al., 2016; Lane et al., 1997).

La proteómica es el estudio a gran escala que permite tener una imagen dinámica de las proteínas que se están expresando en un momento dado, bajo ciertas condiciones de tiempo y ambiente. Éste estudio, en conjunto con otras metodologías permite además de la identificación y cuantificación de las proteínas, localizarlas, conocer sus modificaciones, interacciones, actividades y funciones (Rizo, Cárdenas, & Rodríguez- Sanoja, 2014).

El objetivo de esta investigación fue analizar los cambios en el perfil peptidómico durante el proceso de maduración de queso Chapingo, asociarlos con cambios sensoriales y determinar la bioactividad de los péptidos encontrados.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Perfil peptidómico

Con el fin de determinar el perfil peptidómico del queso Chapingo durante el proceso de maduración se obtuvieron extractos acuosos de queso en diferentes etapas de maduración de dos lotes: (Lote A semanas: 3, 7, 11, 15 y 19, Lote B semanas: 1, 3, 7 y 11) y se mantuvieron en congelación a -18 °C hasta su posterior análisis. Para estos extractos se utilizó la metodología descrita por Aguilar Toalá (2014), con ligeras modificaciones. Se realizaron dos filtrados, uno después del reposo de la muestra a 4°C por 1 h. con un filtro N°1 Whatman™ E Health Care® (USA) y otro después de la centrifugación a 4700 rpm, temperatura de 4°C y tiempo de 30 min (centrifuga Frontier™ FC5718R OHAUS Corporation,

Nanikon, Switzerland), con un filtro de jeringa Corning® diámetro 28 mm, tamaño de poro 0.2 µm (Corning Incorporated, Oneonta, N.Y., USA).

Las muestras fueron analizadas en un espectrómetro de masas de resonancia de ciclotrón iónico por transformada de Fourier (FT-ICR MS) Solarix XR: SolariX Bruker, (Bruker, Bremen, Alemania), el cual se calibró en modo Electrospray (ESI) positivo y negativo con solución de trifluoroacetato sódico. Las muestras se inyectaron en el equipo con una jeringa Hamilton de 250 µL, a un caudal de 120 µL/h. El nombre y la estructura de los metabolitos identificados se asignaron con base a su masa carga utilizando el software Bruker Compass MetaboScape 2022 b v.9.0.1 provisto con una base de datos de leche de vaca obtenida en línea: The human Metabolome Data base 5.

Para la presentación de resultados del listado de metabolitos que se identificaron por el software se seleccionaron únicamente las intensidades de péptidos y aminoácidos y se realizó un mapa de calor con el uso de un software de libre acceso (MetaboAnalyst 5.0).

4.2.2 Grado de hidrolisis

Se determinó el % de hidrólisis en tres etapas del proceso de maduración; utilizando los extractos acuosos se ajustó el pH a 4.6 con una solución de ácido tricloroacético (TCA) al 12%, y se determinó el porcentaje de proteína soluble por el método de Lowry, realizando dos diluciones de los extractos: 4.9 mL de agua destilada y 0.1 mL de extracto, de esta dilución se tomó una alícuota de 100 µL y se diluyó en 900 µL de agua destilada. Después de obtener la concentración de proteína soluble sustituyendo en la ecuación de la recta que se obtuvo se realizó la multiplicación por estos dos factores de dilución. Para determinar el % de hidrolisis se realizó el cociente del porcentaje de proteína soluble entre el porcentaje de proteína total, los resultados se expresaron en porcentaje (Fallico et al., 2006 y Wang et al., 2019).

4.2.3 Coincidencia de bases de datos para la identificación de péptidos bioactivos

Para la identificación de péptidos bioactivos, se buscó la lista de las secuencias identificadas en esta investigación a partir de los resultados de FT-ICR MS con secuencias de péptidos bioactivos en la base de datos BIOPEP-UWM (https://biochemia.uwm.edu.pl/biopep/peptide_data.php, consultado el 8/10/2023) (Huang et al., 2022).

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Perfil peptidómico

La proteólisis es uno de los fenómenos más importantes que ocurren durante el proceso de maduración del queso; este a su vez contribuye en las características de sabor y textura (Gómez-Ruiz et al., 2002). El resultado de este fenómeno es: péptidos de tamaño grande y mediano, que actúan como sustratos para las enzimas (proteinasas y peptidasas) que producen péptidos pequeños y aminoácidos libres los cuales proporcionan las características propias de los que (Clare & Swaisgood, 2000; Rafiq et al., 2021). Las proteínas se hidrolizan por varias vías: por enzimas digestivas y fermentación microbiana (Rodríguez-Hernández et al., 2014); durante el proceso de elaboración de queso Chapingo la actividad residual del agente coagulante (quimosina) puede ser un factor importante para la proteólisis; además de la adición de cultivos iniciadores que dan lugar al proceso de fermentación de la leche; como se mencionó este fenómeno proteolítico contribuye directamente al desarrollo de las características propias del queso Chapingo.

En la Figura 14 se aprecia el perfil peptidómico de dos lotes de queso Chapingo en los diferentes tiempos de maduración evaluados; la escala muestra la intensidad en la que fue detectado el metabolito, esta va desde el color rojo que indica una mayor abundancia hasta azul la cual indica una menor abundancia del metabolito. El perfil peptidómico del queso Chapingo durante el proceso de maduración cambia entre tiempo de maduración y entre lotes; se puede observar que los dos lotes tienen un perfil diferente; el dendograma separa a los dos lotes

A y B; además agrupa los tiempos de maduración con perfiles similares: los quesos con menor tiempo de maduración (3 y 7 semanas de maduración 1A y 2A respectivamente) y por otro lado los que tienen mayor tiempo de maduración (15A y 19 semanas 4A y 5A respectivamente) esto reafirma que el proteoma es dinámico se expresa en un momento dado, bajo ciertas condiciones de tiempo y ambiente (Rizo, Cárdenas, & Rodríguez- Sanoja, 2014).

En el lote A: la semanas 3 y 7 (1A y 2A) se identificaron perfiles similares en cuanto a mayor abundancia de algunos aminoácidos y péptidos: Lis, Asp, Tyr, Pro-Ile, Met-Pro, Phe-Leu, Arg-Arg-Arg, Ala-Phe-Ala, Arg- Cys; mientras que en los tiempo de maduración más prolongados 15 y 19 semanas (4A y 5A) el perfil peptidómico presenta similitudes en algunos metabolitos: Asn, Asp, Tyr, Arg, Thr, Phe, Pro-Ile, Val-Leu, Leu-Ser, Leu-Arg-Asn-Arg, Val-Pro-Pro.

Puede observarse que entre los tiempos de maduración la abundancia de algunos de los péptidos va disminuyendo, por ejemplo: Arg-Arg-Arg y Phe-Leu; mientras que algunos otros que no se presentaban de manera significativa en las primeras etapas de maduración en tiempos más prolongados se observa mayor abundancia: Val-Pro-Pro, Val-Leu, Leu-Ser, Arg, Thr, Leu-Arg-Ans-Arg, Phe.

En el lote B los tiempos 7 semanas y 11 semanas (2B y 3B) presentaron perfil peptidómico similar, entre los péptidos y aminoácidos que destacan son: Phe-Phe-Pro-Arg, Val-Phe-Val-Tyr, Val-Tyr-Leu-Arg, Thr-Try, Cys-Cys-Asp-Pro, Leu-Leu-Tyr, Phe, Cys. Mientras que en el queso que tenía una semana de elaboración (0B) presentaba un perfil diferente destacando algunos péptidos que se encontraban en mayor proporción comparados con los tiempos de maduración más prolongados: Ala-Asp, Leu-Leu-Tyr, Lys-Asp-Tyr; en las 3 semanas este perfil había evolucionado encontrando mayor abundancia algunos péptidos como lo son: Val-Pro-Pro, Leu-Arg-Leu-Ile.

Los microorganismos son en gran medida los responsables del catabolismo de los aminoácidos que a su vez es el proceso más importante en la formación de aromas en los quesos. La mitad de los compuestos aromáticos potentes resultan

principalmente de la fermentación de la lactosa o la degradación del citrato y algunos de la lipólisis, mientras que la otra mitad resulta de la degradación de leucina y metionina (Yvon & Rijnen, 2001).

Como se puede observar en la Figura 14 del perfil peptidómico; la metionina (Met) es un aminoácido que va disminuyendo a lo largo del proceso de maduración, siendo en la etapa de 7 semanas (2A y 2B) donde se puede observar una mayor concentración de este aminoácido; sin embargo, es de esperarse que este compuesto se degrade a lo largo del proceso de maduración para producir algunos metabolitos importantes para el aroma y sabor característico del queso.

Los principales compuestos aromáticos que se producen a partir la metionina son el metional y metanotiol y sus productos de la oxidación, compuestos aromáticos azufrados: el dimetildisulfuro (DMDS) y el dimetiltrisulfuro (DMTS). Estos metabolitos están asociados a aromas específicos por ejemplo se presume que el metional otorga un aroma a patata hervida y es un contribuyente importante del aroma característico del queso Cheddar; mientras que el metanotiol, el DMDS y el DMTS probablemente contribuyan a una ligera nota de ajo en estos quesos (Yvon & Rijnen, 2001).

Algunos otros aminoácidos como la lisina, la valina y la fenilalanina son precursores importantes de compuestos aromáticos y suelen ser más abundantes durante la maduración (Moreira et al., 2018). En esta investigación se encontraron que los aminoácidos: fenilalanina y lisina estuvieron presentes en mayor proporción en las etapas de maduración más prolongadas.

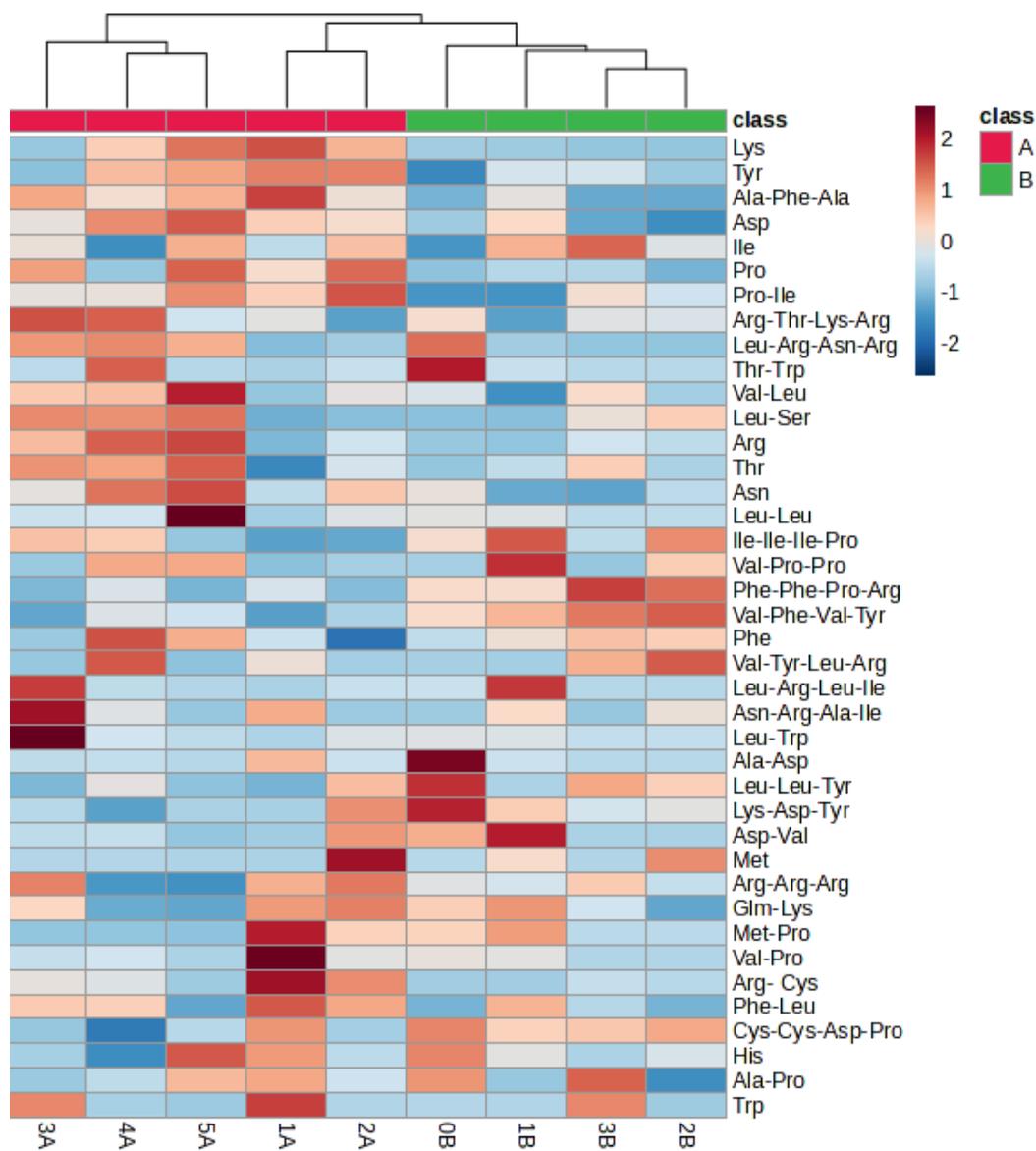


Figura 14. Perfil peptidómico durante algunas etapas del proceso de maduración de queso Chapingo.

Lote A: 1A: 3 semanas; 2A: 7 semanas; 3A:11 semanas, 4A: 15 semanas, 5A: 19 semanas y lote B: 1B: 1 semana; 2B: 3 semanas; 3B: 7semanas; 4B: 11 semanas.

4.3.2 Grado de hidrolisis

El porcentaje de hidrolisis de las proteínas se ve afectado por el proceso de maduración; en la Figura 15 se aprecia que este porcentaje aumenta según el tiempo de maduración aumenta; siendo el más bajo en el tiempo B0 (1 semana); sin embargo, se observó diferencia entre los porcentajes de hidrolisis, el lote B

presentó mayor porcentaje de hidrólisis a tan solo 11 semanas de maduración. Aunque los quesos fueron mantenidos a las mismas condiciones no se puede tener la certeza que el proceso de maduración fue el mismo para ambos lotes y esto se refleja también en el perfil peptidómico.

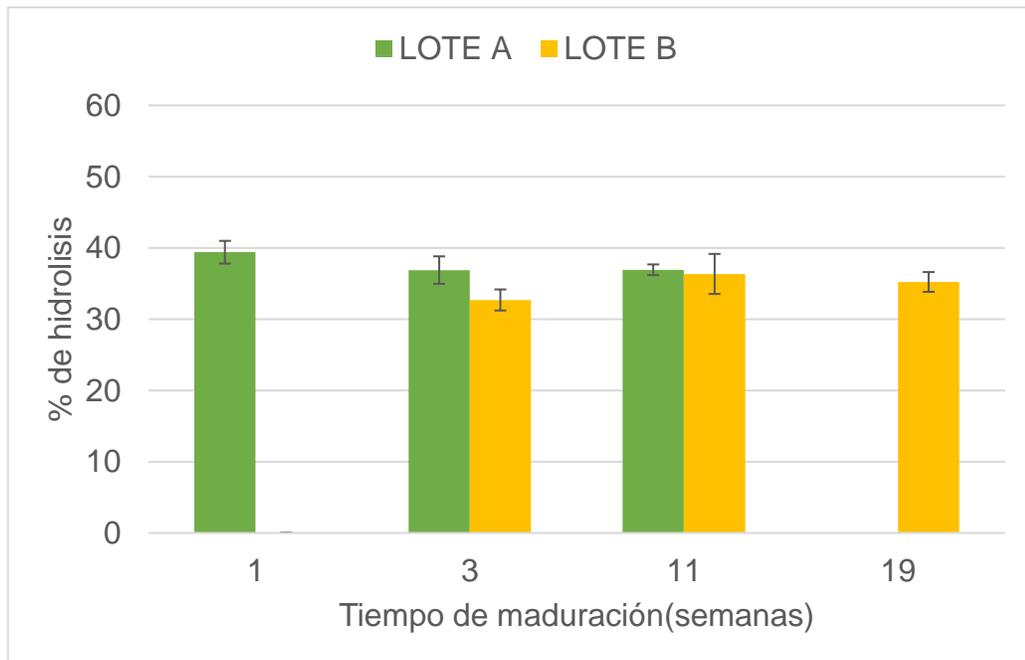


Figura 15. Porcentaje de hidrólisis en dos lotes de queso Chapingo durante el proceso de maduración.

4.3.3 Identificación de péptidos bioactivos

Los péptidos que se liberan durante la proteólisis pueden tener alguna bioactividad dependiendo de factores como la composición de secuencias de aminoácidos y las etapas de maduración de los quesos. Los péptidos bioactivos liberados de los quesos exhiben numerosas funciones terapéuticas potenciales: por ejemplo, antioxidantes, antitrombóticas, antimicrobianas, anticancerígenas, antiinflamatorias y antihipertensivos (Rafiq et al., 2021).

Para fines prácticos la nomenclatura se abrevio. En el Cuadro 3 se puede observar que se identificaron quince péptidos con alguna 'bioactividad y tres secuencias encriptadas dentro de péptidos bioactivos. Las secuencias peptídicas comprendieron entre 2 y 3 aminoácidos. Las principales bioactividades

identificadas para los péptidos incluyen: inhibidores de dipeptidil peptidasa (IV, III), Alpha-glucosidasa y ECA (Enzima Convertidora Angiotensina), péptidos estimulantes, antioxidantes, antiinflamatorios, inmunoestimulantes.

Entre las actividades biológicas que presentaron los péptidos encontrados las que sobresalieron fueron: péptidos inhibidores de ECA seguidos por péptidos inhibidores de dipeptidil peptidasa IV. Los péptidos que inhiben la enzima convertidora de angiotensina (ECA) son péptidos con carácter antihipertensivo (Gómez-Ruiz et al., 2002; Rafiq et al., 2021) en este estudio se encontraron siete de péptidos con esta capacidad (LLY, VP, QK, VPP, AP, RRR, LW), de estos péptidos el que presentó la mayor abundancia fue: LW (Leu-Trp) en el tiempo de maduración 3A (11 semanas).

Cuadro 3. Péptidos bioactivos identificados durante el proceso de maduración de queso Chapingo.

Secuencia	Bioactividad	Secuencia	Bioactividad
AD	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV	MP	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
	Inhibidor Alpha- glucosidasa	FL	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
AP	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV	PI	Inhibidor dipeptidil peptidasa III
	Inhibidor de ECA ^z	TD	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
RRR	Inhibidor de ECA	TW	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
LL	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV		Antioxidante
	Estimulante	VPP	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
	Inhibidor de renina		Inhibidor de ECA
LW	Inhibidor de ECA		Antinflamatorio
	Antioxidante	VL	Estimulante
	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV		Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
	Inhibidor dipeptidil peptidasa III	VP	Inhibidor dipeptidil peptidasa IV
LLY	Inmunoestimulante		Inhibidor de ECA
	Inhibidor de ECA	QK	Inhibidor de ECA
	Antioxidante		

^z ECA: Enzima Convertidora de Angiotensina

Cuadro 4. Secuencias de péptidos encriptadas dentro de un péptido con carácter bioactivo.

Secuencia identificada	Secuencia encontrada en base de datos	Bioactividad
	WAFAPA	Antioxidante
AFA	AAFAATY	Antiinflamatorio
	DVWY	Inhibidor de ECA ^z
DV	QDVL	Inhibidor de ECA
	LSP	Inhibidor de ECA
LS	TLS	Inhibidor de ECA
	LSW	Antioxidante
	LSW	Antiinflamatorio

^z ECA: Enzima Convertidora de Angiotensina. La secuencia peptídica remarcada es la identificada en el queso Chapingo.

Además de los péptidos antioxidantes algunos aminoácidos como la histidina, el ácido glutámico, el ácido aspártico, la serina y treonina fosforiladas se unen a los metales y tienen la capacidad de eliminar los radicales libres y quelar metales prooxidantes (Álvarez Ramos et al., 2022). En esta investigación se observó que la treonina estuvo presente en mayor proporción en las etapas de maduración más prolongadas: semanas 11, 15 y 19 (3B, 3A, 4A y 5A respectivamente) mientras que la histidina se presentó en las primeras etapas del proceso de maduración: 1 y 3 semanas (0B y 1A) y se observó una disminución durante el proceso de maduración, pero en la semana 19 (5A) se observó un aumento significativo de este aminoácido. Por su parte el ácido aspártico únicamente se presentó en el lote A y se observó mayor abundancia conforme avanzó el tiempo de maduración.

Algunos aminoácidos que se presentaron durante el proceso de maduración suelen tener efectos sobre las características sensoriales; por ejemplo, la Arginina, Fenilalanina e Histidina (Arg, Phe, His), tienen efecto en el gusto amargo (Fox et al., 2016); se pudo observar que estos aminoácidos estaban presentes en mayor proporción en tiempos de maduración más prolongados (4A y 5A). Algunos aminoácidos que se presentaron durante el proceso de maduración suelen tener efectos sobre las características sensoriales; por

ejemplo, la Arginina, Fenilalanina e Histidina (Arg, Phe, His), tienen efecto en el gusto amargo (Fox et al., 2016); se pudo observar que estos aminoácidos estaban presentes en mayor proporción en tiempos de maduración más prolongados (4A y 5A).

4.4 Conclusiones

El perfil peptidómico del queso Chapingo durante el proceso de maduración cambia entre tiempo de maduración y entre lotes ya que el proteoma es dinámico se expresa en un momento dado, bajo ciertas condiciones de tiempo y ambiente. Se encontraron perfiles peptidómicos similares en los quesos con menor tiempo de maduración (3 y 7 semanas) y los en los de mayor tiempo (15 y 19 semanas).

Se pudieron encontrar algunos aminoácidos que tuvieron efecto sobre las características sensoriales: la fenilalanina y lisina estuvieron presentes en mayor proporción en las etapas de maduración más prolongadas, siendo precursores de compuestos aromáticos; la metionina, por su parte va disminuyendo conforme aumenta el tiempo de maduración ya que a partir de esta se producen compuestos aromáticos como el metional y metanotiol. En contraste la arginina, y fenilalanina, que tienen efecto en el gusto amargo, estuvieron presentes en mayor proporción en tiempos de maduración más prolongados.

Se identificaron quince péptidos con alguna 'bioactividad y tres secuencias encriptadas dentro de péptidos bioactivos. Las secuencias peptídicas comprendieron entre 2 y 3 aminoácidos. Las principales bioactividades identificadas para los péptidos incluyen: inhibidores de dipeptidil peptidasa (IV, III), Alpha-glucosidasa, inhibidores de ECA (Enzima Convertidora de Angiotensina), péptidos estimulantes, antioxidantes, antiinflamatorios e inmunoestimulantes. Por lo tanto, el proteoma del queso Chapingo es dinámico y presenta péptidos bioactivos, lo cual contribuye a su caracterización y representa un efecto benéfico potencial a la salud de los consumidores.

4.5 Bibliografía

- Aguilar Toalá, J. E. (2014). *Determinación de la capacidad antioxidante de péptidos bioactivos aislados de queso crema de Chiapas*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
- Álvarez Ramos, L., Arrieta Baez, D., Dávila Ortiz, G., Carlos Ruiz Ruiz, J., & Manuel Toledo López, V. (2022). Antioxidant and antihypertensive activity of Gouda cheese at different stages of ripening. *Food Chemistry: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100284>
- Clare, D. A., & Swaisgood, H. E. (2000). Bioactive milk peptides: A prospectus. In *Journal of Dairy Science*, 83 (6), 1187–1195. American Dairy Science Association. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74983-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74983-6)
- Fallico, V., Tuminello, L., Pediliggieri, C., Horne, J., Carpino, S., & Licitra, G. (2006). Proteolysis and microstructure of Piacentinu Ennese cheese made using different farm technologies. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 37–48. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72067-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72067-7)
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2016). Fundamentals of cheese science, second edition. In *Fundamentals of Cheese Science, Second Edition*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
- Gómez-Ruiz, J. Á., Ramos, M., & Recio, I. (2002). Angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides in Manchego cheeses manufactured with different starter cultures. *International Dairy Journal*, 12(8), 697–706.
- Huang, Y. P., Dias, F. F. G., Leite Nobrega de Moura Bell, J. M., & Barile, D. (2022). A complete workflow for discovering small bioactive peptides in foods by LC-MS/MS: A case study on almonds. *Food Chemistry*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130834>
- Lane, C. N., Fox, P. F., Johnston, D. E., & McSweeney, P. L. H. (1997). Contribution of coagulant to proteolysis and textural changes in cheddar cheese during ripening. In *Dairy Journal* 7.
- Moreira, G. M. M., Costa, R. G. B., Teodoro, V. A. M., Paula, J. C. J., Sobral, D., Fernandes, C., & Gloria, M. B. A. (2018). Effect of ripening time on proteolysis, free amino acids, bioactive amines, and texture profile of Gorgonzola-type cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 98, 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.026>
- Rafiq, S., Gulzar, N., Sameen, A., Huma, N., Hayat, I., & Ijaz, R. (2021). Functional role of bioactive peptides with special reference to cheeses. In *International Journal of Dairy Technology*. 74, (1),1–16. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12732>.

Rizo, J., Cárdenas, C., & Rodríguez- Sanoja, R. (2014). Los alimentos: una aproximación proteómica en su estudio . *BioTecnología* 18(3), 30-45.

Rodríguez-Hernández, G., Rentería-Monterrubio, A. L., Rodríguez Figueroa, J. C., & Chávez-Martínez, A. (2014). Biopéptidos en la leche y sus derivados: Funcionamiento y beneficios a la salud. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 281–294.

Wang, F., Liu, N., Li, K., Ma, T., Ren, F., & Luo, J. (2019). Effects of enzyme-modified soybean beverage on the composition, yield, functionality and microstructure of Cheddar cheese-like products. *LWT Food Science and Technology*, 116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819308400>

Yvon, M., & Rijnen, L. (2001). Cheese flavor formation by amino acid catabolism. In *International Dairy Journal* 11.

5 APÉNDICES

Apéndice 1: Formato para evaluación sensorial de queso Chapingo

PRODUCTO: QUESO CHAPINGO

Nombre: _____

Edad: _____

Teléfono: _____

Fecha: _____

Correo: _____

*Nota: Los datos personales serán protegidos de acuerdo con la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública (artículo 113).

Instrucciones: Frente a usted se encuentran cinco muestras queso Chapingo, pruebe las muestras de izquierda a derecha e indique su **ACEPTABILIDAD GLOBAL** de cada uno de los quesos, marque una “X” el grado en el que le guste o disguste cada muestra.

Posterior a ello indique la **ACEPTABILIDAD** para cada uno de los **atributos** y lo **ADECUADO** de la percepción para cada atributo.

MUESTRA: _____

Señale aceptabilidad para el **COLOR** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la **INTENSIDAD DEL COLOR** del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale aceptabilidad para el **AROMA (FRUTAL)** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la **INTENSIDAD DEL AROMA (FRUTAL)** del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para **DUREZA** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DE LA DUREZA del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para la **ADHESIVIDAD** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DE LA ADHESIVIDAD del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para la **MASOSIDAD** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DE LA MASOSIDAD del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para el **SABOR DULCE** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DEL SABOR DULCE del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para el **SABOR ÁCIDO** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DEL SABOR ÁCIDO del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para el **SABOR AMARGO** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DEL SABOR AMARGO del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para el **SALADO** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DEL SALADO del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

Señale su aceptabilidad para el **SABOR RESIDUAL** del queso.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

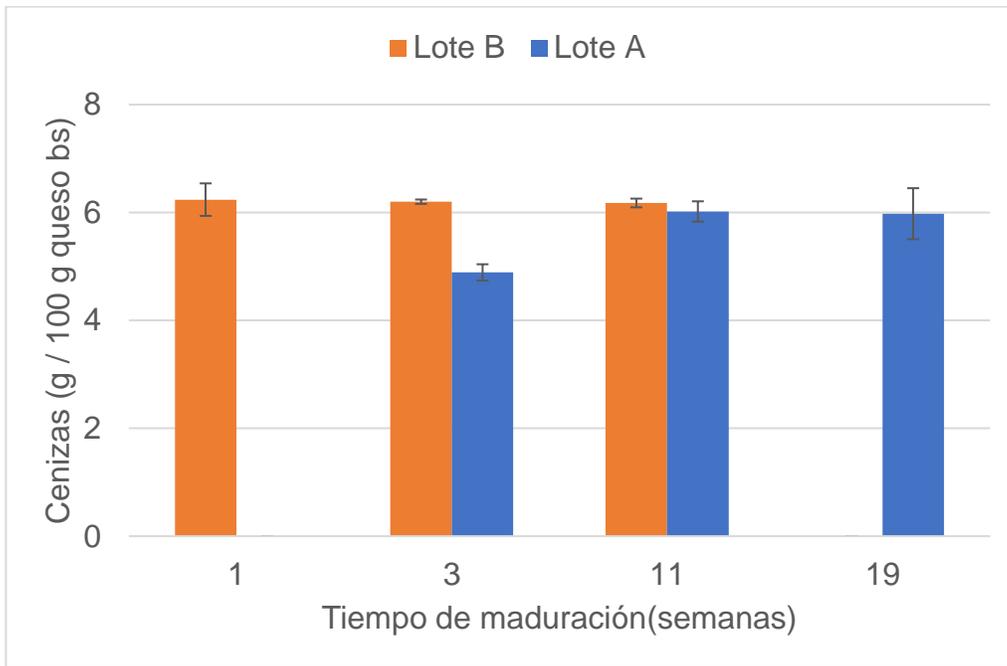
¿Cómo calificaría la INTENSIDAD DEL SABOR RESIDUAL del queso?

1	2	3	4	5
INSUFICIENTE	ALGO INSUFICIENTE	ADECUADO	MUY INTENSO	DEMASIADO INTENSO

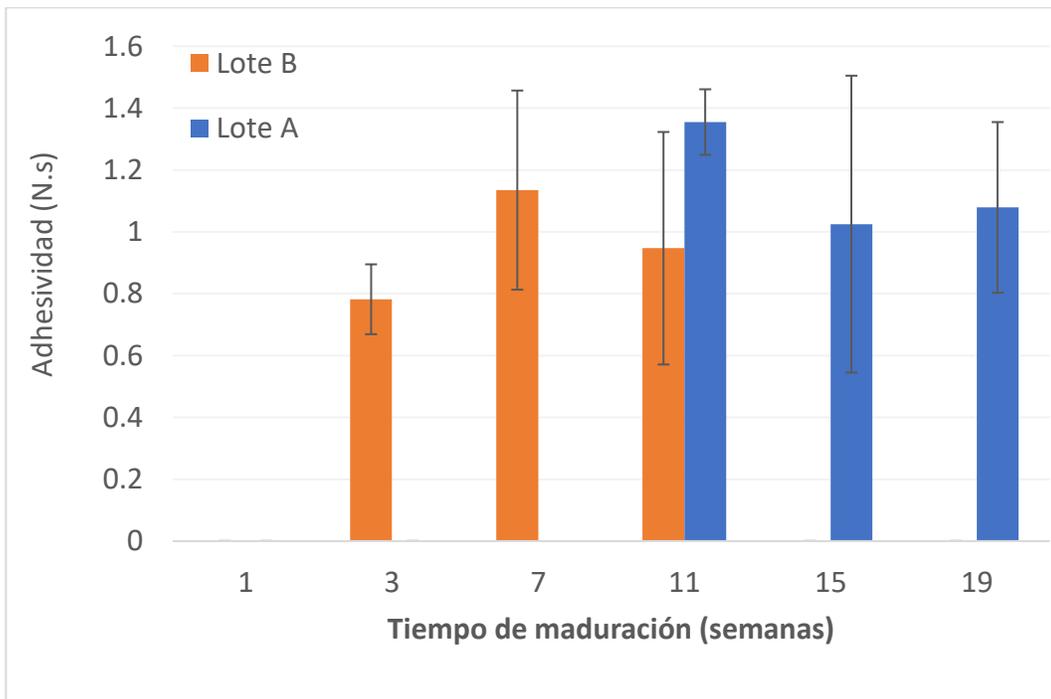
ACEPTACIÓN GLOBAL

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Apéndice 2. Contenido de cenizas en queso Chapingo durante el proceso de maduración.



Apéndice 3. Adhesividad en queso Chapingo durante el proceso de maduración.



Apéndice 4. Prueba de comparación de medias LSD de Fisher para aceptabilidad global durante el tiempo de maduración de queso Chapingo

Semanas	Media	
11	6.82	a ^z
15	6.57	ab
7	6.35	b
3	6.34	b
19	6.24	b

^z medias con letra distinta en la misma columna indican diferencia estadística (LSD, $p \leq 0.05$).