



# UNIVERSIDAD DEL MAR

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DISEÑO DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE MANTEQUILLA  
ARTESANAL DE REQUESÓN Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

### TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRA EN PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL**

PRESENTA

ITB. María José León Núñez

DIRECTOR

Dr. José Guadalupe Gamboa Alvarado

CODIRECTOR

Dr. Miguel Ángel Mazorra Manzano

Puerto Escondido, Oaxaca, México

2022

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la vida

A mis padres, Ana y Arturo

A mis hermanos, Stephanie y Maximiliano

A mi

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACYT por la beca otorgada para mi formación y estudios de la Maestría en Producción y Sanidad Animal.

A la Universidad del Mar – Campus Puerto Escondido, por aceptarme para poder realizar mis estudios de posgrado.

A mis directores de tesis y comité Dr. José Guadalupe Gamboa Alvarado, Dr. Miguel Ángel Mazorra Manzano, Dr, Narciso Ysac Ávila Serrano por su apoyo y guía para el desarrollo de tesis.

Al Dr. Andrés Aguirre Cruz y Dr. Alejandro Aparicio Saguilán, por haberme permitido realizar la estancia de investigación en el Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad del Papaloapan para el desarrollo de la tesis.

A la Dra. Roselis Carmona García, por permitirme realizar pruebas de microestructura en el laboratorio a su cargo en el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tuxtepec

A mis profesores de posgrado Dra. Mónica Marcela Galicia Jiménez, Dr. Marco Antonio Camacho Escobar y al M.C. Jorge Alberto Cruz Torres, por sus conocimientos impartidos.

A Quesería Doña Elma de San Pedro Mixtepec, por su apoyo para la disponibilidad del requesón.

A Quesos Don Conrado de Tataltepec de Valdés, por su colaboración para la documentación del proceso para la obtención de mantequilla de requesón.

A mis compañeras y compañero de generación, Ixayana, Palmira, Nancy y Esteban, por haber compartido esta experiencia al estudiar la maestría.

A mis amigos, gracias Jorge por todo, gracias Ederm por las aventuras, gracias Dayane por tu amistad.

## RESUMEN

El requesón, queso de suero o ricotta, es un producto lácteo obtenido del lactosuero que se genera durante la producción de quesos. En Tataltepec de Valdés, municipio ubicado en la costa de Oaxaca, se produce mantequilla a partir del requesón madurado el cual de manera natural ha perdido su frescura por dificultades en su comercialización. Su producción data de hace más de 4 generaciones y dicho proceso se realiza de manera artesanal. Dicho proceso es de gran relevancia económica para los pequeños productores, ya que se obtiene un producto lácteo de valor a partir de otro que se ha desvalorizado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue documentar, mejorar el proceso de elaboración y evaluar el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de la mantequilla a partir de requesón fresco. Se diseñó un proceso de acidificación para sustituir la maduración natural del requesón con variaciones en las técnicas de batido, adicción de ácidos orgánicos, pH, cantidad y temperatura de agua de lavado utilizada. Se estandarizó el proceso para obtener mantequilla a partir de requesón fresco acidificado con ácido cítrico llevándolo a pH de 4.5 - 5.5 con un tiempo de batido de 60 minutos y un lavado con agua a 5°C en relación 1:2.5. Las mantequillas presentaron características fisicoquímicas y reológicas similares. El proceso propuesto para obtener mantequilla a partir de requesón fresco fue adecuado y eficiente, además de cumplir con parámetros de composición de acuerdo con la normativa internacional. Las adecuaciones al proceso podrían contribuir a mejorar la calidad de la mantequilla artesanal existente, así como ampliar su mercado.

Palabras clave: acidificación, lactosuero, mantequilla, requesón, ricotta.

## ABSTRACT

Cottage cheese, whey cheese or ricotta, is a dairy product obtained from whey a byproduct that is generated during cheese production. Tataltepec de Valdés is a municipality located on the coast of Oaxaca, the butter is produced from ripened cottage cheese, which has naturally lost its freshness due to marketing difficulties. Its production dates more than 4 generations ago and this process is carried out in an artisanal way. This process is of great economic relevance for small producers because a valuable dairy product is obtained from another that has been devalued. Therefore, the objective of this work was to document, improve the elaboration process and evaluate the effect on the physicochemical properties of butter from fresh cottage cheese. An acidification process was designed to replace the natural ripe of the cottage cheese with variations in churning techniques, addition of organic acids, pH, quantity, and temperature of washing water used. The process to obtain butter from fresh cottage cheese was with citric acid, taking it to a pH of 4.5 - 5.5, churning for 60 minutes and washing with water at 5°C in a 1:2.5 ratio. The butters presented similar physicochemical and rheological characteristics. The proposed process to obtain butter from fresh cottage cheese was adequate and efficient, in addition to complying with composition parameters in accordance with international regulations. The adaptations to the process could contribute to improving the quality of the existing artisanal butter, as well as expanding its market.

Keywords: acidification, butter, cottage cheese, ricotta, whey.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. HIPÓTESIS.....	3
4. OBJETIVOS.....	3
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
5. MARCO TEÓRICO.....	4
5.1 Producción pecuaria nacional y estatal.....	4
5.2 Producción industrial de leche y derivados.....	5
5.2.1 Leche.....	1
5.2.2 Queso.....	1
5.2.3 Mantequilla.....	2
5.3 Aprovechamiento del lactosuero en quesería.....	2
5.4 Producción artesanal de mantequilla a partir de crema.....	3
5.5 Características de las zonas productoras de mantequilla a partir de requesón.....	4
5.5.1 Proceso de elaboración de mantequilla de requesón madurado.....	6
6.1 Materia prima.....	8
6.2 Diseño de proceso para el mejoramiento de la producción de mantequilla.....	9
6.2.1 Tipo y tiempo de batido.....	9
6.2.2 Acidificación.....	9
6.2.2.1 Tipo de ácido y pH para la obtención de mantequilla.....	9
6.2.3 Lavado.....	10
6.3 Determinación de pH en mantequillas.....	10
6.4 Determinación de color en mantequillas.....	11
6.5 Análisis bromatológico.....	11
6.6 Análisis de perfil de textura (APT) en mantequillas.....	12
6.7 Análisis de firmeza (corte) en mantequillas.....	12
6.8 Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier – FTIR.....	13
6.9 Microscopía de mantequillas.....	14
6.10 Análisis reológico.....	14
6.11 Análisis estadístico.....	15
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
7.1 Materia prima.....	16
7.2 Diseño de proceso la producción de mantequilla de requesón fresco.....	17
7.3 Caracterización de mantequillas.....	19
7.4 Caracterización espectral IR de mantequillas.....	22
7.5 Perfil de textura de mantequillas.....	28
7.6 Análisis reológico.....	29

7.7 Micrografías de mantequillas .....	34
8. CONCLUSIONES .....	37
9. PERSPECTIVAS .....	39
10. BIBLIOGRAFÍA.....	40
11. ANEXOS.....	50

## LISTA DE TABLAS

Cuadro 1. Producción industrial de leche y derivados lácteos en México durante el periodo 2010 -2018.....	6
Cuadro 2. Características fisicoquímicas de leche fresca de ganado bovino de la comunidad de San Pedro Mixtepec .....	16
Cuadro 3. Características fisicoquímicas de requesón fresco producido en la comunidad de San Pedro Mixtepec.....	17
Cuadro 4. Características fisicoquímicas de mantequilla artesanal de Etlá (MAEtlá) y de mantequilla de requesón acidificado (MR4.5 – MR5.5) .....	21

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de los lugares donde se elabora la mantequilla de requesón en la costa de Oaxaca.....	5
Figura 2. Medición de pH en muestra de requesón .....	11
Figura 3. Medición de color en mantequilla con colorímetro manual .....	11
Figura 4. Análisis de perfil de textura (APT) en mantequilla artesanal .....	12
Figura 5. Análisis de firmeza en mantequilla artesanal y de requesón.....	13
Figura 6. Observación en microscopio de mantequillas a 100 x.....	14
Figura 7. Comportamiento reológico de mantequilla artesanal y mantequillas elaboradas a partir de requesón.....	15
Figura 8. Diagrama de elaboración de mantequilla a partir de requesón fresco.....	18
Figura 9. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MAEtlá .....	25
Figura 10. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MR4.5 .....	26
Figura 11. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MR5.5 .....	27
Figura 12. Comportamiento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras de mantequilla a 10°C.....	31
Figura 13. Comportamiento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras de mantequilla a 20°C.....	31
Figura 14. Comportamiento del módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras de mantequilla a 10°C.....	32
Figura 15. Comportamiento del módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras de mantequilla a 20°C.....	32
Figura 16. Tan ( $\delta$ ) de muestras de mantequilla a 10°C.....	33
Figura 17. Tan ( $\delta$ ) de muestras de mantequilla a 20°C.....	33
Figura 18. Micrografías de muestras de mantequilla (MAEtlá (a), MR4.5 (b) MR5.5 (c) observadas a 100 x.....	36

## 1. INTRODUCCIÓN

El hato bovino lechero en México es aproximadamente de 2.6 millones de cabezas de ganado, con una producción de 12.7 mil millones de litros de leche anuales. Los sistemas de producción láctea de pequeña escala son fundamentales para mejorar la pobreza rural ya que proporcionan más del 30% del suministro nacional de leche, su participación es del 78% de las granjas lecheras representadas por alrededor de 300 mil pequeños y medianos productores (Sainz *et al.* 2017). Dichas granjas juegan un papel fundamental en el sistema productivo lechero, ya que a partir de ellas se derivan las unidades de producción láctea artesanal, que se distinguen por su baja capacidad de producción, transformación de la leche y aprovechamiento de subproductos (Mazorra *et al.* 2019).

La producción láctea artesanal, está conformada por pequeños productores o artesanos con capacidad instalada limitada en donde se implementan conocimientos tradicionales para la elaboración de productos lácteos con características distintivas (Centeno-Rodríguez *et al.* 2020).

La mantequilla producida en Tataltepec de Valdés, Oaxaca se elabora a partir de requesón madurado y la producción es de baja escala sin embargo se requiere de mano de obra intensiva para su transformación.

El cumplimiento de los requisitos que aseguren la inocuidad de la mantequilla, características bromatológicas y sensoriales, no están definidos, lo cual es indispensable para su integración en la cadena productiva, esto permitiría mejorar e innovar productos para el consumidor (Georgiadis *et al.* 2019).

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar un proceso que permitiera mejorar el proceso de elaboración de mantequilla a partir de requesón fresco acidificado, así como la caracterización fisicoquímica de la materia prima y el producto obtenido por dicho proceso.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado de Oaxaca las unidades de producción pecuaria son de pequeña escala con bajos niveles de tecnificación, poca capacidad para la agregación de valor y con un bajo nivel gestión de calidad e inocuidad debido a la falta de aplicación de buenas prácticas de manufactura y de manejo por parte de los productores, teniendo como resultado parámetros productivos limitados.

Los lácteos con mayor demanda son la crema, el queso y la mantequilla. En la región de la Costa, en el municipio de Tataltepec de Valdés, se produce mantequilla a partir de requesón que se ha madurado por efecto de la baja demanda, la conservación en refrigeración ha sido aproximadamente por 8 días. El aprovechamiento del requesón para la elaboración de mantequilla es de gran importancia tecnológica ya que se revaloriza el lactosuero para obtener el requesón y este a su vez se aprovechar cuando ha perdido su valor comercial para la producción de otro con alto valor como lo es la mantequilla.

En Tataltepec de Valdes se produce la mantequilla de requesón madurado, este lugar se caracteriza por tener una alta producción láctea que permite cubrir la demanda local y comercializar en zonas conurbanas. En el caso de la mantequilla de requesón, tiene una baja demanda de aproximadamente 150 kg anuales y su elaboración es sobre pedido, por lo que es necesario que productos regionales como la mantequilla de requesón se posicione en nuevos mercados para su reconocimiento y valorización.

Actualmente no existe evidencia científica y tecnológica que avale el proceso de elaboración y características fisicoquímicas de la mantequilla, por lo tanto, este proyecto pretende documentar el proceso tradicional y diseñar un proceso estandarizado para obtener mantequilla a partir de requesón fresco.

### **3. HIPÓTESIS**

La acidificación del requesón fresco con ácidos orgánicos puede sustituir el proceso de maduración natural para obtener mantequilla de requesón con características fisicoquímicas y reológicas similares a la de una mantequilla artesanal.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Definir el proceso de elaboración de mantequilla de requesón y su caracterización fisicoquímica.

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el proceso de elaboración de mantequilla a partir de requesón fresco acidificado.
- Determinar las características fisicoquímicas en requesón y mantequilla.
- Evaluar el comportamiento reológico y microestructura de la mantequilla obtenida con requesón fresco acidificado.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Producción pecuaria nacional y estatal

La producción lechera en México está conformada por 250,000 lecherías, principalmente micro y pequeñas unidades con menos de 100 cabezas de ganado. La región de La Laguna está compuesta por los estados de Durango y Coahuila, caracterizándose por ser la zona productora de leche más grande de México, de tamaño industrial y con gran inversión en tecnología y genética para el mejoramiento de la calidad de leche, rendimiento, resistencia al calor y enfermedades (SIAP 2022).

En el 2021 se produjeron 12.84 mil millones de litros de leche de vaca. La raza más utilizada en las lecherías industriales es la Holstein debido a la gran producción de leche anual con un alto porcentaje de grasa. El promedio de producción de leche por día ronda los 37 L a diferencia de los 9 L de leche que producen las razas con cruces de ganado Cebú (*Bos indicus*) del sureste de México. La producción de leche es más alta durante la primera mitad del año en comparación con la segunda mitad, sin embargo, la demanda se comporta de manera inversa (SIAP 2022).

En el estado de Oaxaca la actividad pecuaria ocupa 25% del suelo rural con una superficie potencial para la ganadería de 2.8 millones de hectáreas conformado por un inventario estatal de 1.6 millones de bovinos (GEO 2016a). La organización de los productores está dada por 3 uniones ganaderas regionales y 290 asociaciones ganaderas locales (SAGARPA 2017). Aproximadamente el 60% de las unidades de producción bovina en la entidad se desarrollan en explotaciones bajo un sistema de doble propósito (carne y leche), y se destaca por el valor de la producción pecuaria la región del Istmo, el Papaloapan y la Costa (GEO 2016b).

La región de la costa se ubica en el suroeste de Oaxaca, siendo una franja paralela a lo largo del litoral del Océano Pacífico en dirección NW-SE con una longitud de

250 kilómetros y una amplitud de 40 a 50 kilómetros, ubicada en los párelos 15° 39' y 17° 10' al norte, 95° 55' y 98° 30' al oeste del meridiano de Greenwich. La superficie territorial es aproximadamente 1 millón 120 mil hectáreas, siendo el 12.75% de la superficie total del estado. Los distritos que conforman la región son Jamiltepec, Juquila y Pochutla.

Los hatos constan de un promedio de 100 animales de los cuales el 22% son vacas secas, 18% terneros, 17% vaquillas, media ceba 14%, destetes 10%, engorda 3% y sementales 2% (Durán *et al.* 2018).

## **5.2 Producción industrial de leche y derivados**

Entre el 2010 y 2018, la producción industrial de leche y derivados lácteos registró un comportamiento favorable en la mayor parte de los productos, de acuerdo al INEGI se destaca la producción de yogurt y quesos, con una tasa de crecimiento promedio de 7.3 y 5.7% respectivamente, mientras que la producción de leche en polvo y de mantequilla creció por arriba del 2.0% en promedio (Cuadro 1). México se ubica como el quinto consumidor mundial de mantequilla siendo el consumo anual per cápita de 1.7 kg (CANILEC 2021).

Cuadro 1. Producción industrial de leche y derivados lácteos en México durante el periodo 2010 -2018

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Leche pasteurizada * 1/	2791100	2791446	2552302	2490216	2401458	2367031	2363214	2335643	2232196
Leche ultrapasteuri zada * 2/	1650258	1483590	1266674	1257154	1165700	1180084	1258429	1277198	1250131
Yogurth /3	763188	785097	803419	767436	733820	764820	771439	753685	733676
Crema /4	124079	127779	166178	182119	193690	198796	197239	200587	201748
Leche en polvo 5/	230753	241074	253487	263373	244855	251280	258188	258196	239052
Quesos 6/	266323	275411	292551	323944	353573	363271	375597	398809	418589
Mantequilla	14463	14985	19262	20921	19530	23159	25752	27438	31243

Fuente: INEGI

\*/ Miles de litros

1/ Incluye leche pasteurizada, homogeneizada entera, descremada, rehidratada y de sabores.

2/ Incluye leche entera y descremada.

3/ Incluye yogurt natural, yogurt con frutas y/o cereales, para beber y licuados.

4/ Incluye crema o grasa butírica y crema de leche natural.

5/ Incluye leche entera, descremada y para lactantes.

6/ Incluye quesos Amarillo, Chihuahua, Crema, Doble Crema, Fresco, Manchego, Oaxaca, Panela y Otros.

### **5.2.1 Leche**

La leche que se industrializa en México se transforma en pasteurizada, entera pasteurizada y homogenizada, descremada pasteurizada y homogeneizada, de sabor, rehidratada, ultra pasteurizada, entera ultra pasteurizada, descremada ultra pasteurizada. El 77% de los hogares tienen acceso y consumen leche líquida. Sin embargo, en comparación con el consumo de leche con otros países, México ocupa la última posición entre los países de América del Norte con 62 litros per cápita. En el 2021 el consumo de leche se estimó en 13.04 millones de Tm (USDA 2021) a partir de los cuales el consumo doméstico fue de 4.15 millones de Tm y el consumo industrial de 8.9 millones de Tm. Las principales empresas dedicadas a la producción de leche son Grupo Lala y Ganaderos Productores de Leche Pura (Alpura), con una participación conjunta de mercado superior al 50% (CANILEC 2021).

### **5.2.2 Queso**

Los quesos con mayor producción en México son el amarillo, Chihuahua, crema, doble crema, fresco, manchego, Oaxaca y Panela. El consumo de queso en México es de 4 kg per cápita. En el 2021 la producción de queso fue de 448,000 Tm. Cada vez son más los productores de leche con operaciones industrializadas que buscan integrarse a cooperativas o crear empresas conjuntas para transformar la leche en queso y prolongar la vida útil de la leche (USDA 2021).

Los estados de Jalisco, Chihuahua, Querétaro, San Luis Potosí, Michoacán y Chiapas producen la mayor parte del queso de México (tanto industrial como artesanal), el 75% de la producción es de quesos de masa blanda. La producción de queso es en su mayoría artesanal y de pequeña escala con el objetivo de satisfacer la demanda regional. Las operaciones industriales de queso representan una cuarta parte de todo el queso producido en México. Las principales empresas productoras de quesos son Chilchota Alimentos y Sigma

Alimentos, que conjuntamente tienen una participación de mercado del 50%, la participación de Lala, Alpura y La Esmeralda es del 18% (CANILEC 2021).

### **5.2.3 Mantequilla**

En 2021, la producción de mantequilla se estimó en 235,000 Tm. El consumo de mantequilla en México es de 0.5 kg per cápita, este consumo es bajo en comparación con los consumos per cápita más altos que se encuentran en países como Francia o Nueva Zelanda (8 - 5 kilogramos, respectivamente). La producción de mantequilla a gran escala en México está liderada por tres empresas que controlan el 70% de la participación de mercado. Al igual que el queso, las lecherías producen mantequilla como un producto de valor agregado para vender a nivel local o regional (USDA 2021).

### **5.3 Aprovechamiento del lactosuero en quesería**

El lactosuero se genera mediante la coagulación de la caseína con cuajo o ácido, contiene aproximadamente el 50% de los sólidos totales de la leche (5-6 % p/v) y el 20% es proteína láctea total. La fracción sólida es 75% lactosa y el 13% proteína bruta. Las proteínas de lactosuero son valoradas por su efecto fisicoquímico y fisiológico (Barukčić *et al.* 2021).

Cuando la producción de queso es en pequeña escala para dar valor agregado a la leche, el lactosuero generado se considera un desecho y se utiliza para alimentar a los animales, pero cuando la producción de queso es a gran escala el lactosuero pasa a ser un desecho contaminante por su alto contenido en macronutrientes (Carvalho *et al.* 2021).

Actualmente existen diversas técnicas para el fraccionamiento de compuestos presentes en el lactosuero, estos son procesos comerciales y económicamente viables. La concentración de los sólidos totales puede ser mediante el proceso de osmosis inversa seguido de la evaporación y secado para la obtención de

lactosuero en polvo condensado. El fraccionamiento de los sólidos totales se utiliza para separar y recuperar la proteína (lactoperoxidasa, lactoferrina, a-lactoalbumina y b-lactoglobulina). Además, mediante la fermentación de la lactosa se puede producir alcohol y otros metabolitos de valor (Tetra Pak 2021).

Las unidades de producción de queso de mediana escala y de tipo familiar, aprovechan el lactosuero dándole un valor agregado dependiendo si es dulce, ácido o salado. El dulce se puede utilizar para la producción de biomasa microbiana, como cultivo iniciador, para la elaboración de bebidas funcionales y fórmulas lácteas. Mientras que el ácido o salado se utiliza en la confitería, elaboración de bebidas carbonatadas, bebidas fermentadas, cultivo de kéfir, requesón y mantequilla de lactosuero (Mazorra *et al.* 2019).

#### **5.4 Producción artesanal de mantequilla a partir de crema**

La mantequilla es un producto lácteo elaborado a partir del batido de crema fresca o fermentada, compuesta de grasa láctea, agua y proteínas de la leche. La mantequilla es elaborada con mayor frecuencia a partir de leche de vaca, pero también se puede elaborar a partir de la leche de otros mamíferos, como ovejas, cabras, búfalos, camellos y yaks (Valenzuela & Valenzuela 2015).

La producción de mantequilla artesanal tiene etapas definidas, primero se separa la grasa de la leche mediante el desnatado, la crema, cultivada o no, se mantiene a una temperatura determinada y luego se bate, posteriormente los granos de mantequilla obtenidos se lavan y se amasan.

- **Descremado.** Es una operación que los productores realizan durante el ordeño, la crema se obtiene a partir de la leche y se puede agregar o no cultivos iniciadores como crema madurada o cultivos iniciadores mesófilos.
- **Maduración:** Las características de maduración de la mantequilla dependen de las condiciones climatológicas, la estación del año que se produzca y el lugar en donde se elabore.

- Batido. La etapa de batido es fundamental en el proceso de elaboración de mantequilla artesanal ya que en esta fase la emulsión de aceite en agua de la crema se convierte en una emulsión de agua en aceite. Esta etapa puede realizarse en mantequera de acero inoxidable o madera.
- Lavado. Este paso consiste en eliminar los residuos de lactosuero. La mayoría de los productores utiliza agua corriente o agua de pozo. El tiempo de lavado de la mantequilla varía según el productor y en algunos casos se realizan tres o cuatro lavados. La cantidad de agua empleada es menor al volumen de crema inicialmente presente en la mantequera y en algunos otros casos se añade agua con relación a la cantidad de crema. Para lograr una consistencia que la mantequilla sea más homogénea y tenga una buena dispersión del agua se realiza un amasado no mayor a los 5 minutos.
- Moldeado. Se realiza de forma manual, en palets y moldes de madera, finalmente se empaqueta en papel manteca y se refrigera (Deosarkar *et al.* 2016).

### **5.5 Características de las zonas productoras de mantequilla a partir de requesón**

En Tataltepec de Valdés la crianza de ganado bovino es una actividad desarrollada por los productores con mayor nivel económico, la superficie dedicada a la ganadería es de 5,236 hectáreas. Existen aproximadamente 220 productores de bovinos de doble propósitos y solo 196 se encuentran organizados mediante la asociación ganadera local. La actividad ganadera se desarrolla en las partes bajas de los lomeríos y terrenos con pocas pendientes y actualmente se encuentran también en las partes altas de los cerros con mucha pendiente. El sistema de pastoreo es de tipo rotacional extensivo (DIGEPO 2015).

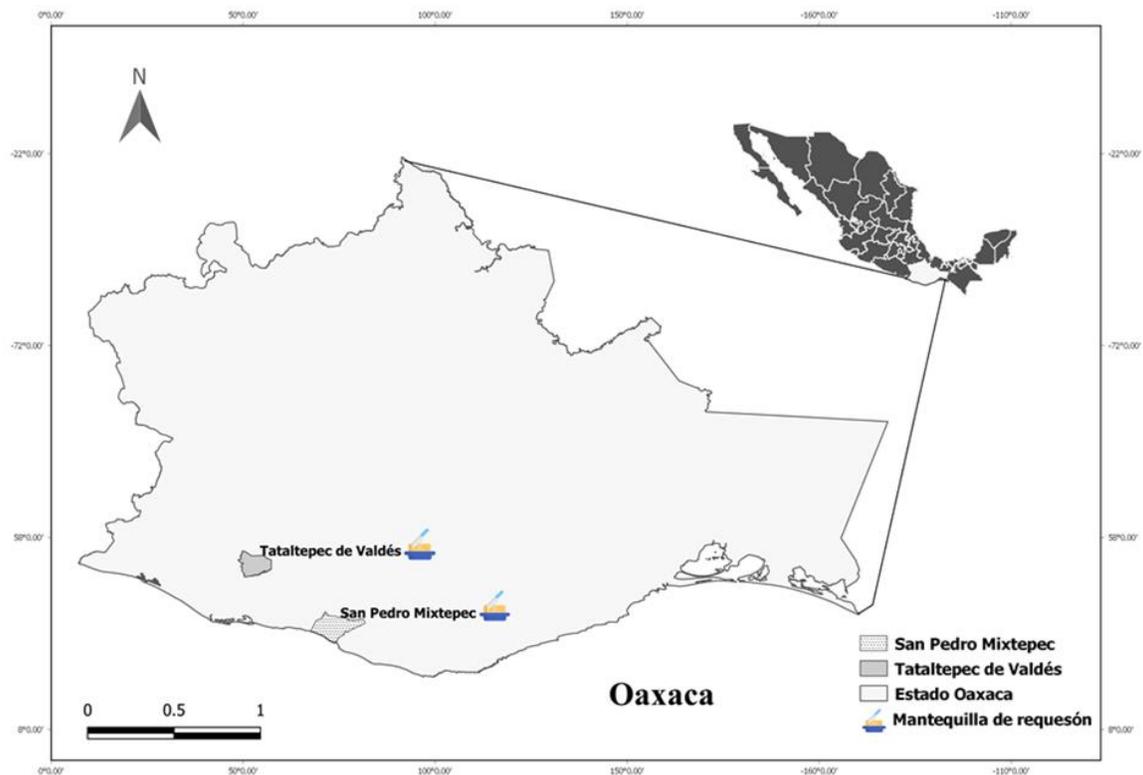


Figura 1. Mapa de localización de los lugares donde se elabora la mantequilla de requesón en la costa de Oaxaca

Fuente: Elaboración propia

Las razas que existen en el lugar son cruza de Indobrasil, Sardo Negro, Criolla, Holstein, Suizo Americano y Europeo siendo un total de 2,500 cabezas de ganado de los cuales el 3% son sementales, el 25% son de vientres (para producción de leche y doble propósito) y el 72% es ganado en desarrollo o engorda. La alimentación se basa en pastizal tipo guinea (*Megathyrsus maximus*), estrella africana (*Cynodon niemfluensis*), insurgente (*Brachiaria brizantha*), pará (*Brachiaria mutic*) y llanero (*Brachiaria humidicola*) complementado con maíz molido y melaza. El tipo de ordeña es mayormente manual y se realiza una vez al día con un promedio de 6 L de leche por vaca (CMDs 2010).

La producción de quesos es de tipo artesanal y su venta se destina al mercado local y comunidades cercadas al municipio como: Peñas Negras, Tututepec,

Panixtlahuaca, Zenzontepec, entre otras comunidades. La venta de los animales es en pie y se hace de forma individual por parte de compradores de Peñas Negras, Puerto Escondido, Rio Grande y San Pedro Mixtepec. Los productores venden su ganado por motivos económicos familiares y no cuando existen ventajas comerciales. Las principales enfermedades que afectan a los animales son el derriengue y carbón sintomático (DIGEPO 2015).

### **5.5.1 Proceso de elaboración de mantequilla de requesón madurado**

La mantequilla de requesón madurado es un coproducto artesanal de color amarillo blanquecino, textura blanda o semilíquida de acuerdo a la temperatura que se encuentre, con una textura grasosa, lechosa y con agua libre, el sabor es característico de mantequilla con sabores relacionados al requesón y leche cruda.

La materia prima para elaborar este tipo de mantequilla es el requesón, los productores emplean requesón que se ha mantenido en refrigeración aproximadamente en un periodo de 8 días, después de este tiempo el requesón ha tenido cambios fisicoquímicos entre los que se encuentra la acidificación por efecto de la maduración. El requesón se pone a temperatura ambiente para posteriormente realizar el batido manual con mayor facilidad.

La etapa de batido consiste en desmoronar el requesón para reducir el tamaño del bloque de requesón, el batido del requesón se realiza con movimientos circulares hasta obtener una consistencia de tipo aireada y semilíquida. Antiguamente la mantequilla de requesón se elaboraba en ollas de barro, posteriormente se batía en recipientes de plástico y actualmente el proceso se realiza en licuadora.

El lavado es la etapa final, se añade agua de la llave a la pasta de requesón aireada la cual está colocada en un recipiente con una capacidad aproximadamente del triple de la cantidad de requesón que se esté procesando debido a que se añade agua hasta que el agua se vea casi transparente y estén

separados completamente la fracción sólida que en este caso será la mantequilla y la fracción líquida que será el suero de mantequilla.

La presentación para la venta al público es en porciones de 250 gr en bolsa de plástico (polietileno de baja densidad, polietileno lineal, polietileno de alta densidad o de polipropileno, polímeros de plástico no biodegradable, con espesor variable entre 18 y 30 micrómetros) amarrada con un nudo.

Actualmente este tipo de mantequilla no tiene ningún registro y su proceso no ha sido documentado por lo que es necesaria su identificación, así como el mejoramiento del proceso para poder preservar la técnica de elaboración y características del producto.

La elaboración de mantequilla de requesón permite el aprovechamiento del requesón obtenido del lactosuero, residuo de alto impacto ambiental sino cuenta con un manejo.

Esta tesis pretende documentar y mejorar el proceso para obtener mantequilla a partir de la acidificación de requesón fresco en sustitución de la maduración natural, estableciendo las etapas y puntos de control para hacer más eficiente la obtención y determinar los parámetros de composición de acuerdo con lo establecido por la normatividad internacional.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis de las muestras de mantequilla se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Productos Pecuarios de la Universidad del Mar (UMAR), Campus Puerto Escondido, Laboratorio Físicoquímica de Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad del Papaloapan (UNPA), Campus Tuxtepec. Laboratorio de Operaciones Unitarias del Instituto Tecnológico de México, Campus Tuxtepec y el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UDG).

### **6.1 Materia prima**

El requesón utilizado para el desarrollo de esta investigación fue obtenido de una productora local del municipio de San Pedro Mixtepec, Distrito 22. Las razas que maneja para la obtención de la leche son Suizo con Cebú y Suizo con Americano, con una edad entre 3 y 6 años. La alimentación es a base de pastoreo rotativo con pastos guineo, insurgente, llanero, mulato, Tanzania, estrella y jaragua. La ordeña se realiza de forma manual por la mañana obteniéndose de 5 a 8 L de leche por vaca.

La obtención del requesón fue a partir del lactosuero resultante de la elaboración de queso fresco. El proceso para su elaboración consistió en colocar 80 L de lactosuero en un recipiente metálico y calentarlo a temperaturas mayores de 95°C. Dicho calentamiento se mantiene por aproximadamente 20 minutos en constante movimiento para posteriormente dejar reposar y que los agregados proteicos (con grasa atrapada) puedan flotar en el líquido. Posteriormente, dichos agregados fueron retirados con un colador y escurridos para eliminar el suero remanente, obteniendo entre 2.5 y 3 kg de requesón (procedimiento descrito por el productor que nos facilitó las muestras de requesón).

Se obtuvieron 9 muestras de mantequilla a partir de 3 lotes de producción de requesón de 7 kg cada uno obtenido durante el mes de septiembre del 2021.

## **6.2 Diseño de proceso para el mejoramiento de la producción de mantequilla**

La mantequilla de requesón se elaboró a partir de requesón madurado en refrigeración durante 8 días, el proceso consistió en realizar un batido manual y lavado con agua potable. El proceso diseñado sustituye el proceso de maduración natural del requesón por la adición de ácidos al requesón fresco y establece los parámetros y valores de la etapa de batido y lavado, basándose en el proceso artesanal de la comunidad de Tataltepec de Valdés, a continuación, se muestran las etapas y los parámetros evaluados.

- Batido
  - Técnica (licuadora, homogenizador y batidora)
  - Tiempo (60, 90 y 120 minutos).
- Acidificación:
  - Tipo de ácido (cítrico, acético y láctico)
  - pH (4.5, 5 y 5.5)
- Lavado
  - Cantidad de agua (2.5, 5 y 10 L)
  - Temperatura (5 y 23°C)

### **6.2.1 Tipo y tiempo de batido**

En la etapa de batido se utilizó requesón de la productora local de la comunidad de San Pedro Mixtepec. Se probaron tres técnicas de batido: en licuadora a velocidad constante durante 20 minutos, en homogenizador (TORREY, TR270, MX) durante 15 minutos (9000 rpm) y en batidora (HOBART, HL 200, USA) a velocidad intermedia (vel. 2, 113 rpm) durante 2 h. Las 3 muestras de mantequilla se congelaron a -80°C, para su posterior análisis.

### **6.2.2 Acidificación**

#### **6.2.2.1 Tipo de ácido y pH para la obtención de mantequilla**

La acidificación se realizó con tres tipos de ácido, láctico, acético y cítrico, se tomó como base 1 kg de requesón el cual se acidificó hasta llegar a un pH de 4.5 - 5.5, cada prueba se realizó con un ácido diferente. Se batió durante 1 h, posteriormente se realizó el lavado de las 3 muestras con agua purificada a temperatura ambiente (23°C), se desueró para eliminar cualquier remanente y se pesó la cantidad de mantequilla obtenida de cada prueba de acidificación. Las 3 muestras de mantequilla se congelaron a -80°C, para su posterior análisis.

### **6.2.3 Lavado**

#### **6.2.3.1 Cantidad de agua de lavado para la obtención de mantequilla**

Después de la separación de la mantequilla, se lavó y desuero para eliminar cualquier remanente de lactosuero. La etapa de lavado estableció dos parámetros, la disminución de la cantidad de agua empleada para el proceso y la relación entre cantidad de agua por kilo de requesón. Se realizó el proceso completo de elaboración de mantequilla y en la etapa de lavado se probó la cantidad de agua purificada correspondiente (10 L, 5 L y 2.5 L, respectivamente). Las 3 muestras de mantequilla se congelaron a -80°C, para su posterior análisis.

#### **6.2.3.2 Temperatura de agua de lavado para la obtención de mantequilla**

Se probaron dos temperaturas de agua de lavado a 23°C (temperatura ambiente) y 5°C (frio). Se realizó el proceso completo de elaboración de mantequilla y se ajustó la temperatura del agua para el lavado. La muestra de mantequilla se congeló a -80°C, para su posterior análisis.

### **6.3 Determinación de pH en mantequillas**

La determinación de pH se realizó en muestras de requesón y mantequilla, se utilizó un potenciómetro manual (Hanna®, HI 99163, Italia) de acuerdo con método 32.016 de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1996 el cual se basa en la inmersión directa del electrodo (Figura 2).



Figura 2. Medición de pH en muestra de requesón

#### 6.4 Determinación de color en mantequillas

La determinación del color se realizó con un colorímetro (X-rite, SP-62, USA) a 4 muestras de mantequilla (Figura 3). A partir de los espectros de reflexión se registraron las coordenadas de color del CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . Donde  $L^*$  es el indicador de la luminosidad,  $a^*$  corresponde a cromaticidad verde (-) a rojo (+) y  $b^*$  corresponde a cromaticidad azul (-) a amarillo (+).



Figura 3. Medición de color en mantequilla con colorímetro manual

#### 6.5 Análisis bromatológico

El análisis bromatológico se realizó a 2 muestras de requesón y 4 muestras de mantequilla de acuerdo con la metodología de la AOAC 1996, la humedad mediante el método 972, 1996 de la estufa, grasa cruda por el método 7.056,

proteína cruda (N X 6.25) por el método 2.057 y cenizas totales por el método 14.006. Las pruebas se realizaron por duplicado. La leche fresca de San Pedro Mixtepec fue analizada con el equipo LactiCheck™ MINI para la determinación de sus componentes a 4 muestras.

### 6.6 Análisis de perfil de textura (APT) en mantequillas

El APT se determinó en mantequilla artesanal de Etna (MAEtna) y mantequilla de requesón (MR4.5 y MR5.5), utilizando un analizador de textura Brookfield CT3, (AMETEK, Brookfield CT3, USA) con una sonda de cono de 45° (TA15-1000 cone, 30 mm, 45°) y carga de activación de 1 N/s (Figura 4). La velocidad para la prueba de ensayo fue de 1 mm/s, evaluada a 20°C (temperatura ambiente) y 5°C (temperatura de refrigeración). El ensayo consistió en programar dos ciclos de compresión sucesiva hasta un valor meta de 4 mm.



Figura 4. Análisis de perfil de textura (APT) en mantequilla artesanal

### 6.7 Análisis de firmeza (corte) en mantequillas

El análisis de firmeza se determinó de acuerdo con la metodología establecida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y la International Dairy Federation (IDF) de acuerdo con la norma ISO16305/IDF 87-2005, utilizando un

analizador de textura Brookfield CT3, (AMETEK, USA), para esta prueba se utilizó una sonda de corte con alambre (TA53, 40 mm L) (Figura 5). Para llevar a cabo el ensayo primero se cortaron cubos de mantequilla de 25 mm<sup>3</sup>. Posteriormente las muestras de mantequilla se analizaron a una temperatura de 10°C con una velocidad de corte definida (1 mm/s). La carga se monitoreo a medida que la sonda de corte se deslizó sobre la muestra hasta llegar a una profundidad de 18 mm y la fuerza promedio máxima (N) se registró para obtener el resultado de la prueba de firmeza.



Figura 5. Análisis de firmeza en mantequilla artesanal y de requesón

### **6.8 Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier – FTIR**

El análisis de FTIR se realizó mediante un espectrofotómetro infrarrojo medio Spectrum 100 – NIR (Perkin Elmer, USA) en muestra de mantequilla artesanal (MAEtla) y mantequilla de requesón (MR4.5 y MR5.5). Las condiciones fueron a un número de onda medio de 4500–500 cm<sup>-1</sup>, configurado para la obtención de transmitancia.

## 6.9 Microscopía de mantequillas

Las muestras de mantequilla (MAE<sub>tla</sub>, MR4.5 y MR5.5) se observaron en un microscopio (Leica, DM1000, Alemania) acoplado a una cámara para la toma de las micrográficas (Leica, MC170 HD, Alemania) mediante el software Leica Application Suite (LAS) versión 4.12.0 (Figura 6). Las muestras de mantequilla primeramente se colocaron en un portaobjetos, posteriormente se colocó el cubreobjeto y se añadió aceite de inmersión. La muestra se pudo observar a una magnificación de 100x.

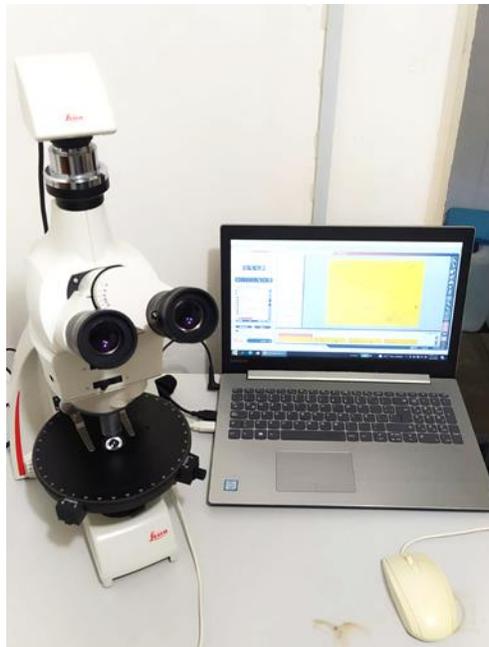


Figura 6. Observación en microscopio de mantequillas a 100 x

## 6.10 Análisis reológico

Para el análisis de reología, las muestras de mantequilla artesanal (MAE<sub>tla</sub>) y de requesón (MR4.5 y MR5.5) obtenidas de los tratamientos, se analizaron de manera individual. La medición de las propiedades reológicas se hizo en reómetro (TA Instruments, Discovery HR-2, USA) donde se determinaron las propiedades viscoelásticas (Figura 7). El equipo se configuró para realizar la medición con sonda serrada y la medición se llevó a cabo a una frecuencia de 0.5 Hz - 500.0

Hz. La prueba consistió en colocar una muestra de mantequilla en la placa de medición para posteriormente bajar el sensor a 500  $\mu\text{m}$  de espesor y se mantuvo en compresión por la sonda durante 60 segundos para permitir la relajación del esfuerzo causado por la oscilación y acondicionamiento de la temperatura y posteriormente inició el proceso de medición preestablecido a 10°C y 20°C.



Figura 7. Comportamiento reológico de mantequilla artesanal y mantequillas elaboradas a partir de requesón

### 6.11 Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado en el presente estudio fue completamente al azar, teniendo como fuente de variación el pH para la obtención de la mantequilla.

Las variables como el color, análisis bromatológico y perfil de textura fueron analizadas a través de un análisis de varianza mediante el modelo lineal general con comparación de medias con el estadístico de prueba Tuckey ( $P=0.05$ ) con el programa Minitab versión 2019.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Materia prima

La unidad de producción de San Pedro Mixtepec produce leche a partir de ganado de raza Cebuino y Suizo Americano, con características que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de leche fresca de ganado bovino de la comunidad de San Pedro Mixtepec

Leche cruda (%)	
Grasa	5.70 ±0.03
Proteína	3.58 ±0.01
Sólidos no grasos	9.52 ±0.01
Lactosa	5.04 ±0.01
Densidad	33.62 ±0.05

Los valores representan la media ± desviación estándar de dos muestras analizadas en duplicado

Dicha composición coincide con lo reportado por Montes de Oca – Flores *et al.* (2019) donde evaluó leche en época de secas y lluvias en la cual el contenido de grasa fue de 3.28 - 3.64 % y de proteína del 3.02 - 2.94 % . Se puede destacar que el contenido de grasa de la leche analizada de San Pedro Mixtepec es mayor a lo reportado, por lo que es de esperarse una mejor calidad y rendimiento en los productos lácteos elaborados.

El queso, es el producto que más se elabora a partir de la leche de San Pedro Mixtepec, este puede ser fresco y de prensa. Una vez obtenido el queso se genera el lactosuero de donde se obtiene el requesón, mismo que se empleó para esta investigación. Las características fisicoquímicas del requesón utilizado se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características fisicoquímicas de requesón fresco producido en la comunidad de San Pedro Mixtepec

Requesón	
Humedad (%)	57.09 ±6.64
Materia seca (%)	42.91 ±6.64
Proteína (%)	9.12 ±0.51
Grasa (%)	27.96 ±4.76
Cenizas (%)	1.16 ±0.22
pH	6.51 ±0.12
L* (luminosidad 0 -100)	85.95 ±0.60
a* (cromaticidad verde (-) a rojo (+))	0.23 ±0.02
b* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+))	23.78 ±0.78

Los valores representan la media ± desviación estándar de dos muestras analizadas en duplicado

La alta concentración de grasa en el requesón elaborado con lactosuero quesero de San Pedro Mixtepec permite que sea una materia prima adecuada para obtener mantequilla.

## 7.2 Diseño de proceso la producción de mantequilla de requesón fresco

Las características del proceso para la obtención de mantequilla a partir de requesón fresco que fueron determinadas en este estudio y las que resultaron ser las más adecuada para su obtención fueron las siguientes: El requesón se colocó en el bowl de la batidora, se añadió y ajustó el pH con solución de ácido cítrico disuelto en agua purificada hasta llegar a el pH de 4.5 ó 5.5, posteriormente se batió durante 60 minutos, se procedió al lavado del requesón batido y acidificado (2.5 L/kg de requesón) con agua purificada a 5°C (Figura 8). La mantequilla se recuperó y refrigeró hasta que solidificara, posteriormente se realizó el trabajo de la mantequilla para eliminar cualquier remanente de agua. El tiempo de elaboración de la mantequilla fue de aproximadamente de 2 horas, obteniendo un rendimiento entre 22 y 24%.

**Requesón fresco**  
(H: ≈57%, P: ≈9%,  
G: ≈27%, C: ≈1%)

Acidificación

Ajuste de pH

Batido

Lavado



pH 6.3 – 6.5

Ácido cítrico

pH 4.5 -5.5

Batidora: velocidad 2  
(113 rpm)  
30 min

1kg<sub>requesón</sub>:2.5L<sub>agua</sub>  
**Mantequilla**  
(H: ≈13%, P: ≈1%,  
G: ≈83%, C: ≈0.14%)  
**Suero de mantequilla**  
(H: ≈96%, P: ≈66%,  
G: ≈9%, C: ≈7%)

Figura 8. Diagrama de elaboración de mantequilla a partir de requesón fresco.

\*Valores en paréntesis corresponden al porcentaje de H= humedad, P= proteína, G=grasa y C=Cenizas.

### 7.3 Caracterización de mantequillas

Las características fisicoquímicas de las mantequillas se muestran en el cuadro 4. La mantequilla artesanal (MAE<sub>tla</sub>) fue elaborada a partir de crema de leche de vaca y su origen es del Valle de E<sub>tla</sub>, Oaxaca.

El contenido de humedad de la mantequilla artesanal (MAE<sub>tla</sub>) fue mayor ( $\approx 55\%$ ,  $p < 0.05$ ) que las mantequillas elaboradas con requesón (13.6 Vs. 30.2). De acuerdo con lo establecido por el CODEX STAN A-1-1971 PARA LA MANTEQUILLA (MANTECA), el límite máximo de humedad debe de ser del 16%, parámetro en el que se encuentran las muestras de mantequillas elaboradas a partir de requesón con el proceso establecido. Sin embargo, la MAE<sub>tla</sub> tiene aproximadamente el doble de la humedad permitida por la norma. Los resultados del contenido de humedad en las mantequillas de requesón elaboradas concuerdan con los datos reportados por Mallia *et al.* (2008) (11.28 g/100g) y da Silva *et al.* (2022) (11.77 - 18.31 g/100g).

La materia seca es la fracción que contiene todos los nutrientes excepto el agua de la mantequilla, su contenido es mayor para la MR4.5 y MR5.5 con respecto a la MAE<sub>tla</sub> (86.6 Vs. 69.7), esto se relaciona con su bajo contenido de agua el cual va a ser inversamente proporcional para el contenido de materia seca.

Las mantequillas elaboradas a partir de requesón (MR4.5 y MR5.5) contienen un bajo contenido de proteína, semejante a la mantequilla MAE<sub>tla</sub>, donde todas estuvieron por abajo del 1.2%. Aunque la mantequilla no se caracteriza por ser una fuente rica en proteínas. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado en mantequilla de leche por Mallia *et al.* (2008) (1.20 - 1.13% proteína).

La grasa de las mantequillas elaboradas con requesón (MR4.5 y MR5.5) tiene un contenido  $\approx 15\%$  mayor que la mantequilla artesanal (MAE<sub>tla</sub>). De acuerdo al CODEX STAN A-1-1971 PARA LA MANTEQUILLA (MANTECA) establece que el límite mínimo de grasa es del 80%, parámetro que cumplen la MR4.5 y MR5.5, en

cambio, la MAEtlá está por debajo del límite mínimo permitido, lo cual puede deberse principalmente su alto contenido de humedad. Los resultados de contenido de grasa concuerdan con los publicados por Mallia *et al.* (2008) (mantequilla de leche 88.31%), Nadeem *et al.* (2015) (mantequilla de lactosuero 83.1%), Kasapcopur *et al.* (2021) (mantequilla de lactosuero 80.23 – 81.47%).

No existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto al contenido de cenizas en la MAEtlá, MR4.5 y MR5.5. Los resultados obtenidos concuerdan con lo obtenido por Akgül *et al.* (2021) (1.30%).

El color de las muestras de mantequilla a diferente pH está conformada por tres parámetros, luminosidad (L) en una escala del 0 al 100 es igual para todas las muestras ( $p < 0.05$ ) estos datos concuerdan con los datos obtenidos por Kasapcopur *et al.* (2021), el valor de  $a^*$  en donde las coordenadas rojo (+) / verde (-) es igual para las muestras de pH 5 y 5.5 y diferente para pH 4.5 siendo esta una tonalidad que tiende a rojiza ( $p < 0.05$ ) y el valor de  $b^*$  en donde las coordenadas amarillo (+) / azul (-) es igual para las muestras de mantequilla obtenidas a distinto pH ( $p < 0.05$ ).

El pH de las mantequillas obtenidas a partir de requesón acidificado a distinto pH es diferente ( $p < 0.05$ ), esto se debe a la diferente cantidad de ácido añadido a cada requesón fresco para obtener la mantequilla. Estos resultados concuerdan con los datos obtenido por Jinjarak *et al.* (2006) (mantequilla de suero pH 4.87 - 6.36), Berhe *et al.* (2013) (mantequilla de leche de camella pH 4.90) y Karakus *et al.* (2022) (mantequilla de leche bovina pH 4.01 – 5.34).

Cuadro 4. Características fisicoquímicas de mantequilla artesanal de Etna (MAEtna) y de mantequilla de requesón acidificado (MR4.5 – MR5.5)

	MAEtna n=2	MR4.5 n=4	MR5.5 n=4
Humedad (%)	30.26 ±0.37 <sup>a</sup>	13.69 ±0.42 <sup>b</sup>	13.40 ±0.19 <sup>b</sup>
Materia seca (%)	69.74 ±0.37 <sup>a</sup>	86.32 ±0.42 <sup>b</sup>	86.60 ±0.19 <sup>b</sup>
Proteína (%)	0.63 ±0.001 <sup>a</sup>	1.03 ±0.06 <sup>b</sup>	1.08 ±0.02 <sup>b</sup>
Grasa (%)	70.66 ±1.50 <sup>a</sup>	83.94 ±0.27 <sup>b</sup>	83.34 ±0.14 <sup>b</sup>
Cenizas (%)	0.11 ±0.005 <sup>a</sup>	0.14 ±0.008 <sup>a</sup>	0.12 ±0.007 <sup>a</sup>
pH	6.30 ±0.03 <sup>b</sup>	5.76 ±0.18 <sup>a</sup>	6.26 ±0.02 <sup>b</sup>
L* luminosidad 0 -100)	91.41 ±0.15 <sup>a</sup>	87.72 ±0.20 <sup>b</sup>	88.15 ±0.15 <sup>b</sup>
a* cromaticidad verde (-) a rojo (+)	0.50 ±0.02 <sup>a</sup>	0.18 ±0.01 <sup>b</sup>	0.23 ±0.02 <sup>b</sup>
b* cromaticidad azul (-) a amarillo (+)	26.60 ±0.49 <sup>a</sup>	34.21 ±0.37 <sup>b</sup>	34.23 ±0.38 <sup>b</sup>

\*Los valores representan la media ± desviación estándar de dos muestras analizadas en duplicado

<sup>a,b</sup>= medias en hilera con distinta literal difieren estadísticamente (p<0.05)

## 7.4 Caracterización espectral IR de mantequillas

En las figuras 9, 10 y 11 se presentan los espectros característicos de FTIR de las muestras de mantequilla analizadas (MAE1a, MR4.5 y MR5.5). De forma general todas presentan una amplia señal en región de  $3600$  a  $3050\text{ cm}^{-1}$ , la cual es característica de la presencia de los grupos hidroxilo (O-H) y es causada por las vibraciones de estiramiento o tensión del grupo O-H presentes en las moléculas de agua. Tal como lo menciona Ayvaz *et al.* (2021) que la primera banda ancha de absorción (forma de campana) en esta región, está directamente relacionada con la presencia de enlaces de hidrógeno relacionada con la presencia de agua.

Los picos IR aproximadamente en  $3060$  y  $2790\text{ cm}^{-1}$  son característicos de la presencia de extractos de lipídicos y son atribuidos a vibraciones de C-H (estiramientos simétricos y asimétricos) asociados con los grupos metilo y metileno, característico en ácidos grasos. La señal presente en el  $1743\text{ cm}^{-1}$  está asociada con la presencia de grupos carboxílicos, debido a la vibración (estiramiento) de los grupos ésteres (de Marchi *et al.* 2018), lo cual podría estar relacionado con la presencia de triglicéridos. En este sentido, Sato *et al.* (1994) observó y reporto una banda de absorción máxima para triglicéridos (trans-insaturados) cerca del número de onda  $1760\text{ cm}^{-1}$ , lo cual coincide con lo observado en esta investigación.

En la región de  $1700\text{ cm}^{-1}$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$  se encontraron picos característicos del grupo funcional amida asociado con las proteínas, observándose dos bandas para: Amida I en  $1643\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{ C=O}$ ,  $\nu\text{ C-N}$ ) y Amida II en  $1540\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{ N-H}$ ,  $\nu\text{ C-N}$ ) (Pereira 2020).

La banda de amida II representa principalmente (60%) la flexión N-H, con estiramiento del C-N (40 %) y es posible dividir la banda de amida II en componentes según la estructura secundaria de la proteína. La banda infrarroja más útil para el análisis de la estructura secundaria de proteínas es la banda

amida I, que se encuentra entre aproximadamente a un número de onda de 1700 y 1600  $\text{cm}^{-1}$ . La banda de amida I representa el 80% de la vibración de estiramiento C=O del grupo amida acoplado a los modos de flexión N-H y estiramiento C-N en el plano. Las proteínas generalmente contienen una variedad de dominios, formados por fragmentos de polipéptidos con diferentes conformaciones estructurales. Como consecuencia, la banda de amida I observada suele ser un compuesto complejo, que consta de varias bandas de componentes superpuestos representados por hélices,  $\beta$ -estructuras, giros y estructuras aleatorias.

La muestra de mantequilla MAEtlá presentó solo la banda de amida I (Figura 9). Las muestras MR4.5 y MR5.5 (Figura 10 y 11) presentaron las dos bandas, Amida I y II, esto se puede relacionar con su contenido proteico determinado en el análisis fisicoquímico siendo, 0.63%, 1.03% y 1.08%, respectivamente. A medida que disminuyó el contenido de grasa, aumentó el contenido de humedad. Las diferencias en el contenido de humedad pueden estar relacionadas con las diferencias en el contenido de proteínas y su capacidad para retener agua (Giha 2021).

Las bandas de 1465  $\text{cm}^{-1}$  y 1378  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la flexión C-H (tipo: tijereteo) del  $\text{CH}_2$  y estiramiento C-H (simétricas) del grupo  $\text{CH}_3$ , respectivamente. La banda ligera en 1417  $\text{cm}^{-1}$  resulta de las vibraciones (balanceo) del C-H, del grupo de las olefinas disustituidas en conformación cis (Karaman 2021).

La región entre 1238 y 985  $\text{cm}^{-1}$  está asociada con las vibraciones (estiramiento y flexión) del enlace C–O de los grupos ésteres (Pustjens 2017). La banda centrada en 966  $\text{cm}^{-1}$  es típica para las vibraciones (deformación fuera del plano) del C=C-H con el tipo de configuración trans (Karunathilaka *et al.* 2019), por lo tanto, podría corresponder a las diferencias en el contenido de grasas trans.

La banda alrededor de  $720\text{ cm}^{-1}$  corresponde a vibraciones oscilatorias del grupo  $\text{-HC=CH-}$  (cis), característico de los ácidos grasos insaturados de cadena larga. También en esta región se producen vibraciones oscilatorias de compuestos que contienen más de cuatro grupos metileno vinculados con la formación de compuestos poliinsaturados (como  $\omega\text{-3}$  y  $\omega\text{-6}$ ) (Karunathilaka *et al.* 2019). Estos resultados obtenidos de las bandas de los grupos funcionales concuerdan con lo obtenido por Galvin *et al.* (2016), Leite *et al.* (2019) y Pereira *et al.* (2020).

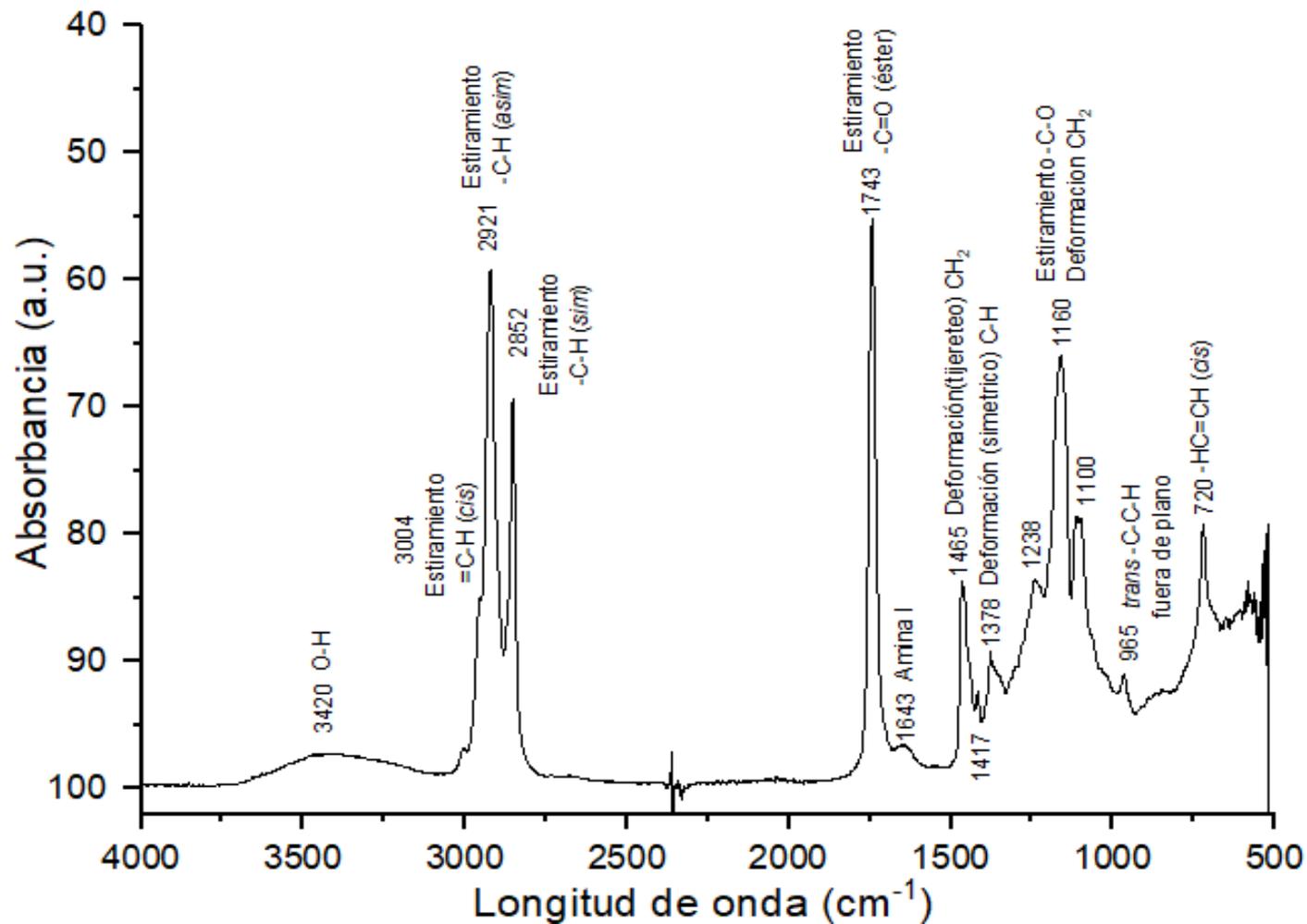


Figura 9. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MAE tla

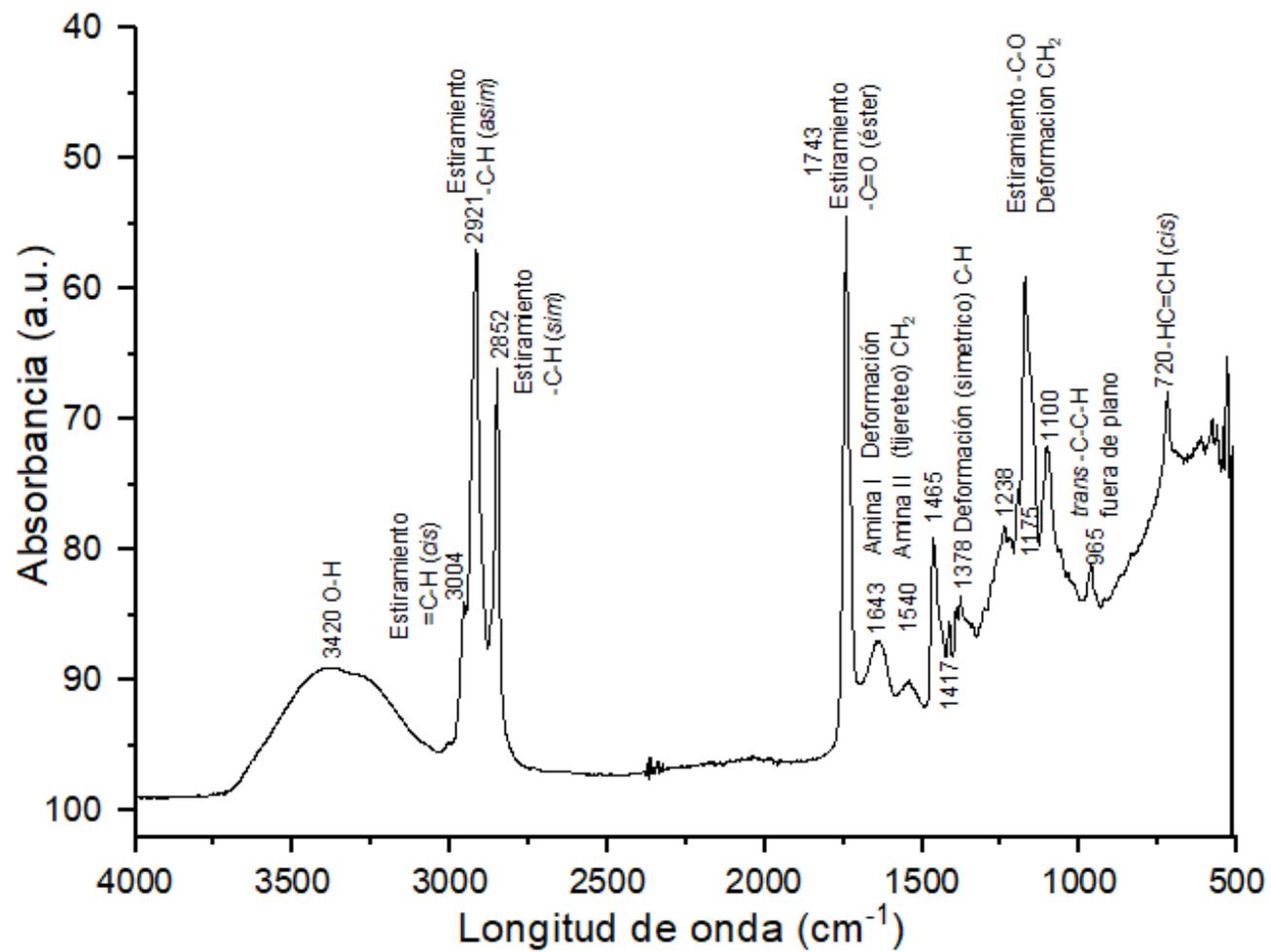


Figura 10. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MR4.5

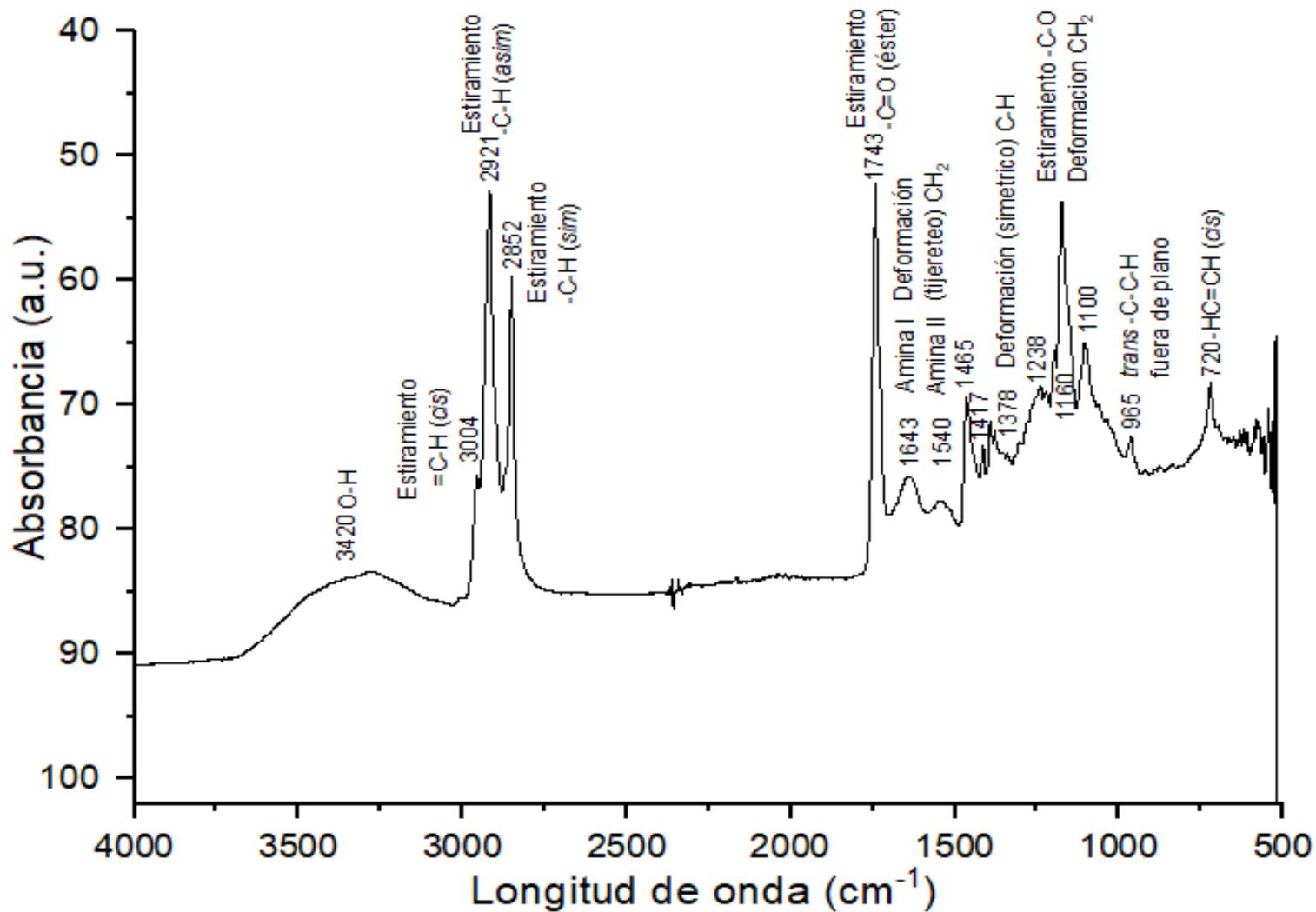


Figura 11. Espectro FTIR de la muestra de mantequilla MR5.5

## 7.5 Perfil de textura de mantequillas

Los resultados de dureza para las muestras de mantequilla evaluadas a diferentes temperaturas (5, 10 y 20°C) se presentan en el cuadro 5. Los valores de dureza a temperatura de refrigeración (5°C) de MR4.5 y MR5.5 (6.98 y 6.61 Newtons (N) respectivamente) son ligeramente más altos en comparación con la MAEtlá que presentó un valor de 5.85 N, esto indica que la muestra presentó una menor firmeza (15% menos). Al evaluar las muestras (MAEtlá, MR4.5 y MR5.5) a temperatura ambiente (20 °C) los valores de firmeza registrados son menores en comparación con los observados a 5°C, presentando una disminución de la firmeza del 55%, 74% y 25%, respectivamente.

Cuadro 5. Dureza de mantequillas evaluadas a 5, 10 y 20 °C

Dureza de mantequillas (N)			
Temperatura	MAEtlá	MR 4.5	MR 5.5
5°C	5.85	6.98	6.61
10°C (corte)	3.08	4.11	3.67
20°C	2.62	1.79	1.92

La MR4.5 fue la que presentó menor valor de dureza (1.79 N) a 20°C. Esta disminución en los valores de firmeza era de esperarse, puesto que la dureza está relacionada con la red tridimensional de cristales de grasa asociados con la fase continua de aceite. Estos valores concuerdan con los resultados obtenidos por Bobe *et al.* (2003), O'Callaghan *et al.* (2016) y Marangoni & Ghazani (2021). La disminución de la firmeza en las muestras de mantequilla puede ser atribuida dos factores principales: primero al efecto de temperatura, ya que a mayor temperatura mayor fluidez de las grasas y segundo, la variación de la composición química de ácidos grasos presentes en la muestra, que a su vez dan como resultado alteraciones en la cristalización y el punto de fusión de esta.

En mantequillas de leche se ha reportado que el 80% de la variación en su textura puede atribuirse a diferencias entre la composición química de sus ácidos grasos (Pădureț 2021).

Siendo la textura de las mantequillas, el resultado complejo de varios factores como; naturaleza de la materia prima (crema/requesón), tratamientos (térmicos y mecánicos), técnica de elaboración, procesos posteriores a su fabricación, manipulación y temperatura de almacenamiento.

## 7.6 Análisis reológico

Los resultados del análisis reológico de las mantequillas, artesanal (MAEtl) y requesón (MR4.5 y MR5.5) analizados a una temperatura de refrigeración (10°C) y ambiente (20°C) se muestran en las figuras 12 a 17. Es posible apreciar el comportamiento del módulo elástico ( $G'$ ), viscoso ( $G''$ ) y la relación de ambos módulos ( $\tan \delta$ ). Los valores de  $G'$  y  $G''$  para las muestras de mantequilla estuvieron en el orden de  $\approx 10^4$ - $10^6$  Pa respectivamente. Las muestras presentaron un cambio en el comportamiento de los módulos ( $G'$  y  $G''$ ) con respecto a la temperatura de medición, esto puede ser debido a que en los sistemas grasos la temperatura tiene un efecto determinante sobre el estado físico (Kalab 1985).

El módulo de elasticidad ( $G'$ ) es un parámetro importante que describe la deformación de un material alimenticio y está relacionado con otros parámetros que se utilizan para definir la calidad de la grasa (Ronn *et al.* 1998). El valor del módulo  $G'$  (elástico) de MR4.5 y MR5.5 es más alto y estable en comparación con su contraparte (MAEtl) durante el barrido de frecuencia, esto se debe a que la grasa independientemente del esfuerzo de deformación cumple una función estructural y está relacionada al parámetro de calidad conocido como contenido de grasa sólida por lo que MR4.5 y MR5.5 tienen un mayor contenido de grasa sólida a diferencia de MAEtl.

En el caso del módulo  $G''$  (Figura 14 y 15) se encuentra por arriba del módulo de  $G'$ , este comportamiento no ha sido previamente reportado en la bibliografía y se considera que debido a que el requesón proviene de una materia prima como el lactosuero el cual contiene proteínas del tipo emulsificantes puedan estar teniendo efecto en las propiedades reológicas de la mantequilla.

Los emulsificantes son componentes que se sitúan en la interfase y tienen efecto en las propiedades tales como su facilidad de formación de emulsión, estabilidad, reología y textura. Cumplen dos funciones principales, disminuyen la tensión superficial o interfacial, lo que facilita el proceso de emulsificación y la formación de una película adsorbida alrededor de las gotas o burbujas de la fase dispersa, con características reológicas determinadas que actúan como una barrera física que impida la coalescencia (Sánchez 2000).

Los emulsionantes pueden ser proteínas, monoglicéridos y diglicéridos. Los del tipo proteico se emplean para la elaboración de mantequillas, el requesón del cual se elabora la mantequilla contiene proteínas del lactosuero las cuales son:  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA),  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -LG), albúmina de suero bovino (BSA), inmunoglobulinas (IG), lactoferrina bovina (BLF), lactoperoxidasa bovina (LP), glicomacropéptido (GMP) (Minj & Anand 2020). La mantequilla contiene entre el 0.6 y 1.2% de contenido proteico y dicha fracción podría estar involucrada en la propiedad emulsificante.

El comportamiento reológico de las mantequillas se vio influenciado por la composición, proceso y tratamiento posterior a este. Se pudo determinar que las mantequillas elaboradas a partir de requesón con el proceso diseñado son estables y es una característica de calidad que lo hace competitiva con la mantequilla artesanal.

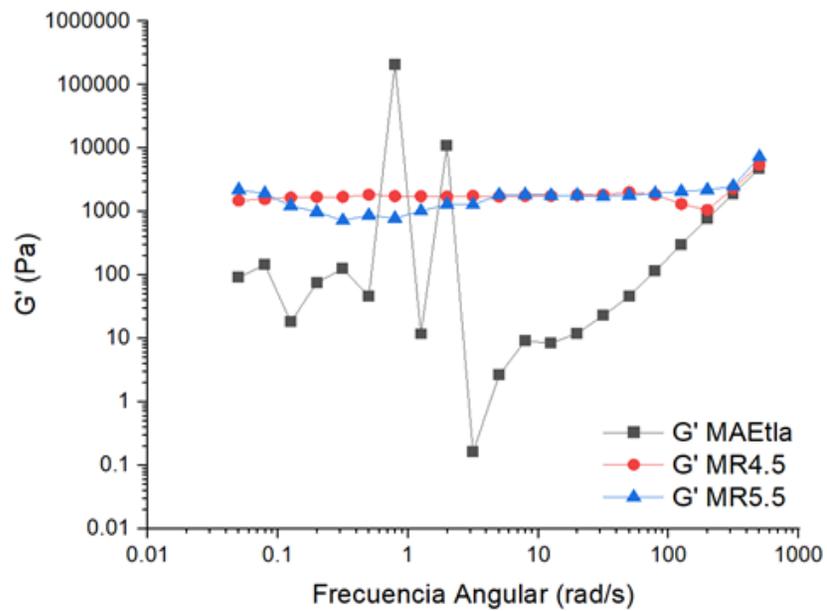


Figura 12. Comportamiento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras de mantequilla a  $10^{\circ}\text{C}$

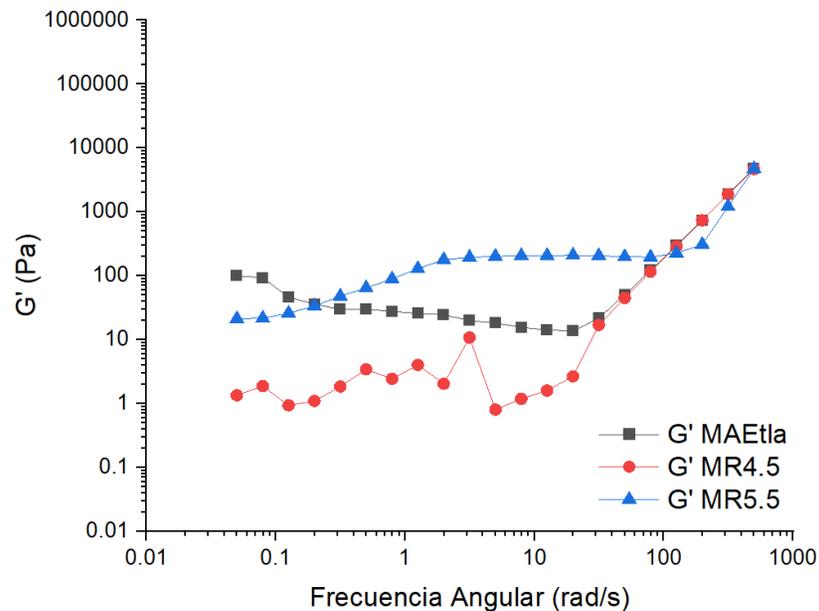


Figura 13. Comportamiento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras de mantequilla a  $20^{\circ}\text{C}$

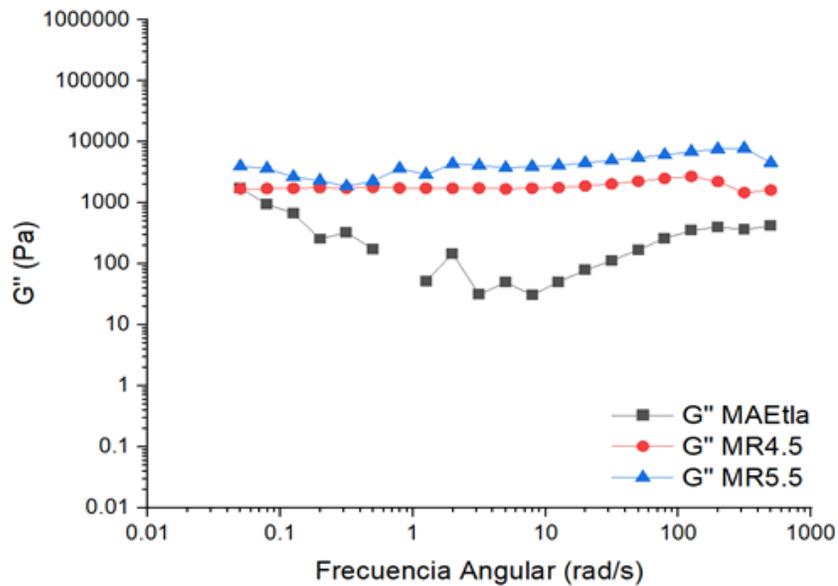


Figura 14. Comportamiento del módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras de mantequilla a 10°C

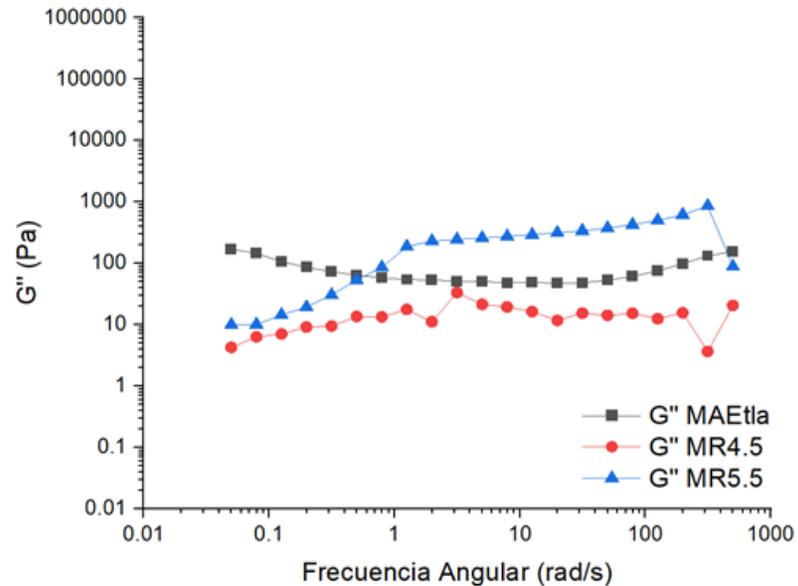


Figura 15. Comportamiento del módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras de mantequilla a 20°C

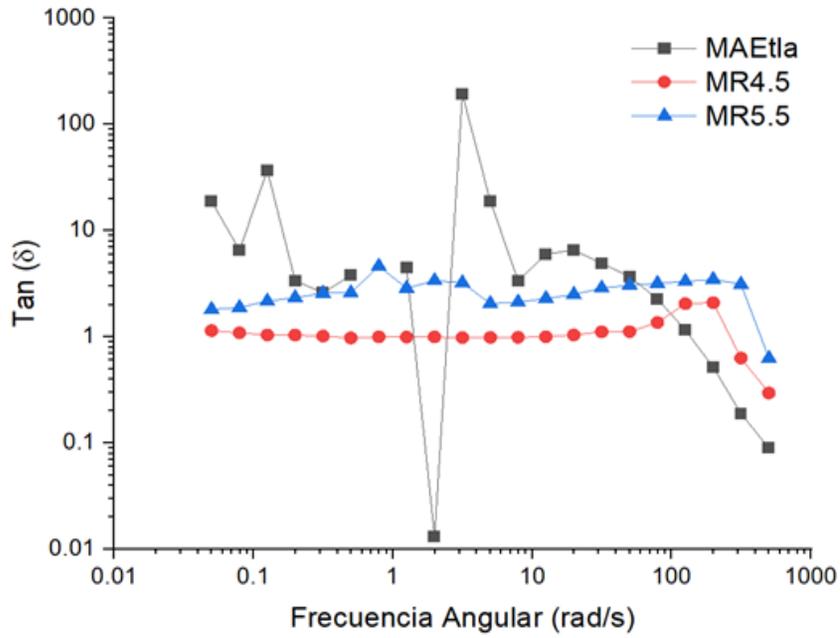


Figura 16.  $\text{Tan } (\delta)$  de muestras de mantequilla a 10°C

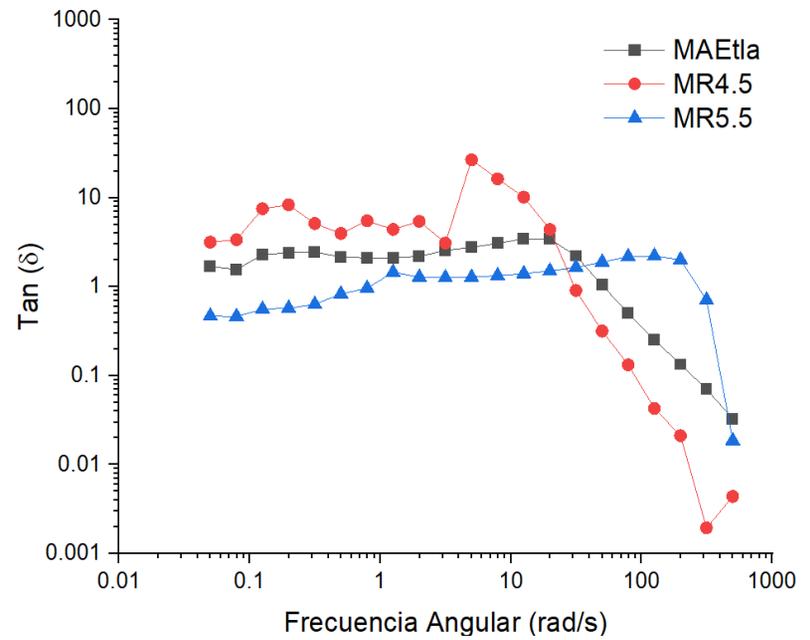


Figura 17.  $\text{Tan } (\delta)$  de muestras de mantequilla a 20°C

## 7.7 Micrografías de mantequillas

La preparación de las mantequillas involucra un trabajo mecánico que se realiza durante el batido para lograr la inversión de fases (al pasar de una emulsión de aceite en agua a una de agua en aceite) donde también se tendrá un efecto en el polimorfismo cristalino de los triacilgliceroles que conforman la grasa, así como en el número y tamaño de cristales de grasa formados (Rønholt *et al.* 2014).

La grasa de la leche contiene una amplia variedad de triacilgliceroles, incluidos ácidos grasos de diferente tamaño e insaturación. Sin embargo, a pesar de que se tenga una misma composición de moléculas de triacilgliceroles, la distribución de sus ácidos grasos puede ordenarse de diferente manera lo que conlleva un polimorfismo estructural (Frede 2002).

El proceso de batido que se realiza para formar la mantequilla puede influir en el grado de dispersión de las gotas (agua) dentro de la fase continua (grasa). La técnica de batido, velocidad y temperatura determina en la mantequilla el número y tamaño de las partículas dispersas, lo cual podría determinar la estabilidad del sistema (Mtibaa *et al.* 2021). Por otro lado, el agente emulsificante que se encuentra en el sistema también puede verse afectado por las condiciones del medio de su elaboración. En este caso las mantequillas fueron elaboradas a diferente pH, utilizando las mismas condiciones de batido.

En la figura 18 se muestran las micrografías de las mantequillas elaboradas con requesón acidificado a pH 4.5 y 5.5 (MR 4.5 y MR5.5, respectivamente), así como la mantequilla elaborada MAE<sub>tla</sub> (elaborada con crema fresca mediante una técnica de batido diferente (no especificada)). Se puede observar que la mantequilla MR4.5 mostró una mayor número de gotas dispersas y de menor tamaño que la mantequilla MR5.5 y estas a su vez mostraron una diferencia con respecto a la MAE<sub>tla</sub>. Es notoria la presencia de gotas dispersas más grandes y menos uniforme en la mantequilla MAE<sub>tla</sub>. Lo anterior puede deberse a dos

factores: El tipo de agitación y pH de la materia prima para su obtención. En el caso de la mantequilla de requesón MR 5.5, se obtuvo utilizando del mismo proceso de batido que la MR4.5, sin embargo, el requesón fue acidificado a diferente pH, lo que pudiera estar provocando que dicha condición de pH ácido contribuya durante el batido a la solubilización algunos componentes del requesón (e.g., proteínas durante un proceso de disolución proteica), que podrían tener un papel importante en el cambio de fase de la emulsificación y la dispersión de las gotas de agua. Al parecer, un menor pH mejoró las propiedades emulsionantes de dichos compuestos (menor tamaño de partículas dispersas). En el caso de la mantequilla artesanal de la región de Etna la cual fue elaborada a partir de crema (MAEtna) se desconoce cuál podría haber sido el tratamiento para su obtención (tipo de batido y pH), pero es de esperarse que el pH fue cercano al neutro como lo muestran sus características (pH 6.3, cuadro 4.). Además, el contenido de agua en esta mantequilla (30 vs 13) también podría estar relacionado a la estructura amorfa y de gran tamaño de las gotas observadas (Jones & Martini 2022).

Los compuestos tensioactivos como los fosfolípidos y las proteínas que podrían estar presentes en el lactosuero podrían tener un efecto estabilizador sobre las gotas de agua en la estructura del producto (McClements 2004) y el pH podría afectar sus características emulsificantes (Lam & Nickerson 2013).

Estos resultados concuerdan con los datos discutidos con anterioridad sobre textura y reología donde las muestras de MAEtna presentaron valores ligeramente menores a los de la MR4.5 y MR5.5, esto puede deberse al tamaño de las gotas y distribución del agua provocando que sea menos uniforme en su conformación estructural y por consiguiente menos estable como se muestra en las micrografías.

Por lo anterior, se concluye que el método de batido, composición y pH de la materia prima utilizada para la producción de mantequilla, podría estar relacionado

con las diferencias observadas en la microestructura de las mantequillas elaboradas.

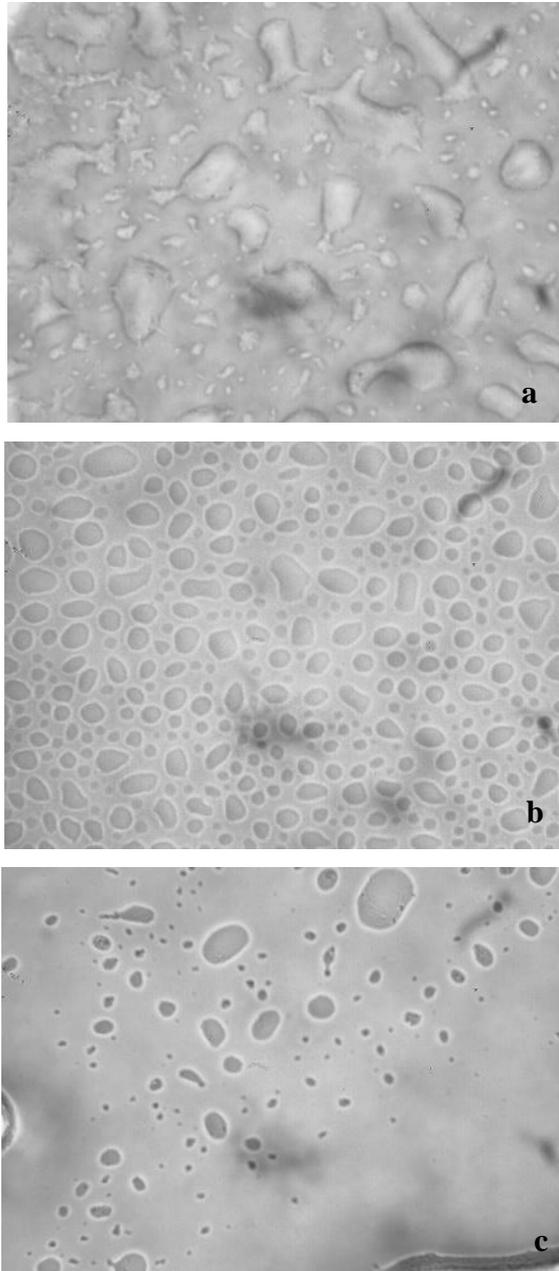


Figura 18. Micrografías de muestras de mantequilla (MAEtlá (a), MR4.5 (b) MR5.5 (c) observadas a 100 x

Nota: Las manchas oscuras observadas en las micrografías son artefactos ocasionados por la lente del microscopio y no por la muestra.

## 8. CONCLUSIONES

A partir de requesón fresco acidificado en un rango de 4.5 a 5.5, en sustitución del proceso de maduración natural, se puede obtener mantequilla de requesón.

Existe diferencia en el pH de la mantequilla resultante de la acidificación de requesón fresco.

La cantidad de grasa presente en las muestras de mantequilla de requesón es mayor en comparación a la mantequilla artesanal comercial, debido principalmente al menor contenido de humedad lo que permita que las mantequillas elaboradas se encuentren en lo establecido por la normatividad.

El proceso para la obtención de mantequilla permite obtener mantequilla con el mismo perfil de textura que la mantequilla artesanal comercial en donde el pH no tiene efecto en dichas propiedades. Sin embargo, la temperatura empleada en la evaluación de textura genera diferentes resultados en dichas propiedades.

Los grupos funcionales presentes en las muestras de mantequilla son similares entre sí con picos característicos de los alimentos de grasa láctea, las mantequillas elaboradas con requesón presentaron además picos característicos del grupo funcional amina.

La microestructura de la mantequilla obtenida a través de las micrografías se pudo determinar que la MAEtl<sub>a</sub> presenta una estructura menos homogénea que la MR4.5 y MR5.5 lo cual puede deberse al grado de homogenización aplicado durante el batido para su obtención, así como del pH.

El comportamiento de la mantequilla por medio de las interacciones a un nivel molecular de los componentes con efecto en el comportamiento en el módulo viscoso  $G''$ . Los valores obtenidos de  $\tan \delta$  de las mantequillas MR4.5 y MR5.5 son característicos de un polímero amorfo y MAEtl<sub>a</sub> característico de un sólido

diluido. La viscosidad compleja de las mantequillas es característica de un fluido no newtoniano, la MR5.5 es la que presenta un menor decremento en la viscosidad compleja y una mayor estabilidad durante la medición ya que la fractura se da al final de la medición. El comportamiento de cada una de las muestras puede estar dado por la composición y efecto del pH.

La mantequilla elaborada a partir de requesón es un patrimonio importante de las comunidades de la costa Oaxaqueña, es el resultado de saberes transmitidos de generación en generación por lo que la documentación y estandarización del proceso permite salvaguardar un producto artesanal y de calidad, valorizando el origen y brindando bases para su promoción como modelo de producción sostenible.

## **9. PERSPECTIVAS**

Determinar el perfil lipídico para conocer los ácidos grasos presentes en la mantequilla.

Realizar análisis de calorimetría para determinar cuáles son las matrices alimentarias y procesos idóneos de uso de acuerdo con las transiciones endotérmicas y exotérmicas.

Evaluar el efecto del origen del requesón (suero ácido o suero dulce) sobre las características fisicoquímicas de la mantequilla que se elabora a partir de este.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Akgül, H. İ., Şengül, M., Ürkek, B., & Kotan, T. E. 2021. Determination of physicochemical and microbiological properties and fatty acid composition of butter produced in Trabzon, Turkey. *Acta Scientiarum. Technology*, 43, e48905-e48905.
- Ayvaz, H., Mortas, M., Dogan, M. A., Atan, M., Yildiz Tiryaki, G., & Karagul Yuceer, Y. 2021. Near-and mid-infrared determination of some quality parameters of cheese manufactured from the mixture of different milk species. *Journal of food science and technology*, 58(10), 3981-3992.
- Barukčić, I., Jakopović, K. L., & Božanić, R. 2019. Whey and Buttermilk—Neglected Sources of Valuable Beverages. In *Natural beverages* (pp. 209-242). Academic Press.
- Berhe, T., Seifu, E., & Kurtu, M. Y. 2013. Physicochemical properties of butter made from camel milk. *International Dairy Journal*, 31(2), 51-54.
- Bobe, G., Hammond, E. G., Freeman, A. E., Lindberg, G. L., & Beitz, D. C. 2003. Texture of butter from cows with different milk fatty acid compositions. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3122-3127.
- Breene, W. M. 1975. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of texture Studies*, 6(1), 53-82.
- Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC). 2021. Estadísticas del Sector Lácteo 2010 - 2020. Obtenido de <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>. Fecha de consulta 20 de abril del 2022.
- Carvalho F., Prazeres A. R., Rivas J. 2013. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of The Total Environment*. 445–446. 385-396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>.

- Centeno-Rodríguez, M. A. C., Gutiérrez-Cárdenas, M. G., Jaime-Patlán, M., Meza-Plaza, E. F., Montecillos-Ramírez, K. E., Rojas-Salinas, W. B., & López, C. O. 2020. Genuine Mexican cheeses: technological processes and manufacturing parameters. *Agro Productividad*, 13(11). DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i11.1769>.
- Consejo Municipal de Desarrollo Rural (CMDR). 2010. Pla de Desarrollo Municipal 2008 - 2010. Obtenido de [https://finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion\\_publica/pmds/08\\_10/543.pdf](https://finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/08_10/543.pdf). Fecha de consulta 20 de abril del 2022.
- da Silva, M. N., Tagliapietra, B. L., Pivetta, F. P., & dos Santos Richards, N. S. P. 2022. Nutritional, functional and sensory profile of added butter from *Lactobacillus acidophilus* encapsulated and hyposodium salt. *LWT*, 113385.
- de Marchi, M., Penasa, M., Zidi, A., & Manuelian, C. L. (2018). Invited review: Use of infrared technologies for the assessment of dairy products—Applications and perspectives. *Journal of dairy science*, 101(12), 10589-10604.
- Delamarre, S., & Batt, C. A. 1999. The microbiology and historical safety of margarine. *Food microbiology*, 16(4), 327-333.
- Demman, J. M., & Beers, A. M. 1987. Fat crystal networks: structure and rheological properties. *Journal of Texture Studies*, 18(4), 303-318.
- Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., & Kalyankar, S. D. (2016). Butter: manufacture.
- Dirección General de Población de Oaxaca (DIGEPO). 2015. Libro demográfico. Tataltepec de Valdés. Fecha de Consulta: 10 de enero 2022. Obtenido de [http://www.digepo.oaxaca.gob.mx/recursos/info\\_pdf/Tataltepec%20de%20Vald%C3%A9s.pdf](http://www.digepo.oaxaca.gob.mx/recursos/info_pdf/Tataltepec%20de%20Vald%C3%A9s.pdf).

- Dirección General de Población de Oaxaca (DIGEPO). 2022. Libro demográfico San Pedro Mixtepec – Dto. 22. Fecha de Consulta: 10 de enero 2022. Obtenido de [http://www.digepo.oaxaca.gob.mx/recursos/info\\_pdf/San%20Pedro%20Mixtepec%20-%20Dto.%202022.pdf](http://www.digepo.oaxaca.gob.mx/recursos/info_pdf/San%20Pedro%20Mixtepec%20-%20Dto.%202022.pdf).
- Dorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., ... & Nedović, V. 2015. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7(4), 452-490.
- Durán, E., Ruiz, A., & Sánchez, V. 2018. Competitividad de la ganadería de doble propósito en la costa de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 43 (1345-2019-052), 77-88.
- Frede, E. 2002. BUTTER | The Product and its Manufacture. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier. 220-227.
- Frede, E., & Buchheim, W. 1994. Buttermaking and the churning of blended fat emulsions. *International Journal of Dairy Technology*, 47(1), 17-27.
- Galvín, S., Guillén-Sans, R., Galbis, J. A., & Guzmán-Chozas, M. (2016). Trans fatty acids in two classes of reformulated “zero trans” Spanish margarines by use of second derivative ATR-FTIR spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 1066-1071.
- Georgiadis, G. P., Kopanos, G. M., Karkaris A., Ksafopoulos, H., & Georgiadis, M. C. 2019. Optimal production scheduling in the dairy industries. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(16), 6537-6550.
- Giha, V., Ordoñez, M. J., & Villamil, R. A. 2021. How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile?. *Journal of food science*, 86(7), 2802-2815.

- Gobierno del Estado de Oaxaca (GEO). 2016a. Plan Estratégico Sectorial Desarrollo Rural. Fecha de Consulta: 10 de enero 2022. Obtenido de [http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/11/8.3\\_pecuario.pdf](http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/11/8.3_pecuario.pdf).
- Gobierno del Estado de Oaxaca (GEO). 2016b. Programa Estatal de Desarrollo 2016 - 2022. Fecha de Consulta: 10 de enero 2022. Obtenido de [https://www.finanzasooaxaca.gob.mx/pdf/planes/Plan\\_Estatal\\_de\\_Developmento\\_2016-2022.pdf](https://www.finanzasooaxaca.gob.mx/pdf/planes/Plan_Estatal_de_Developmento_2016-2022.pdf).
- Herrera M & Hartel R. 2000. Crystallization kinetics of a milk fat model system. *J Am Oil Chem Soc* 77:1177–87.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal 2015. Fecha de Consulta: 10 de enero 2022. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>.
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 5492:2010. Análisis sensorial.
- International Organization for Standardization (ISO). ISO16305/IDF 87-2005. Mantequilla — Determinación de firmeza
- Jinjarak S., Olabi A., Jiménez F. R., & Walker J. H. 2006. Sensory, functional, and analytical comparisons of whey butter with other butters. *Journal of dairy science*, 89(7), 2428-2440.
- Jones, A., & Martini, S. 2022. Fat content of cream affects the capacity of butter to hold water. *International Journal of Dairy Technology*.
- Juriaanse, A. & Heertje, I. 1988. Microstructure of shortenings, margarine and butter-a review. *Food Structure*, 7(2), 8.
- Karakus, M. S., Akgul, F. Y., Korkmaz, A., & Atasoy, A. F. 2022. Evaluation of fatty acids, free fatty acids and textural properties of butter and sadeyag

- (anhydrous butter fat) produced from ovine and bovine cream and yoghurt. *International Dairy Journal*, 126, 105229.
- Karaman, A. D., Aykas, D. P., Rodriguez-Saona, R., & Alvarez, V. 2021. Determination of the compositional differences in organic and conventional milk using FTIR spectroscopy. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(3), 452-459.
- Karunathilaka, S. R., Choi, S. H., Mossoba, M. M., Yakes, B. J., Brückner, L., Ellsworth, Z., & Srigley, C. T. 2019. Rapid classification and quantification of marine oil omega-3 supplements using ATR-FTIR, FT-NIR and chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 77, 9-19.
- Kasapcopur, E., Mohammed, A. M., & Colakoglu, A. S. 2021. Effects of differences in whey composition on the physicochemical properties of whey butter. *International Journal of Dairy Technology*, 74(3), 535-546.
- Lam, R. S., & Nickerson, M. T. (2013). Food proteins: a review on their emulsifying properties using a structure–function approach. *Food chemistry*, 141(2), 975-984.
- Leite, A. I. N., Pereira, C. G., Andrade, J., Vicentini, N. M., Bell, M. J. V., & Anjos, V. 2019. FTIR-ATR spectroscopy as a tool for the rapid detection of adulterations in butter cheeses. *Lwt*, 109, 63-69..
- Liu, Y. X., Cao, M. J., & Liu, G. M. 2019. Texture analyzers for food quality evaluation. In *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 441-463). Woodhead Publishing.
- Mallia S, Piccinali P, Rehberger B, Badertscher R, Escher F and Schlichtherle-Cerny H. 2008. Determination of storage stability of butter enriched with unsaturated fatty acids/conjugated linoleic acids (UFA/CLA) using instrumental and sensory methods. *International Dairy Journal* 18 983–993.

- Marangoni, A. G., & Ghazani, S. M. 2021. Perspective: A commentary on elevated palmitic acid levels in Canadian butter and their relationship to butter hardness. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 9380-9382.
- Martini, S., & Marangoni, A. G. 2007. Microstructure of dairy fat products. *Structure of dairy products*, 72.
- Mazorra-Manzano, M. Á., & Moreno-Hernández, J. M. 2019. Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *Revista CienciaUAT*, 14(1).
- McClements, D. J. 2004. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC press.
- McClements, D. J. 2015. Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: Potential and limitations of colloidal delivery systems. *Advances in colloid and interface science*, 219, 27-53.
- Mehta B. M. 2009. 21 - Butter, Butter Oil, and Ghee. *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils*. AOCS Press. 527-559.
- Minj, S., & Anand, S. 2020. Whey proteins and its derivatives: Bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy*, 1(3), 233-258.
- Moreno, H. M. J. 2013. Caracterización de la actividad coagulante y proteolítica de extractos de flor de naranjo (*Citrus Aurantium L.*) y purificación parcial de una de sus proteasas. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. México.
- Mtibaa, I., Zouari, A., Attia, H., Ayadi, M. A., & Danthine, S. (2021). Effects of physical ripening conditions and churning temperature on the butter-making process and the physical characteristics of camel milk butter. *Food and Bioprocess Technology*, 14(8), 1518-1528.

- Murti, T. W., Pradana, M. W. E., Nurasri, A. D., & Arlinda, M. (2020). Study of physic and organoleptic of butter developed using milk from cow and goat reared in Sleman Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 45(4), 338-347.
- Nadeem, M., Mahud, A., Imran, M., & Khalique, A. 2015. Enhancement of the Oxidative Stability of Whey Butter through Almond (*Prunus dulcis*) Peel Extract. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 591-598.
- O'Callaghan, T. F., Faulkner, H., McAuliffe, S., O'Sullivan, M. G., Hennessy, D., Dillon, P., ... & Ross, R. P. 2016. Quality characteristics, chemical composition, and sensory properties of butter from cows on pasture versus indoor feeding systems. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9441-9460.
- Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) 1996.
- Pădureț, S. (2021). The effect of fat content and fatty acids composition on color and textural properties of butter. *Molecules*, 26(15), 4565.
- Peleg, M. 2019. The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 362-368.
- Pereira, C. G., Luiz, L. C., Bell, M. J. V., & Anjos, V. 2020. Near and mid infrared spectroscopy to assess milk products quality: a review of recent applications. *Journal of Dairy Research & Technology*, 3(1), 1-10.
- Pihlasalo, S., Auranen, L., Hanninen, P., & Härmä, H. 2012. Method for estimation of protein isoelectric point. *Analytical chemistry*, 84(19), 8253-8258.
- Pustjens, A. M., Boerrigter-Eenling, R., Koot, A. H., Rozijn, M., & Van Ruth, S. M. 2017. Characterization of retail conventional, organic, and grass full-fat butters by their fat contents, free fatty acid contents, and triglyceride and fatty acid profiling. *Foods*, 6(4), 26.

- Radocaj, O., Dimic, E., Diosady, L. L., & Vujasinovic, V. 2011. Optimizing the texture attributes of a fat-based spread using instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 42(5), 394-403.
- Rønholt, S., Madsen, A. S., Kirkensgaard, J. J., Mortensen, K., & Knudsen, J. C. 2014. Effect of churning temperature on water content, rheology, microstructure and stability of butter during four weeks of storage. *Food structure*, 2(1-2), 14-26.
- Rønholt, S., Mortensen, K., & Knudsen, J. C. 2013. The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 468-482.
- Rosenthal, A. J. 2015. Instrumental characterisation of textural properties of solid and semi-solid food. In *Modifying Food Texture* (pp. 89-105). Woodhead Publishing.
- Rousseau, D. 2000. Fat crystals and emulsion stability—a review. *Food research international*, 33(1), 3-14.
- Saadi, S., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Abdulkarim, M. S., Boo, H. C., & Miskandar, M. S. (2012). Crystallisation regime of w/o emulsion [eg multipurpose margarine] models during storage. *Food chemistry*, 133(4), 1485-1493.
- Sánchez, C. C. 2000. Estructura, estabilidad, morfología y características reológicas de películas de emulsionantes alimentarios (lípidos y proteínas) esparcidas sobre la interfase aire-agua. Universidad de Sevilla. Tesis de Doctorado. España.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Memoria y prospectiva de las secretarías de Estado. Obtenido de <https://constitucion1917.gob.mx/es/Constitucion1917/332>.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2012. Atlas de riesgos naturales en el municipio de San Pedro Mixtepec, Oax., 2012. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/03/SanpedromixtepecDtro22AR.pdf>. Fecha de consulta 20 de abril del 2022.

Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2022). Producción y valor de la producción de carne y leche de bovino de Oaxaca.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Avance por producto - Leche. Obtenido de [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp). Fecha de consulta 20 de abril del 2022.

Tetra Pak. 2021. Daidry Processing Handbook - Whey Processing. Obtenido de <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/whey-processing>. Fecha de consulta 20 de abril del 2022.

United States Department of Agriculture (USDA). 2021. Dairy and products annual - Mexico. Obtenido de [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual\\_Mexico%20City\\_Mexico\\_10-15-2021](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual_Mexico%20City_Mexico_10-15-2021). Fecha de consulta 20 de abril del 2022.

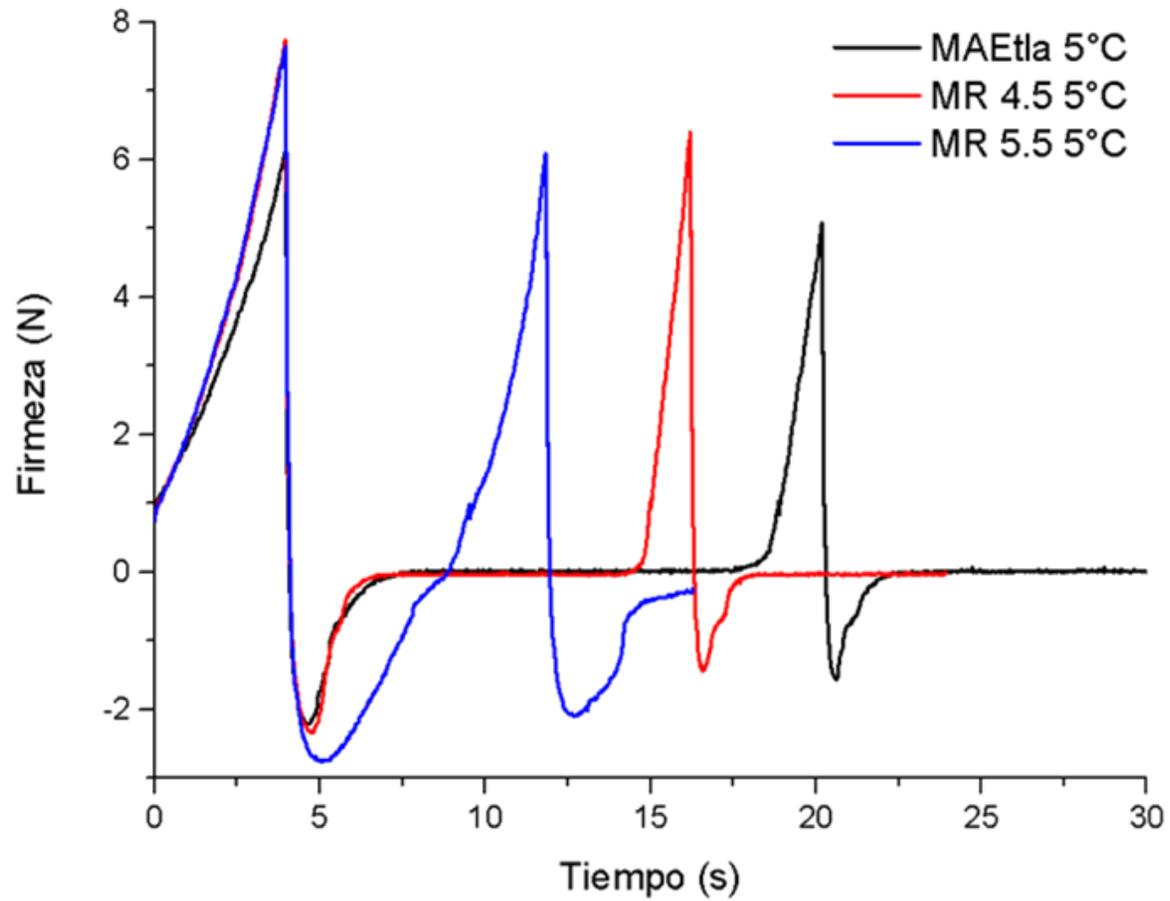
Valenzuela, A., & Valenzuela, R. 2015. La innovación en la industria de alimentos: Historia de algunas innovaciones y de sus innovadores. *Revista chilena de nutrición*. 42(4), 404-408.

Wright, A. J., & Marangoni, A. G. 2006. Crystallization and rheological properties of milk fat. In *Advanced Dairy Chemistry Volume 2 Lipids* (pp. 245-291). Springer, Boston, MA.

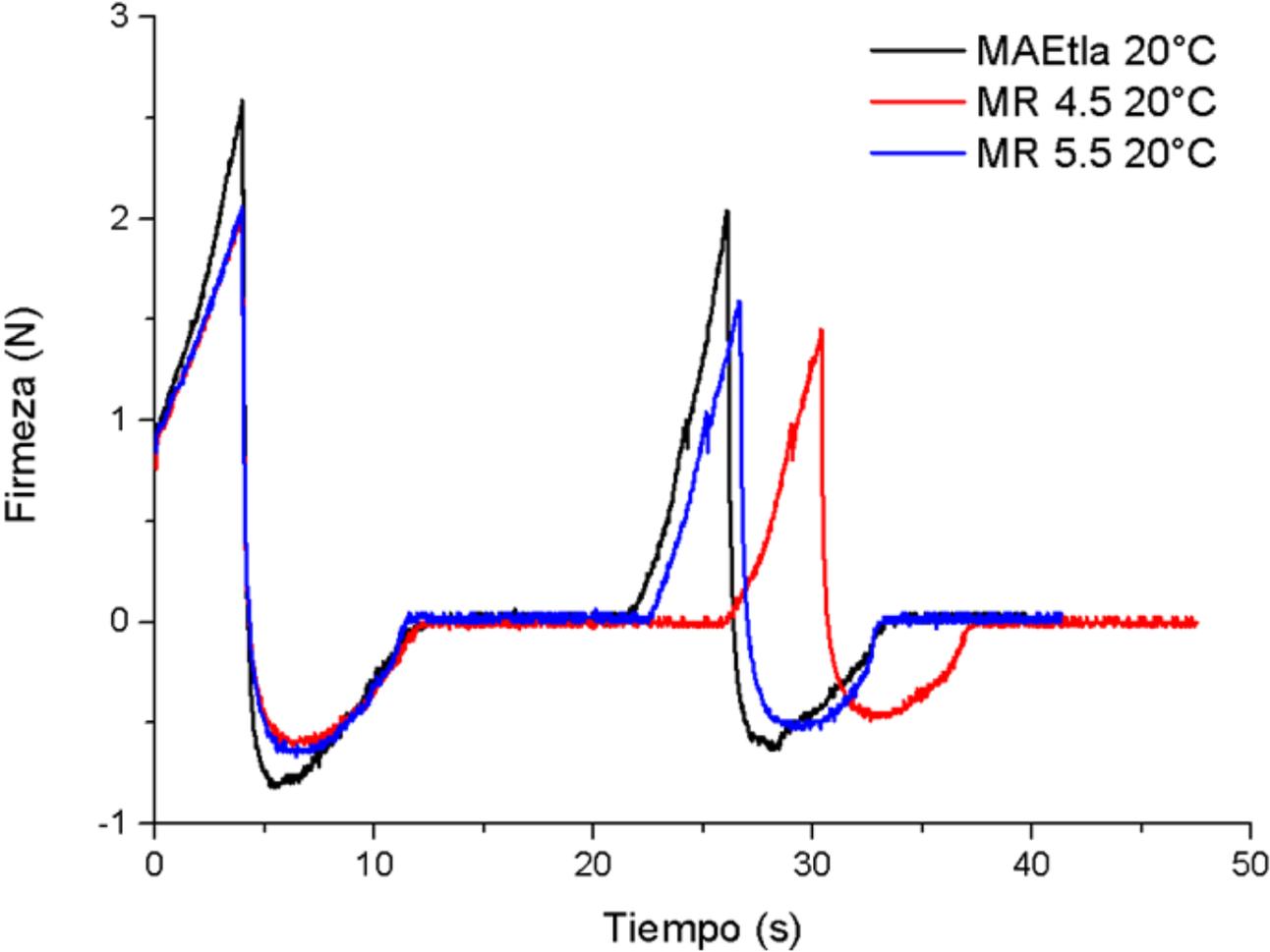
- Wright, A.J., Scanlon, M.G., Hartel, R.W., Marangoni, A.G., 2001. Rheological properties of milkfat and butter. *J. Food Sci. Concise Rev. Hypotheses Food Sci.* 66 (8), 1056–1071.
- Sato, T. (1994). Application of principal-component analysis on near-infrared spectroscopic data of vegetable oils for their classification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(3), 293-298.
- Smykov, I. T., Topnikova, E. V., & Danilova, E. S. (2021). Studies on fatty acid profile and microstructure of butter, dairy fat spreads and blended spreads produced in Russia. *International Journal of Dairy Technology*, 74(4), 629-640.

## 11. ANEXOS

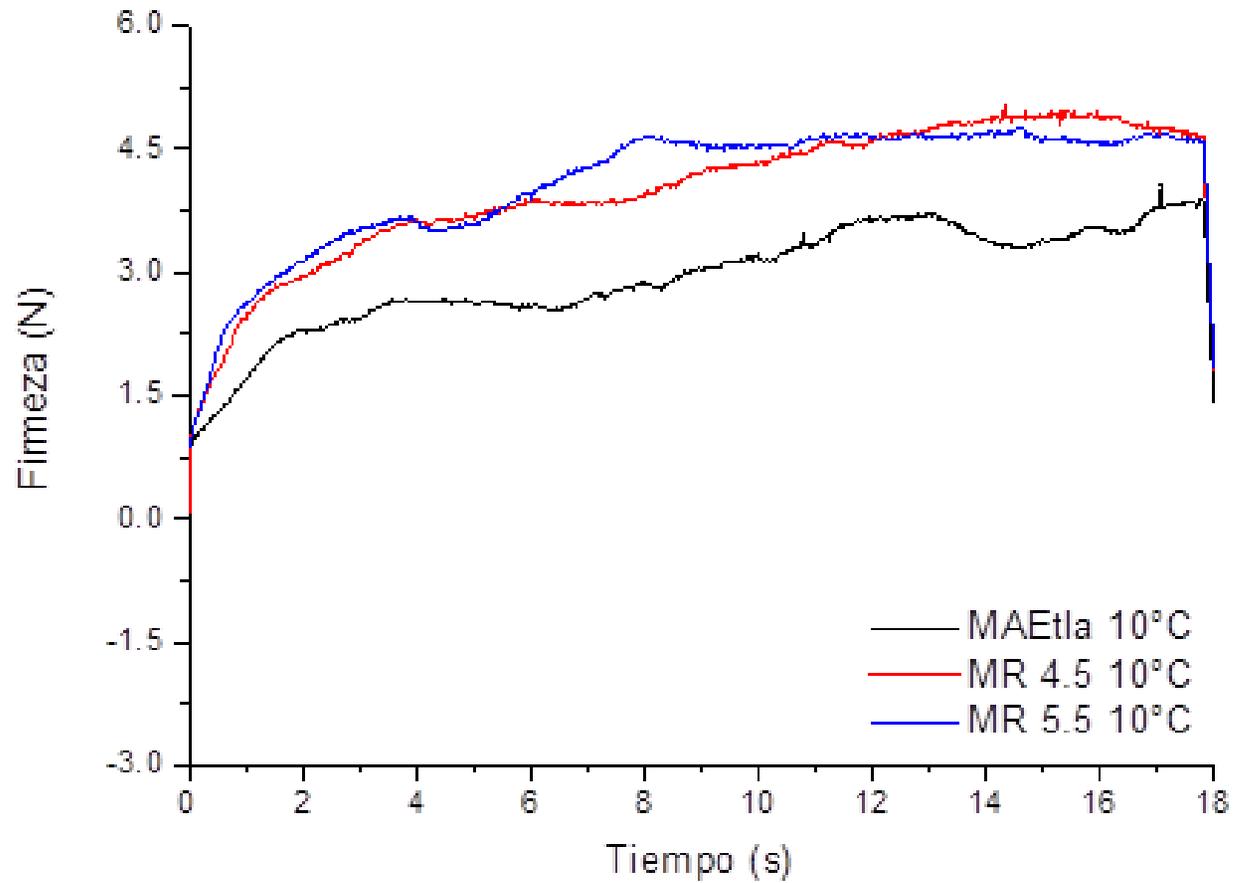
Anexo 1. Curva de análisis de perfil de textura (APT) de mantequilla artesanal (Etna) y mantequilla de requesón (pH 4.5 y 5.5) a 5°C



Anexo 2. Curva de análisis de perfil de textura (APT) de mantequilla artesanal (Esla) y mantequilla de requesón (pH 4.5 y 5.5) a 20°C



Anexo 3. Curva de análisis de firmeza de mantequilla artesanal (Etlá) y mantequilla de requesón (pH 4.5 y 5.5) a 10°C



Anexo 4. Datos del perfil de textura de las mantequillas (artesanal y requesón)

	5°C			20°C		
	MAE <sub>tla</sub>	MR 4.5	MR 5.5	MAE <sub>tla</sub>	MR 4.5	MR 5.5
Dureza (N)	5.85 ± 0.14	6.98 ± 1.62	6.61 ± 0.92	2.62 ± 0.14	1.79 ± 0.25	1.92 ± 0.15
Adhesividad (mJ):	3.77 ± 0.67	3.23 ± 0.40	6.77 ± 0.72	4.23 ± 0.67	3.57 ± 0.25	3.36 ± 0.21
Cohesividad:	0.41 ± 0.02	0.38 ± 0.09	0.55 ± 0.07	0.75 ± 0.02	0.78 ± 0.11	0.73 ± 0.06
Elasticidad (mm):	1.6 ± 0.08	1.54 ± 0.36	2.41 ± 0.22	1.83 ± 0.08	0.89 ± 0.39	1.37 ± 0.24

Anexo 5. Análisis reológico de mantequillas artesanal (MAE<sub>tla</sub>) a 10°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Frequency
Pa	Pa		rad/s	µN.m	s	°C	°	rad	Hz
4733.58	422.126	0.089177	499.995	131098	6.14641	9.978	177.677	0.0251608	79.5767
1915.65	363.39	0.189696	315.48	63396.1	12.9012	9.992	174.931	0.0307186	50.2102
776.18	401.418	0.517171	199.053	24078.7	19.4688	9.994	166.043	0.0288019	31.6802
305.23	353.118	1.15689	125.594	10229.1	26.0208	9.982	151.353	0.0276342	19.9889
115.387	261.833	2.26917	79.2435	5034.2	32.6041	9.975	135.172	0.026968	12.612
46.3114	171.277	3.69839	49.9999	2683.51	39.1873	9.984	121.382	0.0266088	7.95773
23.0487	113.406	4.92026	31.5478	1547.65	45.7861	9.975	108.063	0.0258126	5.02099
12.0576	79.0425	6.55542	19.9053	1017.1	52.4941	10.003	98.5195	0.0253169	3.16802
8.45281	50.8417	6.01477	12.5594	648.222	59.2021	9.986	91.1948	0.025357	1.99889
9.19838	31.0072	3.37094	7.92448	395.284	65.9101	9.985	80.1017	0.0249845	1.26122
2.64327	50.0755	18.9445	4.99999	523.468	72.1657	9.988	88.6993	0.0207847	0.795773
0.163031	31.4207	192.728	3.15477	405.229	79.7629	10	90.7969	0.025663	0.502097
11146.7	146.816	0.0131713	1.99053	674.601	86.4398	9.985	0.750303	1.21E-04	0.316802
11.7853	52.2535	4.4338	1.25595	1713.1	95.0822	9.99	77.3879	0.0636541	0.19989
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
208930	-3934.2	0.0188303	0.792448	1243.6	106.72	10.007	0.973453	1.31E-05	0.126122
45.9445	173.68	3.78022	0.499999	7061.51	122.913	9.994	75.1822	0.0781837	0.0795773
126.175	328.685	2.605	0.315479	3636.59	146.437	9.988	68.9905	0.0205496	0.05021

75.8909	256.51	3.37999	0.199053	3522.41	181.881	9.991	73.5116	0.0261964	0.0316803
18.2146	671.529	36.8677	0.125594	5034.53	235.514	10.003	88.4264	0.0149091	0.0199889
145.708	956.823	6.56673	0.0792448	8595.5	318.365	9.995	81.313	0.017668	0.0126122
92.4939	1737.72	18.7874	0.05	14934.4	447.814	9.985	86.9016	0.0170727	7.96E-03

Anexo 6. Análisis reológico de mantequillas artesanal (MAEtlá) a 20°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Complex viscosity	Frequency
Pa	Pa		rad/s	$\mu\text{N.m}$	s	°C	°	rad	Pa.s	Hz
4764.81	155.762	0.0326902	499.995	131971	6.13081	19.992	179.143	0.0253443	9.5348	79.5767
1890.72	132.839	0.0702583	315.48	65122.1	12.8388	19.988	178.16	0.0313753	6.00794	50.2102
740.433	98.7189	0.133326	199.053	25440.2	19.3752	19.997	176.589	0.0305276	3.7527	31.6802
296.741	75.4971	0.254421	125.594	9850.56	25.9584	19.993	173.445	0.0296418	2.43797	19.9889
122.659	61.3526	0.500187	79.2435	3814.36	32.5417	19.994	166.572	0.0287266	1.73071	12.612
50.815	52.8153	1.03936	49.9999	1572.31	39.1405	19.978	152.234	0.0275934	1.46583	7.95773
21.8047	48.2535	2.21299	31.5478	800.629	45.6925	19.994	128.486	0.0258411	1.67845	5.02099
13.6745	47.2468	3.45511	19.9053	573.998	52.4161	19.995	102.272	0.0236194	2.471	3.16802
14.224	49.1658	3.45653	12.5594	550.349	59.0929	19.987	84.5513	0.02217	4.07519	1.99889
15.6413	47.9932	3.06836	7.92448	562.091	65.9725	19.996	76.1346	0.0226225	6.36985	1.26122
18.3287	50.6599	2.76396	4.99999	596.523	72.0721	19.986	71.6342	0.0222363	10.7747	0.795773
19.821	50.9117	2.56857	3.15477	625.497	79.7005	20	69.3168	0.0228697	17.3179	0.502097
24.6467	53.8119	2.18333	1.99053	662.474	86.393	19.989	65.601	0.0223067	29.7347	0.316802
25.7836	54.3146	2.10656	1.25595	702.215	95.051	20.002	64.6865	0.0232554	47.8713	0.19989
27.8204	58.1521	2.09027	0.792448	742.411	106.657	19.987	64.4619	0.02292	81.3482	0.126122
29.7142	64.2479	2.16219	0.499999	809.294	122.881	20.006	65.189	0.0227499	141.573	0.0795773
29.9516	73.2021	2.44402	0.315479	910.85	146.422	19.992	67.7493	0.0229123	250.707	0.05021
35.9738	86.4776	2.4039	0.199053	1033.74	181.506	19.972	67.412	0.0219607	470.536	0.0316803
46.3469	106.39	2.29551	0.125594	1253.55	235.233	19.991	66.4578	0.0214911	923.984	0.0199889
93.3565	145.332	1.55674	0.0792448	1639.92	318.069	20	57.2804	0.0188908	2179.74	0.0126122
100.694	169.818	1.68648	0.05	2193.71	447.284	19.987	59.3291	0.022106	3948.55	7.96E-03

Anexo 7. Análisis reológico de mantequilla de requesón (MR4.5) a 10°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Frequency
Pa	Pa		rad/s	µN.m	s	°C	°	rad	Hz
5483.06	1621.45	0.295719	499.995	113580	6.11521	9.996	170.496	0.0231339	79.5767
2333.83	1473	0.63115	315.48	58342.2	12.7608	9.967	158.231	0.0292875	50.2102
1065.67	2234.06	2.09639	199.053	30487.4	19.3128	9.977	120.714	0.0233628	31.6802
1317.14	2703.78	2.05277	125.594	27196.5	25.896	9.992	82.2571	0.0198536	19.9889
1847.46	2518.37	1.36315	79.2435	30910	32.6041	9.982	59.6868	0.0211199	12.612
2019.28	2262.34	1.12037	49.9999	33747.8	39.4057	9.982	50.3831	0.0229078	7.95773
1838.71	2049.56	1.11467	31.5478	33409.5	46.0981	10.003	48.9883	0.0245176	5.02099
1812.12	1887.37	1.04153	19.9053	31277.3	52.8529	9.986	46.49	0.0239558	3.16802
1767.38	1772.27	1.00277	12.5594	30244.8	59.5297	9.978	45.1815	0.0241282	1.99889
1765.13	1741.73	0.986746	7.92448	29680.8	66.2689	9.982	44.6278	0.0238603	1.26122
1719.44	1698.92	0.988064	4.99999	29282.5	72.4933	9.99	44.6309	0.0241343	0.795773
1781.08	1747.36	0.981067	3.15477	29404.5	80.0905	10.002	44.4103	0.0234701	0.502097
1733.87	1728.87	0.997119	1.99053	29750.5	86.783	10.004	44.8701	0.0241967	0.316802
1750.78	1739.22	0.993395	1.25595	29453.9	95.4878	9.991	44.7602	0.0237687	0.19989
1754.53	1748.54	0.996586	0.792448	29695.6	107.125	9.998	44.8508	0.0238731	0.126122
1848.36	1804.85	0.976462	0.499999	30239.6	123.334	9.999	44.2644	0.0233106	0.0795773
1715.72	1738.24	1.01313	0.315479	30462.6	146.859	10.012	45.3222	0.0248365	0.05021
1708.33	1773.21	1.03798	0.199053	29527.2	182.177	9.983	46.0152	0.0238776	0.0316803
1673.03	1743.97	1.0424	0.125594	29167.4	235.763	9.983	46.1377	0.0240327	0.0199889
1572.12	1711.29	1.08852	0.0792448	28374.2	318.74	10.005	47.3764	0.0243132	0.0126122
1492.37	1707.98	1.14447	0.05	27373.6	448.033	10.004	48.8035	0.0240311	7.96E-03

Anexo 8. Análisis reológico de mantequilla de requesón (MR4.5) a 20°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Complex viscosity	Frequency
-----------------	--------------	------------	-------------------	--------------------	-----------	-------------	-----------	--------------------------	-------------------	-----------

Pa	Pa		rad/s	$\mu\text{N.m}$	s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}$	rad	Pa.s	Hz
4687.71	20.5571	4.39E-03	499.995	135118	6.13081	19.975	179.888	0.0257619	9.37561	79.5767
1889.7	3.67487	1.94E-03	315.48	65467.7	12.8544	19.991	179.949	0.0315488	5.98993	50.2102
740.77	15.6397	0.0211127	199.053	25607.7	19.4376	20.008	179.459	0.0307877	3.72231	31.6802
291.293	12.4717	0.0428149	125.594	10067.8	26.0052	19.984	178.921	0.030239	2.32145	19.9889
115.512	15.3122	0.13256	79.2435	3928.63	32.6041	19.995	176.682	0.0295449	1.47043	12.612
45.0894	14.2607	0.316277	49.9999	1563.22	39.3121	19.997	172.342	0.0290668	0.945819	7.95773
16.9729	15.391	0.906795	31.5478	636.127	46.0045	20.001	160.389	0.0276008	0.726264	5.02099
2.66675	11.7265	4.39728	19.9053	340.776	52.8997	19.984	151.15	0.0278987	0.604156	3.16802
1.60069	16.2635	10.1604	12.5594	182.569	59.4517	19.996	116.006	0.0200714	1.30119	1.99889
1.19307	19.4559	16.3075	7.92448	207.216	66.3313	19.993	97.6197	0.0210015	2.45978	1.26122
0.804789	21.5013	26.7167	4.99999	235.261	72.3685	19.999	91.8815	0.0217581	4.30329	0.795773
10.7935	33.3513	3.08994	3.15477	293.115	80.0125	20.012	73.0064	0.0167232	11.1115	0.502097
2.04871	11.1345	5.43489	1.99053	168.112	86.6894	20.007	80.7707	0.029651	5.68764	0.316802
4.03292	17.7545	4.4024	1.25595	170.15	95.4254	19.988	77.4949	0.0186133	14.4965	0.19989
2.44445	13.4548	5.50422	0.792448	174.399	107.032	20.007	79.8591	0.0253862	17.2567	0.126122
3.43274	13.5815	3.95647	0.499999	161.678	123.24	20.013	75.8751	0.0229682	28.0173	0.0795773
1.85474	9.51455	5.12987	0.315479	127.224	146.796	19.992	79.0039	0.0261134	30.7268	0.05021
1.10243	9.15642	8.30566	0.199053	113.228	182.099	20.002	83.1491	0.0244269	46.3321	0.0316803
0.9372	7.03211	7.50332	0.125594	87.9219	235.841	20.01	82.4161	0.0246581	56.4859	0.0199889
1.88788	6.35916	3.3684	0.0792448	78.6092	318.802	19.995	73.468	0.0235778	83.7087	0.0126122
1.35065	4.27793	3.16732	0.05	57.9795	447.955	20.004	72.4795	0.0257143	89.7217	7.96E-03

Anexo 9. Análisis reológico de mantequilla de requesón (MR5.5) a 10°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Complex viscosity	Frequency
Pa	Pa		rad/s	$\mu\text{N.m}$	s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}$	rad	Pa.s	Hz
7283.58	4572.6	0.627796	499.995	282375	6.16201	9.992	159.02	0.0560082	17.2001	79.5767
2519.32	7896.4	3.13434	315.48	109339	12.8544	10	120.458	0.0283963	26.2728	50.2102
2203.32	7661.86	3.47741	199.053	94788.6	19.7496	9.989	93.5296	0.0277552	40.0516	31.6802

2084.76	6929.24	3.32376	125.594	93742.4	26.598	9.982	81.1005	0.0285958	57.6147	19.9889
1932.36	6144.65	3.17987	79.2435	90222.2	33.4777	9.993	75.7574	0.029359	81.2852	12.612
1811.2	5543.24	3.06053	49.9999	85029.5	40.3573	9.988	73.1795	0.0295634	116.633	7.95773
1732.56	4988.34	2.87918	31.5478	79172	47.0497	9.995	71.3175	0.0299605	167.386	5.02099
1813.92	4530.9	2.49784	19.9053	72941.1	53.7889	9.997	68.3086	0.0298136	245.187	3.16802
1804	4134.35	2.29176	12.5594	68762.4	60.4813	10.003	66.4147	0.0303778	359.157	1.99889
1855.18	3941.78	2.12474	7.92448	65577.6	67.2049	10.011	64.7245	0.0299875	549.755	1.26122
1833.15	3772.92	2.05816	4.99999	64020.5	73.4293	9.993	63.993	0.0303965	838.939	0.795773
1284.36	4135.12	3.21959	3.15477	67456.9	81.0109	10.007	72.6303	0.0310139	1372.52	0.502097
1290.96	4366.66	3.38249	1.99053	65034.5	87.719	9.99	73.4037	0.0284329	2287.58	0.316802
1020.68	2924.14	2.86489	1.25595	56014	96.377	9.997	70.6733	0.0360077	2466	0.19989
789.34	3658.69	4.63513	0.792448	52553.7	108.061	9.986	77.7175	0.027948	4723.18	0.126122
879.565	2280.46	2.59271	0.499999	40395.3	124.301	10.001	68.8413	0.0328971	4888.42	0.0795773
725.392	1868.65	2.57606	0.315479	32984.2	148.06	10.007	68.7291	0.0327519	6353.87	0.05021
988.671	2312.65	2.33915	0.199053	33439.9	183.378	10	66.7845	0.0264669	12635.4	0.0316803
1237.93	2681.58	2.16618	0.125594	41368	237.167	9.983	65.1405	0.027884	23516.5	0.0199889
1934.96	3662.58	1.89284	0.0792448	51503.2	320.019	9.992	62.0437	0.0247616	52272.1	0.0126122
2215.16	4012.12	1.81121	0.05	64002.5	449.359	10.002	60.9773	0.0278137	91660.2	7.96E-03

Anexo 10. Análisis reológico de mantequilla de requesón (MR5.5) a 20°C

Storage modulus	Loss modulus	Tan(delta)	Angular frequency	Oscillation torque	Step time	Temperature	Raw phase	Oscillation displacement	Complex viscosity	Frequency
Pa	Pa		rad/s	µN.m	s	°C	°	rad	Pa.s	Hz
4752.75	88.5915	0.0186401	499.995	132617	6.13081	19.991	179.513	0.0254427	9.50724	79.5767
1217.39	862.331	0.708345	315.48	71627.3	12.7452	19.997	169.825	0.0292253	4.72886	50.2102
309.194	619.11	2.00234	199.053	29631.4	19.3284	19.987	163.469	0.0270955	3.47659	31.6802
226.14	500.658	2.21392	125.594	10610.3	25.9116	20.001	145.46	0.0239088	4.37411	19.9889
197.017	428.306	2.17395	79.2435	5497.61	32.5261	20.003	113.083	0.0234963	5.94934	12.612
199.188	376.596	1.89066	49.9999	4424.78	39.0781	19.998	82.7181	0.023192	8.5206	7.95773
206.83	341.23	1.64981	31.5478	4331.22	45.6613	20	66.7317	0.0232042	12.6481	5.02099

209.215	314.351	1.50253	19.9053	4310.17	52.4005	19.983	59.478	0.023506	18.9702	3.16802
208.859	292.588	1.40088	12.5594	4224.61	59.0617	19.985	55.7271	0.0237474	28.6228	1.99889
206.393	274.341	1.32922	7.92448	4102.42	65.9413	19.996	53.5466	0.0239366	43.3225	1.26122
202.611	259.133	1.27896	4.99999	3969.06	72.0097	20.003	52.179	0.0240779	65.788	0.795773
193.981	245.042	1.26323	3.15477	3814.75	79.6381	20.001	51.7134	0.0243151	99.0656	0.502097
179.53	229.947	1.28083	1.99053	3599.15	86.3149	19.994	52.0495	0.0245623	146.56	0.316802
129.326	188.006	1.45373	1.25595	3181.29	95.0198	20.011	55.4907	0.0277463	181.689	0.19989
89.4229	85.968	0.961364	0.792448	1760.93	106.673	19.987	43.8811	0.0282525	156.533	0.126122
64.6974	53.7272	0.830438	0.499999	1155.31	122.881	20.015	39.7125	0.0273365	168.195	0.0795773
48.3128	30.57	0.632752	0.315479	794.686	146.437	19.993	32.326	0.0276572	181.223	0.05021
33.6219	19.3186	0.574584	0.199053	543.526	181.616	19.991	29.8822	0.0278882	194.806	0.0316803
25.8624	14.4702	0.559509	0.125594	406.137	235.514	19.995	29.2279	0.0272669	235.961	0.0199889
21.7614	10.0715	0.462816	0.0792448	324.414	318.381	19.989	24.8355	0.0269178	302.594	0.0126122
21.3024	9.99562	0.469226	0.05	296.772	447.549	20	25.137	0.0250929	470.618	7.96E-03

