

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA LECHE DE CABRAS SUPLEMENTADAS CON ACEITE DE  
ORÉGANO NANOPARTICULADO EN LA CALIDAD DEL YOGURT**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

PRESENTA

**ING. MIGUEL NEFTALÍ PÉREZ SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA LECHE DE CABRAS SUPLEMENTADAS CON ACEITE DE  
ORÉGANO NANOPARTICULADO EN LA CALIDAD DEL YOGURT**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

PRESENTA

**ING. MIGUEL NEFTALÍ PÉREZ SÁNCHEZ**

EFFECTO DE LA LECHE DE CABRAS SUPLEMENTADAS CON ACEITE DE  
ORÉGANO NANOPARTICULADO EN LA CALIDAD DEL YOGURT

POR

ING. MIGUEL NEFTALÍ PÉREZ SÁNCHEZ

*Como requisito parcial para obtener el Grado de*

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

Aprobación de la Tesis:



**D.Ph. Gerardo Méndez Zamora**  
Director de Tesis



**Dr. Juan Gabriel Báez González**  
Co-Director Externo de Tesis



**Ph.D. Alejandro Isabel Luna  
Maldonado**  
Asesor de Tesis



**Dra. Sugrey Ramona Sinagawa  
García**  
Asesora de Tesis



**Dra. Daniela Sarai Rico Costilla**  
Asesora Externo de Tesis



**Dr. Guillermo Niño Medina**  
Asesor de Tesis



**Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto**  
Subdirectora de Posgrado e Investigación

## DEDICATORIA

A mi hijo, Elías Nicolás, mi motor.  
Gracias por darme el regalo de ser tu papá.



Nunca dejes de creer en ti.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme salud, sabiduría, entendimiento, paciencia y sobre todo fortaleza para cumplir con este proyecto de vida.

A mis padres Enrique y Petry por su apoyo incondicional durante toda mi vida y este proceso, por siempre motivarme a seguir creciendo personal, académica y espiritualmente. A mi hermana Ana Lucía por la alegría que me has compartido desde que naciste y el apoyo demostrado desde entonces.

A mis abuelos por sembrar en mí valores y compartir conocimientos que me han ayudado a lograr muchos de mis objetivos personales, académicos y laborales.

Nicolás Pérez Robles (†)  
Antonia Chirinos Díaz (†)

José A. Sánchez Galván (†)  
Tomas Collazo Sánchez (†)

A mis tíos, primos, sobrinos, y bienhechores de la familia Sánchez Collazo y Pérez Chirinos por apoyarme, aconsejarme y mostrar solidaridad en cada uno de los pasos que he dado en cada momento de mi vida.

A mis amigos que siempre han estado: Lorena Urazanda y Gregorio Montes. Gracias por el apoyo mostrado en este y muchos procesos

A las personas que han llegado a mi vida para ayudarme a seguir creciendo en muchos aspectos de mi vida. Especialmente a la Lic. Flor Valdivia y al Dr. Federico Ramos por ser una luz en la búsqueda de mi salud mental y emocional.

También quiero agradecer a Rebeca Pérez Ferrer por ser una luz importantísima y un ángel que apareció en momentos muy difíciles, gracias por tu confianza, consejos, y todo el crecimiento personal que has traído a mi vida.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por ser mi *Alma mater* y mi entorno laboral por todas las facilidades brindadas para poder realizar mis estudios de maestría y trabajo de investigación.

A la Facultad de Agronomía por facilitar instalaciones y equipos para realizar este trabajo de investigación, especialmente al Centro de Investigación y Desarrollo de Industrias Alimentarias, los Laboratorios de Biotecnología, Ingeniería, Sensorial y Microbiología; así mismo agradezco a los investigadores encargados (Dra. Sughey Sinagawa, Dr. Alejandro Luna, Dra. Beatriz Rodríguez, Dra. Mariana Márquez ) y personal de los mismos por el apoyo brindado (Ing. Zayd Eliud Rangel Nava, Ing. Jesús Alberto Lara Reyes y Don Jorge).

Al Rancho Agrícola La Gloria por facilitar las instalaciones, personal y ganado caprino para la primera fase experimental, especialmente a la Dra. Karla Castillo.

A la empresa MNA de México S.A. de C.V., encabezada por el Ph.D. Jorge R. Kawas por el apoyo y financiamiento del proyecto.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, particularmente al Laboratorio de Ciencias de los Alimentos dirigido Dr. Juan Gabriel Báez González por facilitar el uso de equipo e instalaciones.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por facilitar el uso del Laboratorio de Nutrición y Metabolismo Animal, en particular a la T.L.Q. María Julia Arteaga Muñoz por el apoyo brindado.

A cada uno de los miembros del comité por su valiosa aportación de conocimientos, experiencia y participación.

Al D.Ph. Gerardo Méndez Zamora por el apoyo y la confianza depositada en un servidor para ejecutar este trabajo de investigación, por las aportaciones tan enriquecedoras al mismo y por ser un gran compañero, maestro y amigo.

Al Dr. Juan Gabriel Báez González, por su valiosa participación como Co- director y enriquecer con su conocimiento y experiencia esta investigación.

Al Dr. Alejandro Luna Maldonado por contribuir con su experiencia innovadora desde que fue mi profesor en licenciatura.

Al Dr. Guillermo Niño Medina por su aportación a esta tesis y por compartir sus conocimientos desde la licenciatura.

A la Dra. Sughey R. Sinagawa García y la Dra. Daniela Saraí Rico Costilla por el apoyo y contribuciones.

A la M.C. Jocelyn Cyan López Puga y al M.C. Gustavo Sobrevilla Hernández por el apoyo brindado en la fase experimental y por compartir conocimientos para llevar a cabo la investigación, un placer trabajar con ustedes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XVI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	4
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo General .....	4
3.2. Objetivos Específicos.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
4.1. Biosíntesis de la Leche .....	5
4.2. Composición de la Leche de Cabra .....	8
4.3. Producción Mundial de Leche de Cabra .....	9
4.4. Producción Nacional de Leche de Cabra.....	10
4.5. Producción de Yogurt a Nivel Mundial .....	11
4.6. Elaboración de Yogurt.....	11
4.6.1. Fundamento de elaboración de yogurt (fermentación láctica) .....	13
4.6.2. Ruta metabólica .....	14
4.6.3. Formación de geles .....	16
4.6.4. Formación de aroma y sabor .....	17
4.7. Parámetros de Calidad del Yogurt .....	18
4.7.1. Características fisicoquímicas.....	19
4.7.2. Composición química del yogurt .....	19



4.8.	Clasificación del Yogurt.....	19
4.9.	Calidad Tecnológica del Yogurt .....	20
4.9.1.	Sinéresis .....	20
4.9.2.	Viscosidad y propiedades de flujo.....	23
4.9.3.	Microestructura .....	24
4.9.4.	Colorimetría .....	27
4.9.5.	Atributos sensoriales.....	28
4.10.	Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas.....	28
4.11.	Aceite Esencial de Orégano .....	29
4.12.	Aditivos Naturales en el Yogurt .....	29
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1.	Localización del Estudio.....	33
5.2.	Origen de la Materia Prima e Ingredientes.....	33
5.3.	Diseño Experimental .....	34
5.4.	Composición y Fisicoquímica de la Leche Cruda y Ultrapasteurizada.....	34
5.5.	Proceso de Elaboración del Yogurt.....	35
5.6.	Evaluación de la Curva de Acidificación .....	35
5.7.	Fisicoquímica del Yogurt (pH, acidez, colorimetría y sinéresis) .....	35
5.8.	Análisis Proximal.....	36
5.9.	Análisis de Perfil de Textura .....	36
5.10.	Análisis de las Curvas de Flujo .....	37
5.11.	Capacidad Antioxidante.....	37
5.12.	Evaluación Sensorial .....	38
5.13.	Análisis de Datos.....	39

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
6.1. Leche de Cabra Cruda y Ultrapasteurizada .....	40
6.1.1. Composición química.....	40
6.1.2. Características fisicoquímicas.....	43
6.2. Análisis y Caracterización de la Curva de Acidificación (pH y acidez) .....	43
6.3. Fisicoquímica del Yogurt (pH, acidez, sinéresis, colorimetría).....	49
6.4. Análisis Proximal.....	51
6.5. Análisis de Perfil de Textura .....	53
6.6. Evaluación de las Curvas de Flujo .....	55
6.6.1. Viscosidad .....	57
6.7. Actividad Antioxidante.....	58
6.8. Evaluación Sensorial.....	60
7. CONCLUSIONES .....	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	64

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición de la leche de algunas especies de mamíferos.....	8
2	Producción mundial (millones de toneladas) de leche de cabra del 2019 al 2021.....	10
3	Producción de leche de cabra en México de 2019 y 2020.....	12
4	Composición media de yogurt elaborado con leche de cabra.....	20
5	Tipos de yogurt comercializados en el mundo.....	21
6	Compuestos volátiles presentes en el aceite esencial de orégano <i>Lippia berlandieri</i> Schauer.....	30
7	Investigaciones de adición de ingredientes naturales en leche y yogurt.....	31
8	Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche cruda para elaborar yogurt.....	41
9	Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche ultra pasteurizada para elaborar yogurt.....	44
10	pH y acidez titulable en la leche cruda y ultrapasteurizada de cabras suplementadas con aceite de orégano para la elaboración de yogurt.....	45
11	Análisis de la curva de fermentación del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	48

12	Análisis de la curva de fermentación del yogurt elaborado con leche de cabra suplementadas con aceite de orégano (segundo orden).....	50
13	Análisis del tiempo final de fermentación y características fisicoquímicas del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	51
14	Análisis colorimétrico del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	52
15	Análisis proximal del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	53
16	Análisis de Perfil de Textura del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	54
17	Análisis de flujo del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	56
18	Pendientes de la viscosidad de los yogurts elaborados con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	58
19	Determinación de la actividad antioxidante del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	59
20	Evaluación sensorial de consumidor por atributos de yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	61
21	Evaluación sensorial con la prueba triangular del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura de la Glándula Mamaria.....	5
2	Célula Mioepitelial de las Glándulas Mamarias.....	7
3	Esquema de la síntesis de los componentes de la leche.....	7
4	Producción mundial de yogurt en 2019 y 2020.....	13
5	Proceso de elaboración del yogurt.....	14
6	Esquema simplificado de las reacciones metabólicas involucradas en las bacterias homofermentativas del yogurt...	15
7	Red tridimensional de caseínas formada por efecto de la acidificación de la leche.....	17
8	Compuestos aromáticos presentes en el yogurt.....	18
9	Clasificación de yogurt de acuerdo a la diversidad de origen...	21
10	Análisis de curvas de flujo del yogurt elaborado con tres tipos de leche.....	25
11	Factores que pueden afectar la microestructura del yogurt y las leches fermentadas.....	26
12	Curva de acidificación de leche (pH) de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	46
13	Curva de acidificación de leche (AT) de cabras suplementadas con aceite de orégano.....	47

14	Comportamiento de la viscosidad de los yogurts obtenidos con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano....	57
----	--	----

## RESUMEN

Las plantas aromáticas y sus extractos están siendo utilizados en la producción animal y alimentos para consumo humano. En este estudio, se investigó el efecto de la leche de cabras suplementadas con aceite de orégano puro (AO) y nanoparticulado (AON) en dieta para obtener yogurt. Entonces, la composición de la leche de cabra, fermentación, fisicoquímica, composición, reología, textura, propiedades antioxidantes y sensoriales del yogurt se evaluaron en tres periodos de muestreo (réplicas experimentales). Un diseño de bloques completamente al azar se planteó con cinco cabras Alpino Francés por tratamiento, estableciendo tres periodos de tiempo para el muestreo de la leche y elaborar yogurt (Y). Los tratamientos establecidos desde campo fueron Y-CON: yogurt obtenido de la leche de cabras suplementadas con 0 ppm de AO, Y-AO: yogurt obtenido de leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta y Y-AON: yogurt obtenido de leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. La composición, pH y acidez titulable (AT) de la leche se analizó. En la fermentación, el pH y AT se midió cada 60 min. También, las características fisicoquímicas (sinéresis, color, pH y AT), análisis proximal, textura, curvas de flujo, viscosidad, propiedades antioxidantes y sensoriales se evaluaron en el yogurt. En la leche cruda, los sólidos no grasos (SNG), grasa, proteína, lactosa y densidad se obtuvieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); el agua y sólidos totales no tuvieron diferencia ( $P > 0.05$ ). Diferencia ( $P < 0.05$ ) en grasa se observó en la leche cruda y ultrapasteurizada; el Y-AO con menor grasa, pero en SNG, proteína, lactosa y densidad presentó los valores más altos. En los tiempos finales de fermentación, Y-CON obtuvo el menor ( $P < 0.05$ ) tiempo y Y-AON con el mayor tiempo. El yogurt Y-AO y Y-CON presentaron la menor ( $P < 0.05$ ) sinéresis. Las variables de color no

presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ), pero la luminosidad ( $L^*$ ) fue mayor en Y-AON. En los análisis de textura, la dureza, gomosidad y masticabilidad fueron mayores ( $P < 0.05$ ) para Y-AON, mientras que adhesividad, elasticidad y cohesividad resultaron mayores en Y-CON. En el análisis proximal del yogurt, el Y-AO tuvo más ( $P < 0.05$ ) proteína y menos ( $P < 0.05$ ) grasa. Así mismo, la reología del yogurt confirmó mediante las curvas de flujo que se comportan como un yogurt pseudoplástico y se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en las viscosidades e índices de consistencia, siendo mayores ( $P < 0.05$ ) en Y-AON. La actividad antioxidante del yogurt mostró que el Y-AON obtuvo mayor ( $P < 0.05$ ) capacidad antioxidante en el porcentaje de inhibición (DPPH%) y  $\mu\text{Mol/L}$  Trolox (ABTS). Por último, en la evaluación sensorial no se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos para los atributos y prueba triangular.

En conclusión, la suplementación de AON en la dieta de las cabras lecheras tiene efecto positivo en la calidad fisicoquímica y composición de la leche, así como en la calidad tecnológica y actividad antioxidante del yogurt.



## ABSTRACT

Aromatic plants and their extracts are being used in animal production and food for human consumption. In this study, the effect of goat milk supplemented with pure oregano oil (OO) and nanoparticulated (OON) in diet to obtain yogurt was investigated. Then, goat milk composition, fermentation, physicochemical, composition, rheology, texture, antioxidant and sensory properties of yogurt were evaluated in three sampling periods (experimental replicates). A completely randomized block design was used with five French Alpine goats per treatment and three time periods for milk sampling and yogurt production. The treatments established were Y-CON: yogurt obtained from milk of goats supplemented with 0 ppm OO, Y-OO: yogurt obtained from milk of goats supplemented with 300 ppm pure OO in the diet, and Y-OON: yogurt obtained from milk of goats supplemented with 300 ppm OON in the diet. The composition, pH and titratable acidity (TA) of milk were analyzed. During fermentation, pH and TA were measured every 60 min. Also, physicochemical characteristics (syneresis, color, pH and TA), proximate analysis, texture, flow curves, antioxidant and sensory properties were evaluated in yogurt. In raw milk, non-fat solids (NFS), fat, protein, lactose and density had differences ( $P < 0.05$ ); water and total solids had no differences ( $P > 0.05$ ). Effect ( $P < 0.05$ ) was observed in fat in raw and ultra pasteurized milk, with Y-OO showing the lowest value, but in NFS, protein, lactose and density presented the highest ( $P < 0.05$ ) values. In the final fermentation time, Y-CON had the shortest ( $P < 0.05$ ) fermentation time and Y-OON had the longest ( $P < 0.05$ ) fermentation time. Y-OO and Y-CON showed the lowest ( $P < 0.05$ ) syneresis. The color variables showed no differences ( $P > 0.05$ ), but lightness ( $L^*$ ) was higher ( $P < 0.05$ ) for Y-OON. In relation to texture analysis, hardness, gumminess, and chewiness were higher ( $P < 0.05$ ) for Y-

OON, while adhesiveness, springiness and cohesiveness were higher ( $P < 0.05$ ) in Y-CON. For proximal analysis of yogurt, protein increased and fat decreased ( $P < 0.05$ ) for Y-OO. Likewise, rheology analysis confirmed by means of flow curves, a pseudoplastic, and differences were observed ( $P < 0.05$ ) for viscosity and consistency indexes between treatments, being higher in Y-OON. The antioxidant activity for Y-OON was the highest on percentage of inhibition (DPPH%) and  $\mu\text{Mol/L}$  Trolox (ABTS). Finally, sensory evaluation was no different ( $P > 0.05$ ) between treatments for attributes and triangular test.

In conclusion, OON supplementation in the diet of dairy goats has a positive effect on the physicochemical quality and composition of goat milk, as well as, on the technological quality and antioxidant activity of the yogurt.

## 1. INTRODUCCIÓN

La leche es un líquido blanco, opaco, dos veces más denso que el agua, de sabor ligeramente azucarado y olor poco acentuado (Vargas Aguilar *et al.*, 2006). Fox y McSweeney (2015) señalan que está constituida por una emulsión aceite/grasa en fase dispersa y una solución acuosa coloidal en fase continua. La NMX-F-728-COFOCALEC (2017) define a la leche cruda de cabra como la secreción natural de las glándulas mamarias después del calostro, sin substracción alguna de sus componentes y sin tratamiento térmico. Algunos autores señalan que 100 g de leche de cabra aportan 70 kcal, 4.50 g carbohidratos, 3.30 g proteínas, 4.0 g grasas; 11 mg colesterol, y un índice glucémico de 24. En cuanto a las vitaminas se encuentran la A, D, C y en menor cantidad B1, B2, B3, B5 y B12. Mientras que los minerales son Ca, P, Mg, Fe, Zn, Se, Mn y Cu (Meléndez-Villarreal *et al.*, 2005).

Sin embargo, en la actualidad existen enfermedades degenerativas en el ser humano que han sido relacionadas con el consumo de alimentos de origen animal. Por lo que, una alternativa sería usar compuestos bioactivos naturales en la dieta de los animales que son destinados para la producción de alimentos, como los productos lácteos y cárnicos. En este sentido, el extracto de las hojas de orégano, conocido como aceite esencial de orégano (AO), puede ser una alternativa en la producción de leche y carne de cabra; el AO tiene metabolitos que no solamente son benéficos para la salud humana, si no que pueden ser utilizados como sustitutos de aditivos alimentarios (Arcila-Lozano *et al.*, 2004).

Estos aceites esenciales poseen un gran potencial, aunque son químicamente inestables en determinadas condiciones (oxígeno, luz, humedad, calor) por lo que la micro encapsulación podría ser una opción viable para mantener sus características

biológicas y funcionales (Bakry *et al.*, 2016); así mismo, el nanoparticulado puede ser otra opción para mantener las propiedades biológicas de estos compuestos. Son escasos los estudios realizados sobre la adición de aceite de orégano puro y nanoparticulado en la dieta de cabras lecheras, razón por la cual no hay un panorama claro sobre los efectos que éste puede tener en la calidad fisicoquímica, sensorial y tecnológica de la leche y sus subproductos. Algunos datos describen que las hierbas aromáticas como el romero, tomillo y orégano han sido estudiados por su alto contenido de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante (Parejo *et al.*, 2003; Boutoial *et al.*, 2013).

La teoría menciona que la leche es biosintetizada en las células mioepiteliales del alvéolo presente en la ubre, donde ocurren procesos enzimáticos y bioquímicos que dan origen a los componentes que se conocen de este alimento (agua, grasa, proteínas, lactosa y minerales); los cuales son responsables de las características fisicoquímicas de la leche (composición, solución o suspensión coloidal, emulsión aceite en agua y solución verdadera). Estos componentes están presentes en la leche como una emulsión grasa/agua, solución/suspensión coloidal y como solución verdadera; por lo tanto, es posible que las nanopartículas de aceite de orégano alcancen a llegar a la biosíntesis y formar parte de la composición final de la leche, todo esto en función del tamaño de partícula de los componentes de ésta, los cuales oscilan para glóbulos de grasa de 10.0-2.0 a 10.0-3.0  $\mu\text{m}$ , caseína de 10.0-1.0 a 10.0-5.0  $\mu\text{m}$ , proteínas del lactosuero, lactosa y sales minerales de 10.0-6.0 a 10.0-7.0  $\mu\text{m}$  (Fox *et al.*, 2015). Tales componentes son indispensables para el procesamiento de los productos lácteos, por ejemplo el queso y yogurt.

En los últimos años, el yogurt obtenido de leche de cabra toma importancia en la investigación con relación al proceso de fermentación, contenido nutricional y características fisicoquímicas. Las leches fermentadas han sido de interés por los investigadores debido a los amplios beneficios que otorgan a la salud del consumidor. Dentro de éstas, el yogurt batido es una leche fermentada elaborado a partir de leche entera o descremada en el cual toman acción las bacterias ácido lácticas (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruckii spp bulgaricus*), transformando los azúcares en ácido láctico y otros compuestos (Contreras, 2007). Este proceso fermentativo otorga al yogurt un sabor y olor agradables ligeramente ácidos, además de mejorar otros de sus atributos sensoriales. Diversas investigaciones han demostrado que este alimento es utilizado como opción al consumo de leche de vaca para personas que presentan algún tipo de alergia o intolerancia a ésta, porque sus proteínas son más digeribles (Haenlein, 2004; Vega y León, 2010).

## **2. HIPÓTESIS**

La suplementación de aceite de orégano en la dieta de las cabras lecheras mejora la composición de la leche de cabra, fermentación, fisicoquímica, composición, curvas de flujo, textura, propiedades antioxidantes y sensoriales del yogurt.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo General**

Evaluar la composición de la leche de cabra, fermentación, fisicoquímica, composición, curvas de flujo, textura, propiedades antioxidantes y sensoriales del yogurt obtenido con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano puro y nanoparticulado en dieta.

### **3.2. Objetivos Específicos**

1. Evaluar la composición de la leche de cabra cruda y ultrapasteurizada.
2. Analizar la curva de fermentación evaluando el pH y acidez titulable del yogurt.
3. Evaluar las variables fisicoquímicas (pH, acidez titulable, porcentaje de sinéresis y color) y composición proximal del yogurt.
4. Determinar el análisis de perfil de textura y flujo (reología) del yogurt.
5. Evaluar la actividad antioxidante del yogurt.
6. Analizar los atributos sensoriales del yogurt y evaluar el efecto en la calidad sensorial de los yogurts.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Biosíntesis de la Leche

La glándula mamaria (Figura 1) está constituida por alveolos, que son pequeñas estructuras con forma redonda y huecas en el centro (lumen) que están forradas con células mioepiteliales, encargadas de sintetizar los componentes de la leche. Un conjunto de alveolos forma los lóbulos, los cuales están conectados por los ductos lácteos que permiten el paso de la leche hacia un depósito mejor conocido como cisterna de la glándula. La parte final de la glándula mamaria es el pezón, un canal que permite la salida de la leche (Martínez y Suárez, 2018).

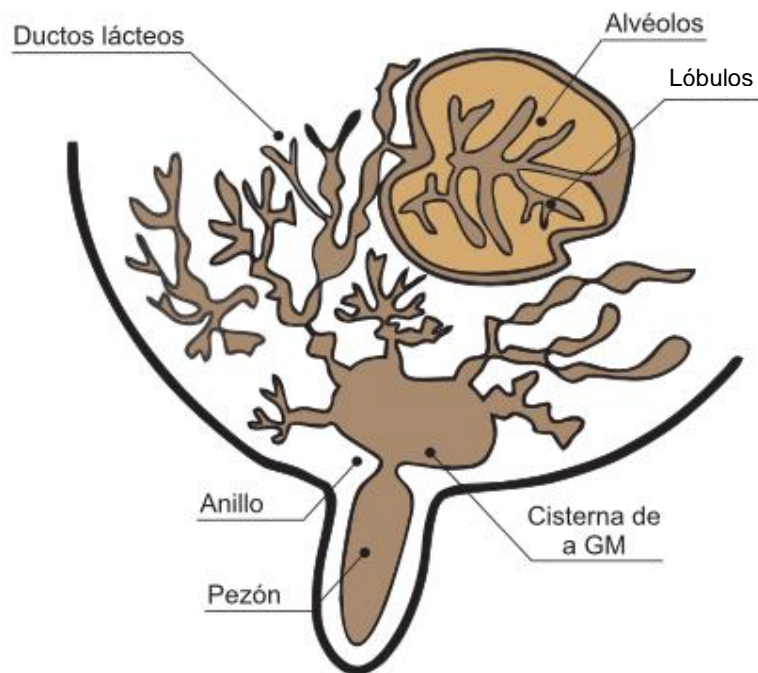


Figura 1. Estructura de la Glándula Mamaria.

Fuente: Martínez y Suárez (2018).

Martínez y Suárez (2018) indican que los alimentos consumidos por los animales son la principal fuente de precursores que recibe la glándula mamaria para ser transformados en proteína, grasa, lactosa, sales, vitaminas y minerales. Los constituyentes de la leche son sintetizados en las células epiteliales cuando éstas absorben las moléculas de los componentes nutrimentales que son transportados por el torrente sanguíneo (Fox *et al.*, 2015).

Las células secretoras contienen un núcleo rodeado por una membrana celular. El citoplasma contiene los organelos habituales señalados en la Figura 2; donde se observa la mitocondria, en la cual se lleva a cabo el ciclo de Krebs y envía energía al retículo endoplásmico que está unido a los ribosomas, lugar en que se desarrollan muchas de las reacciones de biosíntesis de los componentes básicos de la leche. Después, en el aparato de Golgi donde son empaquetados en vesículas secretoras o bien, como glóbulos grasos en el citoplasma para finalmente pasar por la membrana apical y almacenarse en el alveolo (Fox *et al.*, 2015).

De manera general, en la Figura 3 se describe la síntesis de proteínas por difusión de proteínas a través del torrente sanguíneo y por captación de aminoácidos sanguíneos provenientes de la digestión de la proteína bacteriana. Por otro lado, la lactosa se origina a partir de la glucosa disponible en la glándula mamaria a través de procesos enzimáticos y la grasa está compuesta por numerosos ácidos grasos que se sintetizan en el rumen por acción microbiana y también a nivel celular en la glándula mamaria a partir de los precursores que llegan mediante el torrente sanguíneos (Martínez y Suárez, 2018).



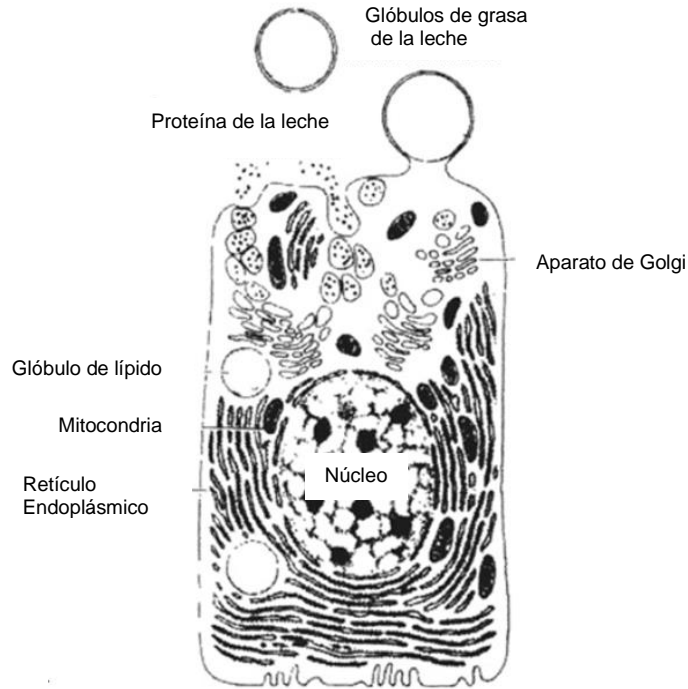


Figura 2. Célula Mioepitelial de las Glándulas Mamarias.

Fuente: Fox *et al.* (2015).

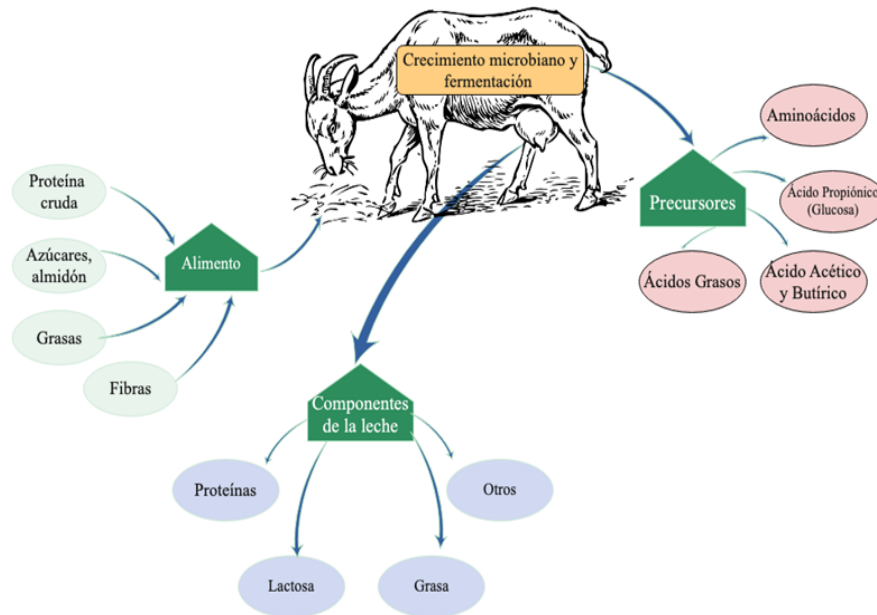


Figura 3. Esquema de la síntesis de los componentes de la leche.

Fuente: Martínez y Suárez (2018).

## 4.2. Composición de la Leche de Cabra

Los componentes de la leche caprina difieren de la leche bovina y de otras especies conocidas (Cuadro 1); sin embargo, la variación de sus componentes se puede deber a ciertos factores como la alimentación, tipo de manejo, raza, salud del animal, entre otros (Bedoya-Mejía *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Composición de la leche de algunas especies de mamíferos.

Especie	Contenido (%)				
	Sólidos Totales	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas
Humana	12.2	3.8	1.0	7.0	0.2
Vaca	12.7	3.7	3.4	4.8	0.7
Cabra	12.3	4.5	2.9	4.1	0.8
Oveja	19.3	7.4	4.5	4.8	1.0
Puerco	18.8	6.8	4.8	5.5	0.9

Fuente: Fox *et al.* (2015).

La lactosa es el principal carbohidrato presente en la leche de cualquier especie de mamíferos con importancia tecnológica en la elaboración de subproductos y valor biológico favoreciendo la absorción de minerales como el Ca, P, Mg y vitamina D; sin embargo, en la leche de cabra se presenta en menor proporción este azúcar a comparación de la leche bovina, pero en relación a los oligosacáridos, la caprina tiene

de cuatro a cinco veces más concentración que la leche de vaca (Bedoya-Mejía *et al.*, 2012). Respecto a las proteínas, las principales en la leche de cabra son la lactoglobulina,  $\alpha$ - lactoalbúmina,  $\kappa$ - caseína,  $\beta$ - caseína,  $\alpha$ <sub>1</sub>- caseína y  $\alpha$ <sub>2</sub>-caseína, mismas que son encontradas en la leche de vaca, pero con diferencias en las concentraciones y polimorfismos, siendo las micelas de la leche bovina de menor tamaño que las de la leche de cabra.

La concentración de los ácidos grasos de la leche de cabra y bovina son diferentes, lo cual es de suma importancia sobre la calidad del producto pues se ha reportado que los ácidos grasos de cadena corta se encuentran en mayor proporción en la leche de cabra, tales como el caproico (C6:0), caprílico (C8:0) y cáprico (C10:0), que son responsables del sabor característico de la leche de cabra (Bedoya- Mejía *et al.*, 2011). Zervas y Tsiplakou (2013) mencionaron que el contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) se ha encontrado en mayor proporción en la leche de cabra con propiedades anti- cancerígenas y antiobesidad, antiinflamatorios, inmunoestimulante, entre otras.

### **4.3. Producción Mundial de Leche de Cabra**

El consumo de leche caprina ha incrementado por su alto valor nutrimental y, como una alternativa para personas intolerantes o alérgicas a la leche bovina. También se sabe que el fuerte aroma es causado por la presencia de machos al momento de la ordeña (Ghibaudi *et al.*, 2020), lo cual trae consigo mejoras en su calidad. De acuerdo a las estadísticas de la FAO hasta el año 2021, la mayor producción de leche fue en India, Bangladesh y Pakistán; sin embargo, el destino de la leche es el autoconsumo debido la situación económica, factores culturales y religiosos. En el Cuadro 2 se presenta la producción mundial de leche de cabra desde el año 2019 al 2021, donde se observa que México se ubica en el lugar 25 con 166.52 ton de leche en el año 2021.

Cuadro 2. Producción mundial (millones de toneladas) de leche de cabra del 2019 al 2021.

Lugar	País	2019	2020	2021
1	India	5.85	6.26	6.07
2	Bangladesh	2.75	2.63	2.67
3	Sudán	1.16	1.17	1.16
4	Pakistán	0.94	0.97	0.99
5	Francia	0.65	0.71	0.71
6	Turquía	0.58	0.59	0.62
7	España	0.54	0.52	0.52
8	Sudán del Sur	0.47	0.47	0.47
9	Nigeria	0.39	0.41	0.39
25	México	0.16	0.16	0.17

Fuente: FAO (2023).

#### 4.4. Producción Nacional de Leche de Cabra

En México, el consumo de leche caprina no es común, no obstante es una materia prima en la elaboración de algunos productos y como consumo de carne en la zona norte del país (Melendez-Villarreal *et al.*, 2005). La producción de este alimento es una

actividad realizada en gran parte del centro, occidente y norte de México, en la cual participan miles de familias que se dedican a la producción de esta materia prima para proveer a la industria y elaboración de productos artesanales como queso y dulces de leche (NMX- F- 728- COFOCALEC, 2017).

En el Cuadro 3 se muestran los estados con mayor producción de leche de cabra en México hasta el año 2021. Coahuila, Guanajuato y Jalisco son los principales productores. Por otro lado, Nuevo León ocupa el lugar 10 en leche caprina para los años 2019 y 2020, pasando a octavo lugar en 2021.

#### **4.5. Producción de Yogurt a Nivel Mundial**

Uno de los productos lácteos más consumidos en el mundo, después del queso, es el yogurt, por ser una excelente fuente de proteínas y nutrientes como Ca, P, vitamina B12, Mg y Zn (Gahrue *et al.*, 2015). En la Figura 4 se observan los principales países productores de yogurt en el año 2019 y 2020, en la cual sobresalen países como Alemania, Francia y Polonia, Jordania y Grecia.

#### **4.6. Elaboración de Yogurt**

Corrieu y Béal (2015) señalan que el proceso de elaboración del yogurt está sistematizado por tres etapas primordiales: la preparación de la base o mezcla (1), la cual puede incluir operaciones unitarias como la homogenización, el enfriamiento o tratamiento térmico. El proceso de fermentación (2) que consiste en inocular la mezcla con el cultivo o iniciador, apto para el mejoramiento de las características organolépticas del yogurt. El tercer paso consiste en el almacenamiento del yogurt o bien, el post tratamiento de batido, mezclado o endulzado, y su posterior envasado. La Figura 5 describe el proceso industrial de la elaboración del yogurt.

Cuadro 3. Producción de leche de cabra en México de 2019 y 2020.

2019			2020			2021		
Lugar*	Estado	Producción (Miles de L)	Lugar	Estado	Producción (Miles de L)	Lugar	Estado	Producción (Miles de L)
1	Coah	45,065.22	1	Coah	44,888.33	1	Coah	45,548.06
2	Gto	42,196.38	2	Gto	42,792.75	2	Gto	43,911.86
3	Dgo	25,180.58	3	Dgo	24,822.25	3	Dgo	24,785.53
4	Jal	9,015.30	4	Jal	9,506.84	4	Jal	9,753.40
5	Chih	7,340.81	5	Chih	7,529.31	5	Chih	7,649.64
6	Zac	5,894.86	6	Zac	6,347.75	6	Zac	6,397.63
7	SLP	4,769.34	7	SLP	5,125.81	7	SLP	5,241.32
8	BCS	4,123.09	8	Mich	4,081.75	8	NL	4,484.28
9	Mich	4,036.23	9	BCS	4,077.12	9	BCS	4,238.31
10	NL	3,896.60	10	NL	4,047.27	10	Mich	4,123.07

\*Coah: Coahuila; Gto: Guanajuato; Dgo: Durango; Jal: Jalisco; Chih: Chihuahua; Zac: Zacatecas; SLP: San Luis Potosí; BCS: Baja California Sur; Mich: Michoacán; NL: Nuevo León.  
Fuente: SIAP (2023).

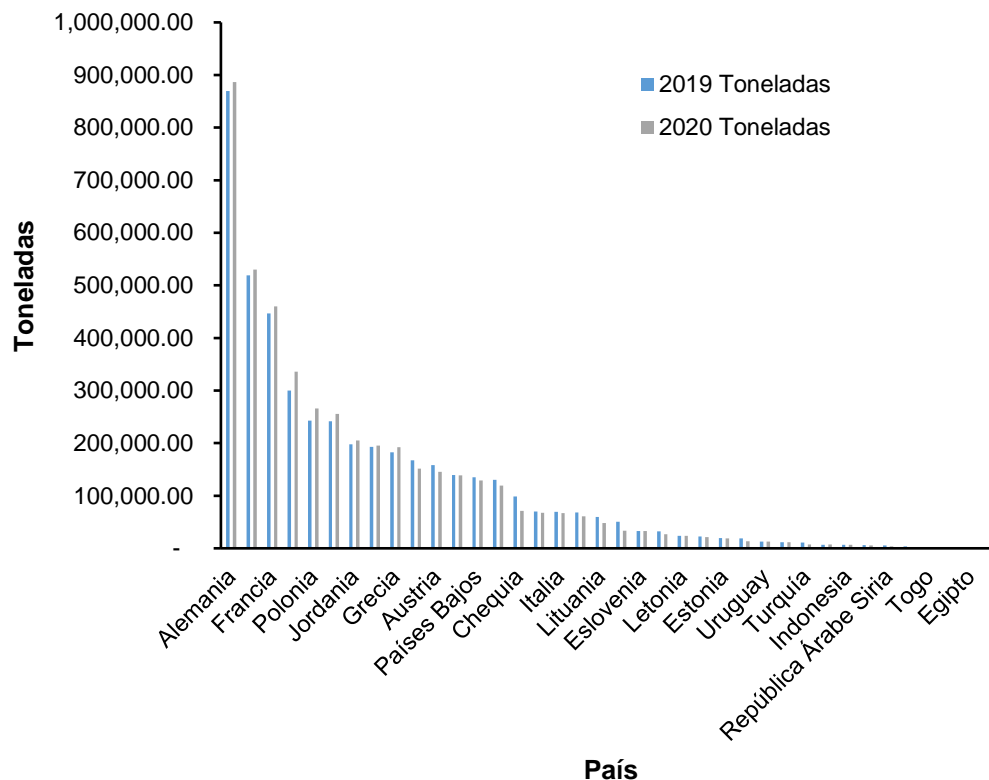


Figura 4. Producción mundial de yogurt en 2019 y 2020.

Fuente: FAO (2023).

#### 4.6.1. Fundamento de elaboración de yogurt (fermentación láctica)

El fundamento de la preparación del yogurt es la fermentación de la leche con cultivos de bacterias ácido lácticas que consisten en una mezcla de *Streptococcus ssp.* y *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (Lee y Lucey, 2010). Las bacterias ácido lácticas (BAL) tienen la capacidad de fermentar en condiciones anaerobias la glucosa, entre otras hexosas, en lactato. La energía que las BAL requieren la obtienen a partir de carbohidratos fermentados, siendo la lactosa el principal carbohidrato disponible en la leche para fermentar. El ácido láctico desnaturaliza las proteínas lácteas y promueve

su precipitación (coagulación), y además otorga el sabor y aromas característicos del yogurt (Zourari *et al.*, 1992).

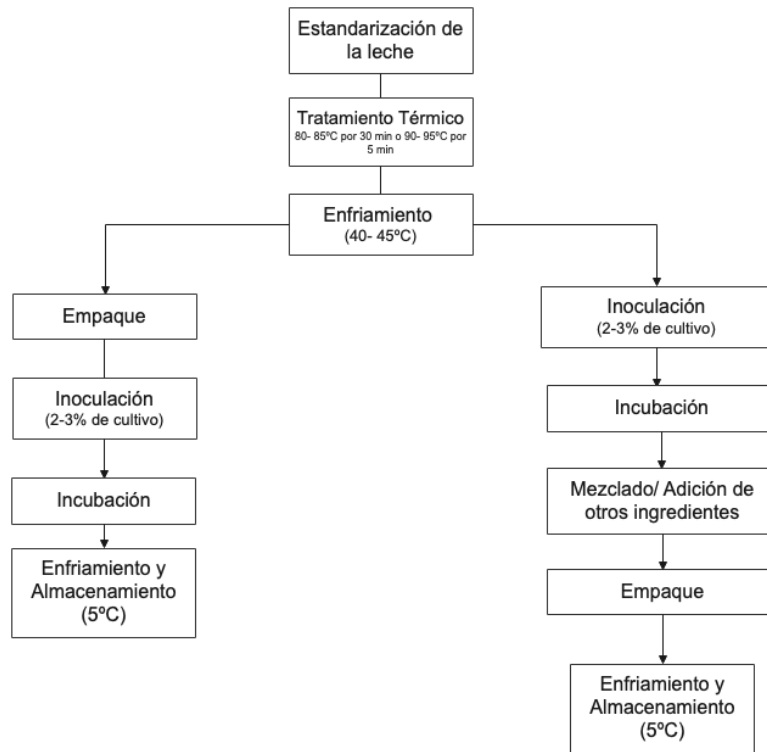


Figura 5. Proceso de elaboración del yogurt.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.2. Ruta metabólica

El proceso de fermentación de la lactosa es realizado mediante una catalización promovida por una deshidrogenasa láctica ligada a un dinucleótido de nicotinamida adenina (NAD), en la cual se reduce el piruvato a lactato sin la formación de gas, y el producto de esta reacción son dos moléculas de adenosín trifosfato por cada molécula de hexosa. En la glucólisis se consumen dos moléculas de ATP cuando se forma hexosa-difosfato a partir de la glucosa, produciéndose por otra parte cuatro moléculas



de ATP (Tamime y Deeth, 1980). En la fermentación láctica se obtienen dos moléculas de piruvato por cada molécula de glucosa y es mediante las vías de Embden-Meyerhof (EMP) y pentosa fosfoacetolasa (PK) que las hexosas y pentosas son catalizadas en ácido láctico. Las BAL transportan la lactosa a través de la membrana mediante un sistema de enzimas intracelulares que son el fosfoenolpiruvato (PEP) y fosfotransferasa (PTS). La lactosa es hidrolizada en la célula bacteriana por la enzima  $\beta$ - D galactosidasa ( $\beta$ -gal) obteniendo como productos glucosa y galactosa.

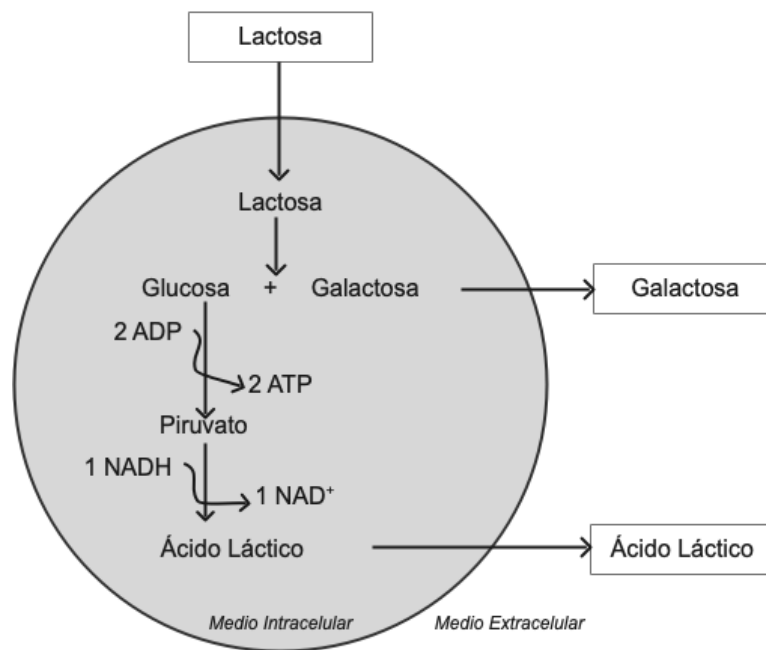


Figura 6. Esquema simplificado de las reacciones metabólicas involucradas en las bacterias homofermentativas del yogurt.

Fuente: Corrieu (2016).

La glucosa obtenida se metaboliza en ácido pirúvico para convertirse después en ácido láctico por acción del lactato deshidrogenasa. Por otro lado, la galactosa se metaboliza mediante la vía de glucólisis o por la D-Tagatosa-6P. Al encontrarse en condiciones de oxígeno limitado y exceso de glucosa, las BAL se encargan de catabolizar un mol de glucosa en dos moles de piruvato vía EMP. Después, un balance redox intracelular se establece mediante la oxidación de NADH, la cual es una forma reducida de NAD y la reducción de piruvato a ácido pirúvico produce dos moles de ATP por glucosa consumida. Después el ácido pirúvico se transforma a ácido láctico (Figura 6) mediante dos moléculas de NADH, obteniendo así el principal metabolito de las BAL, generalmente los lactobacilos (Tamime y Deeth, 1980).

#### *4.6.3. Formación de geles*

La acidificación de la leche por efecto del ácido láctico provoca que la estructura interna de las micelas de caseína sufra cambios o rupturas causadas por la solubilización del fosfato de calcio coloidal. Conforme el pH va disminuyendo a 4.60 la caseína se acerca al punto isoeléctrico, reduciendo las cargas negativas netas, lo cual ocasiona una baja en la repulsión electrostática entre los grupos cargados, incluyendo los grupos fosfoserina que quedan expuestos al momento en el que el fosfato de calcio coloidal es solubilizado. Enseguida, la atracción electrostática aumenta mientras que la atracción entre proteínas se reduce por las interacciones hidrofóbicas modificadas (Lee y Lucey, 2010).

En la Figura 7, se detalla la formación de red tridimensional que da como resultado la formación de un gel causado por la modificación de la microestructura de las caseínas. La neutralización de cargas micelares y descalcificación ocasionada por la disminución de pH en la leche da como resultado la formación de un gel frágil producido por el

ordenamiento de las micelas de caseína modificadas por la acidez de la leche obteniendo una cuajada láctica que puede fragmentarse en porciones (Villegas-De Gante *et al.*, 2016).

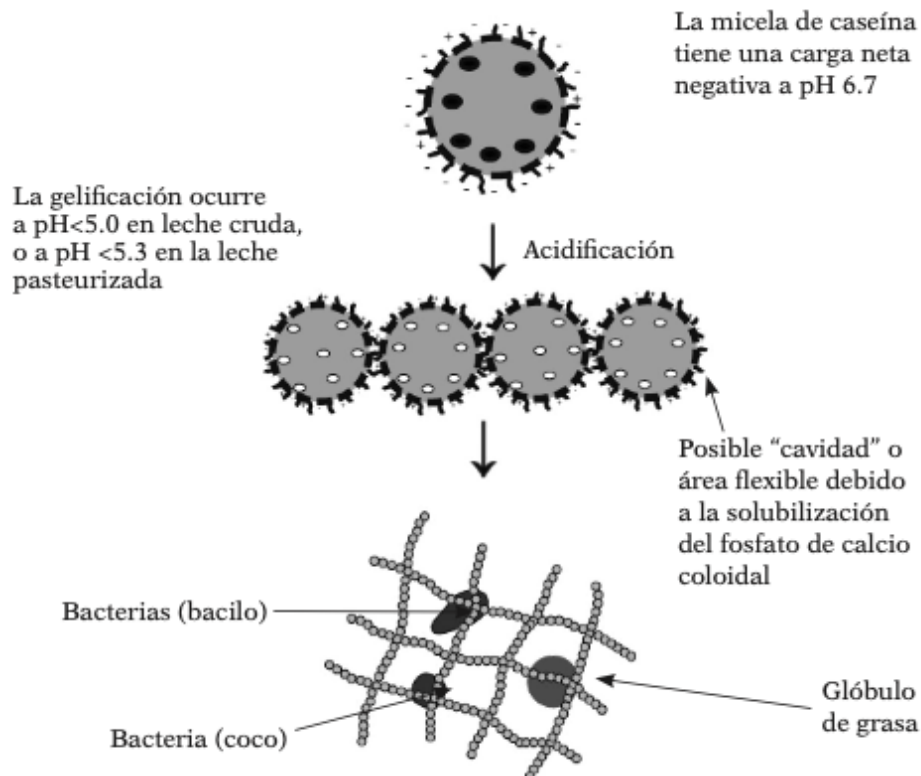


Figura 7. Red tridimensional de caseínas formada por efecto de la acidificación de la leche.

Fuente: Villegas-De Gante *et al.* (2016).

#### 4.6.4. Formación de aroma y sabor

El sabor del yogurt es ácido debido a la presencia de ácido láctico. En el yogurt se han identificado más de 90 compuestos, entre ellos ácidos volátiles y no volátiles, que contribuyen al aroma y sabor de éste, así como compuestos carbonílicos (Routray y Mishra, 2011). Los principales compuestos aromáticos presentes en el yogurt son

acetaldehídos, acetona, acetoína, diacetil, ácido acético, fórmico, butanoico y propanoico. El aroma característico del yogurt es proporcionado por el acetaldehído por ser el compuesto presente en mayor proporción (Routray y Mishra, 2011). En la Figura 8 se muestran los principales compuestos responsables del aroma del yogurt.

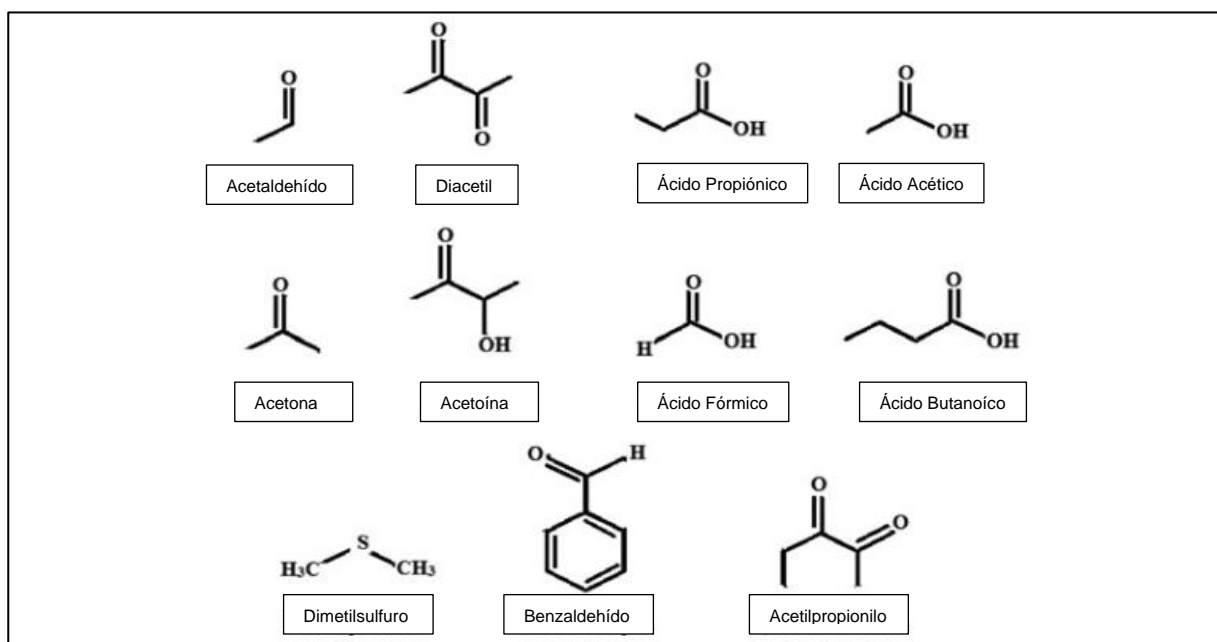


Figura 8. Compuestos aromáticos presentes en el yogurt.

Fuente: Routray y Mishra (2011).

Durante la fermentación ácido-láctica varían muchos parámetros en función del tiempo. El consumo de lactosa y compuestos nitrogenados permite la formación de distintos metabolitos como el ácido láctico, galactosa, acetaldehído y exopolisacáridos, los cuales contribuyen en el sabor y textura del yogurt (Corrieu, 2016).

#### 4.7. Parámetros de Calidad del Yogurt

Distintos parámetros son los que deben analizarse en yogurt para determinar la calidad tecnológica y sanitaria. Para obtener un producto de calidad deben controlarse desde

la calidad fisicoquímica y composición de la materia prima, así como evitar y reducir la carga de microorganismos patógenos tales como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., coliformes y levaduras.

#### *4.7.1. Características fisicoquímicas*

Las propiedades fisicoquímicas de las leches fermentadas tienen un papel importante en la conservación y calidad. Los parámetros controlados son principalmente el pH y la acidez titulable. El pH mide la acidez o la alcalinidad de un alimento en una escala del 1 al 14. El pH del yogurt baja hasta 4.7 debido a la formación de ácido láctico por acción de las BAL; esto resulta favorable para el producto final ya que se produce un olor y sabor característico por la acidificación de la leche. La acidez del yogurt es producto de la síntesis de ácido láctico y propicia la coagulación de la caseína y mejora el sabor del producto final. La acidez titulable en yogurt oscila entre los 113 y 114°Dornic.

#### *4.7.2. Composición química del yogurt*

La composición del yogurt depende de la composición de la leche. La composición de la leche depende de factores como la raza, edad, dieta del animal y estación. La leche de cabra es rica en magnesio, fósforo y calcio en comparación a la leche de vaca; además, tiene mayor valor nutritivo y previene algunas enfermedades degenerativas (Ibrahim *et al.*, 2021). La composición del yogurt de cabra se muestra en el Cuadro 4.

### **4.8. Clasificación del Yogurt**

El mercado del yogurt es diverso y complejo, pues al ser un producto consumido mundialmente, cada región ajusta la producción y presentación de este producto dependiendo el estilo de vida, dieta y preferencias de sus consumidores (Ramesh *et al.* 2006; Corrieu y Béal, 2015). Estos ajustes e innovaciones en la fabricación del

yogurt despliegan una amplia lista de categorías y subcategorías en las que se puede clasificar y consumir (Figura 9). Desde yogurt entero y bajo en grasa, hasta yogurt natural, saborizados, con fruta, yogurt para beber, yogurt tipo snack con *toppings*, fortificados con vitaminas y minerales, bajos en azúcar, entre otros. Los tipos de yogurt comercializados y definiciones se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Composición media de yogurt elaborado con leche de cabra.

Parámetros	Composición(%)
Sólidos totales	14.23
Proteína	3.18
Grasa	2.10
Cenizas	0.59

Fuente: Ibrahim *et al.* (2021).

#### 4.9. Calidad Tecnológica del Yogurt

##### 4.9.1. Sinéresis

Lee y Lucey (2010) definen sinéresis como la expulsión de suero de la red tridimensional formada por las proteínas y que es visible en la superficie del yogurt. Este fenómeno es considerado como un efecto negativo en la calidad del yogurt ya que juega un papel importante en la percepción del consumidor. La sinéresis es causada por una red inestable de los puentes proteína- proteína que ocasionan que el gel presente una textura débil. En la industria láctea se usan estabilizantes para

controlar la sinéresis; algunos son la pectina, grenetina y algunas gomas. Existen diversos métodos para determinar el porcentaje de sinéresis en el yogurt como la centrifugación para separar el suero de los sólidos (Lee y Lucey, 2010).

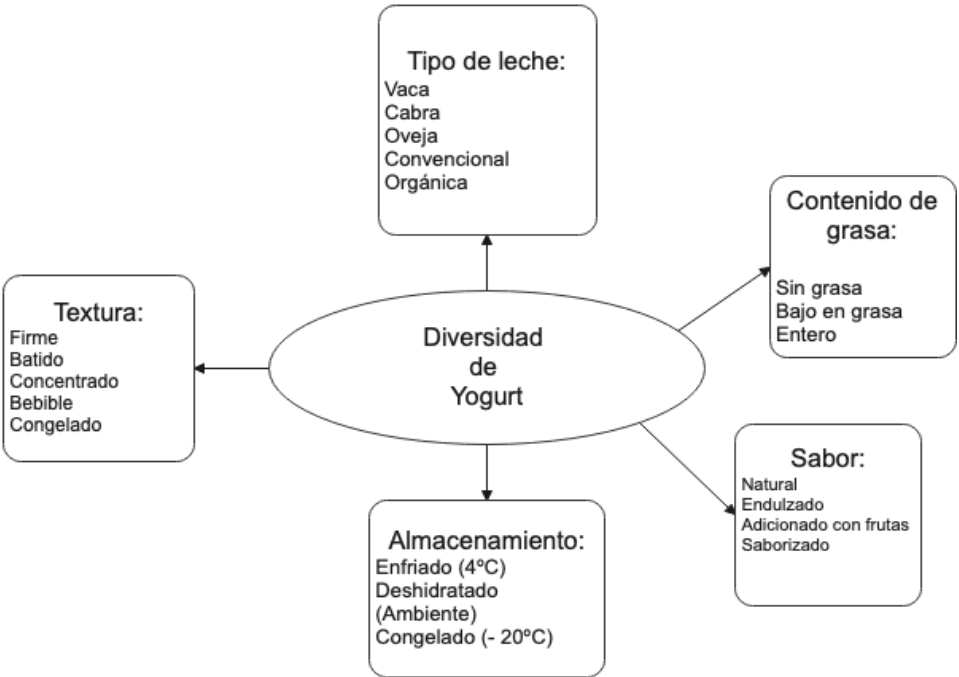


Figura 9. Clasificación de yogurt de acuerdo a la diversidad de origen.

Fuente: Corrieu y Béal (2015).

Cuadro 5. Tipos de yogurt comercializados en el mundo.

Tipo de Yogurt	Definición
Yogurt Natural	Producto incubado en envases individuales o en “batch”. Sin azúcar o algún otro saborizante añadido en su formulación.
Yogurt con Sabor a Frutas	Producto incubado en envases individuales o en “batch”, posteriormente es adicionado y saborizado con fruta, la cual puede estar mezclada con el yogurt o en el fondo del envase.

---

Yogurt batido	La base fermentada es adicionada con azúcar y posteriormente mezclado con fruta.
Tipo Petit Swiss	La base fermentada de este estilo es mezclada con una preparación de fruta, y estabilizantes que ayudan en la textura del yogurt. En su etapa de enfriamiento, la textura y viscosidad del producto aumentan.
Tipo Francés	Es muy similar al tipo petit Swiss pero con una viscosidad menor muy característica. No se adicionan estabilizantes pero si sólidos lácteos.
Yogurt Light	Producto bajo en grasa y sin adición de azúcar, lo cual lo hace un yogurt con bajo valor calórico. Pueden adicionarse edulcorantes de alta intensidad.
Lo Carb	Producto reducido en grasa y lactosa mediante una filtración por membrana, ocasionando un incremento en la concentración de proteína. Puede ser saborizado con edulcorantes no calóricos.
Tipo Sundae/ con fruta en el fondo	La fruta es colocada en el fondo del envase y después es cubierta con la base fermentada o sin fermentar . Antes de consumir se debe mezclar la fruta con el yogurt.
Yogurt de Vainilla	El producto se incuba en el envase individual o en "batch". Posterior a la fermentación la base del yogurt se mezcla con saborizante de vainilla.
Natural	Contiene solamente ingredientes naturales. No se adiciona con estabilizantes ni saborizantes o colorantes artificiales.
Yogurt Orgánico	Elaborado solamente con productos certificados como orgánicos.
Yogurt líquido/ para beber	Producto lo suficientemente líquido para beber. Puede ser adicionado con saborizantes y fruta y fortificado con minerales, vitaminas, probióticos y prebióticos.

---



---

Yogurt Topping	con	Yogurt saborizado empacado en un envase individual, en otro envase individual se empaca el “topping”, el cual puede consistir en cereales, frutos secos, frutas, entre otros. Antes de consumir se mezcla el yogurt con el “topping”.
Yogurt Griego		Producto alto en proteína y sólidos no grasos. De textura cremosa resultado de la extracción del suero mediante centrifuga, separación por membrana o a través de un trozo de tela porosa.
Yogurt Congelado		El yogurt fermentado es mezclado con una mezcla para helado bajo en grasa, posteriormente es congelado y extruido en una máquina para helado, obteniendo un helado de yogurt que puede ser mezclado con diferentes “toppings”

---

Fuente: Yildiz *et al.* (2010).

#### 4.9.2. Viscosidad y propiedades de flujo

Joyner (2019) definen a la reología como la ciencia que estudia el flujo y la deformación de un material. La viscosidad del yogurt es una propiedad atribuida por la producción de exopolisacáridos sintetizados por cultivos específicos durante la incubación, los cuales ayudan en la formación y firmeza del gel además ayudan a retrasar la sinéresis (Park, 2007). La coagulación del yogurt ocurre durante la fermentación y sucede en tres etapas: (1) El periodo de inducción: en el cual no hay cambios en la viscosidad; (2) la etapa de floculación: en el cual se llega al máximo incremento de la viscosidad del producto y (3) el descenso de la viscosidad: ocasionada por la contracción de las micelas y sinéresis del gel (Hassan *et al.*, 1995; Park, 2007). Por lo que, las propiedades de flujo del yogurt se determinan estudiando la forma en la cual la cuajada del yogurt fluye bajo tensiones normales y/o tangenciales. Jumah *et al.* (2001) estudiaron las curvas de flujo del yogurt elaborado con leche de oveja, cabra, vaca y

camella durante el proceso de coagulación (Figura 10). Con este estudio se demostró que la viscosidad media del yogurt disminuye al incrementar la velocidad rotacional de la geometría empleada, este alimento se comporta como un fluido no newtoniano, que pierde viscosidad por el cizallamiento (Park, 2007).

Las propiedades de flujo del yogurt se estudian con el modelo de potencia, que relaciona el análisis del esfuerzo cortante y velocidad de cizalla:

$$R = K \gamma^n$$

Donde R es el esfuerzo cortante (Pa), K: coeficiente de consistencia (Pa s<sup>n</sup>),  $\gamma$ : Tasa de corte o velocidad de cizalla y n: índice de comportamiento del fluido (adimensional).

#### 4.9.3. *Microestructura*

La estructura de los alimentos afecta o favorece algunas de sus propiedades como textura, apariencia y atributos sensoriales (Bakry *et al.*, 2019), mismos que son importantes en la aceptación y/o rechazo del producto por los consumidores. La microestructura del yogurt es formada por los cambios y rupturas de las micelas de caseína presentes en la leche descritas. Existen algunos factores que influyen en la formación de la red tridimensional y, por lo tanto, en la microestructura de las leches fermentadas (Figura 11).

El tipo de leche usada para elaborar yogurt es un factor que influye en la formación de la microestructura del gel debido a las diferencias que existen en la composición y configuración de los componentes de la leche de diferentes especies (cabra, vaca, oveja, camella, búfala, entre otras). Otro factor que afecta las propiedades reológicas y estructurales del yogurt es la concentración y tipo del cultivo iniciador (Lucey, 2004).

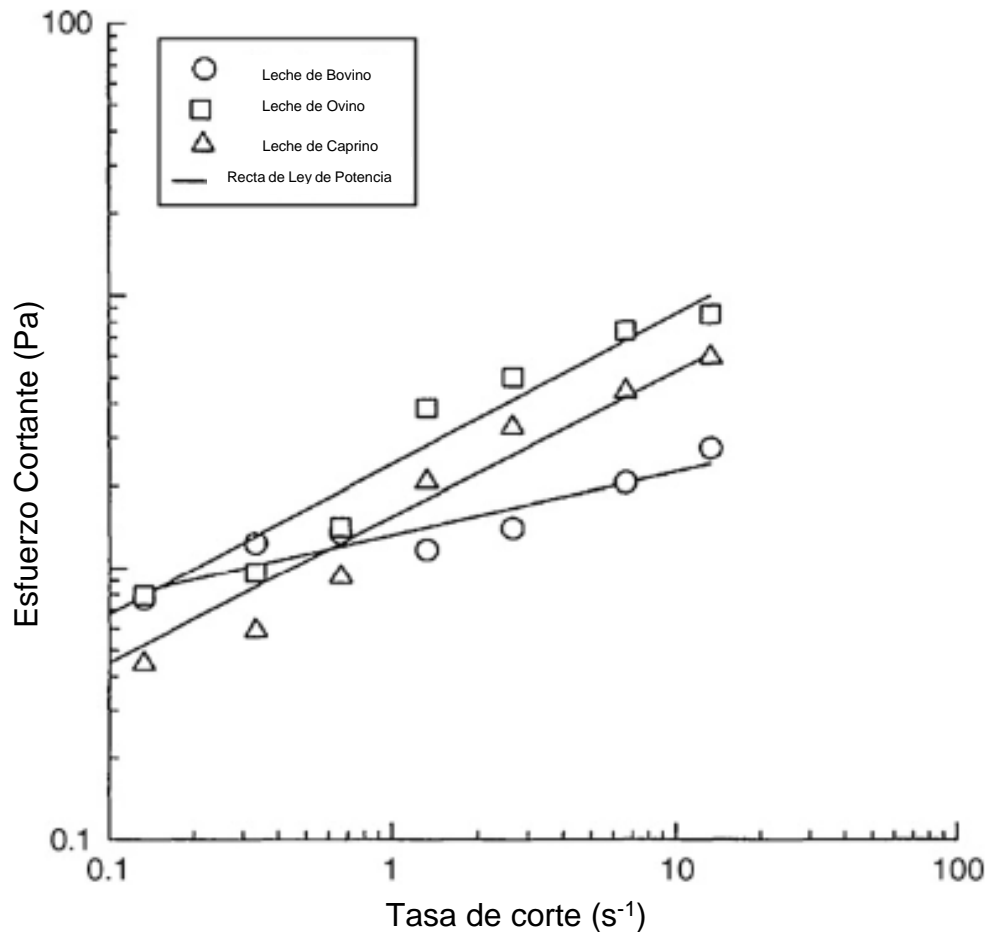


Figura 10. Análisis de curvas de flujo del yogurt elaborado con tres tipos de leche.

Fuente: Jumah *et al.* (2001).

La mezcla de cultivos utilizada en el yogurt son *Bifidobacterium* mezclado *Lactobacillus delbrueckii ssp* y *Streptococcus thermophilus*. En conjunto con la temperatura de incubación, favorece o perjudica la formación de la microestructura del yogurt (Peng *et al.*, 2010). El rango de temperatura óptima para el desarrollo de las BAL en la elaboración de los productos lácteos fermentados es de 37 a 45°C. El incremento de la temperatura de incubación por encima de los 45°C puede ocasionar una disminución

en la firmeza del gel debido a la producción de una red débil de proteínas (Lee y Lucey, 2003; Wu et al., 2009).

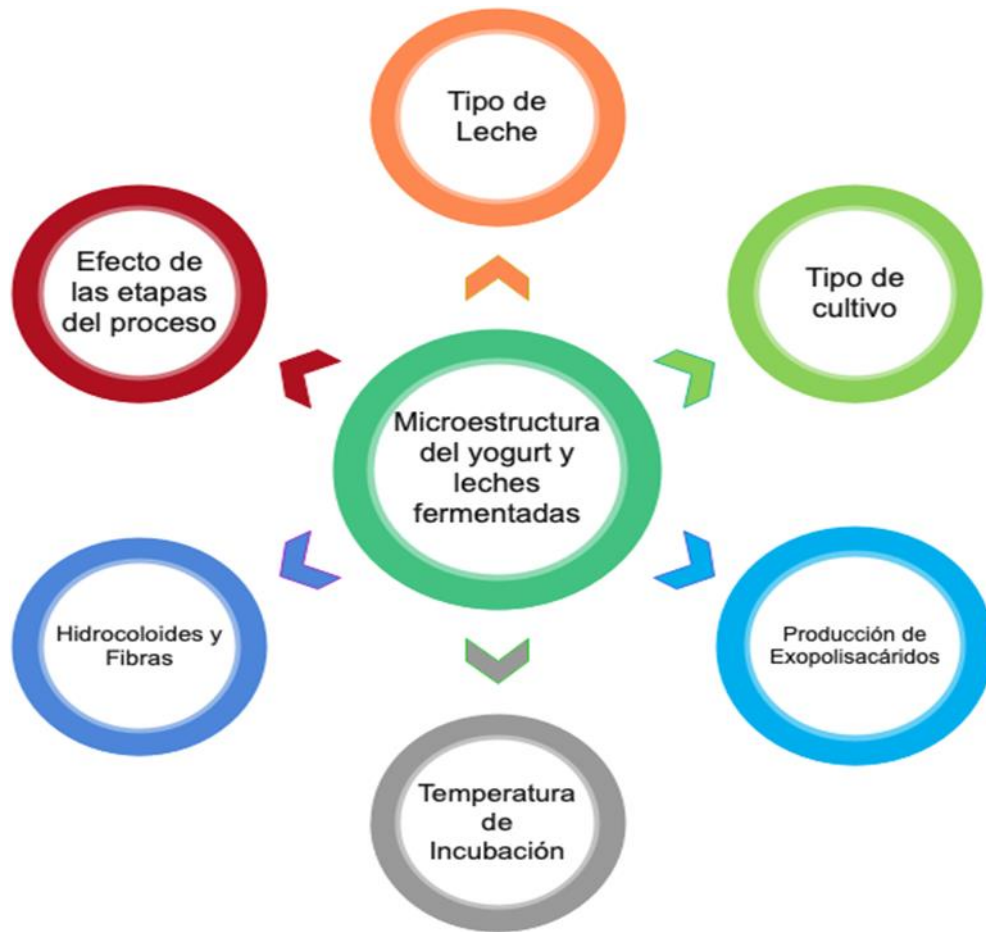


Figura 11. Factores que pueden afectar la microestructura del yogurt y las leches fermentadas.

Fuente: Bakry *et al.* (2019).

Por otro lado, los exopolisacáridos son biopolímeros de cadena larga y alto peso molecular presentes en la superficie de muchas bacterias, entre ellas las BAL. Estos biopolímeros ayudan en la formación de un gel poroso o compacto y homogéneo, lo

cual depende de la calidad y afinidad que tengan con las proteínas de la leche. Las BAL propician la formación de un gel poroso en la estructura del yogurt, el cual ayuda en propiedades de capacidad retención de agua y disminución de sinéresis. Otros de los factores que influyen en la formación de la microestructura del yogurt son los tratamientos previos de la leche como la homogenización. Ese proceso utiliza presiones de entre 100 y 200 bares y temperaturas que oscilan entre los 55 y 65°C, lo cual ocasiona que los glóbulos grasos reduzcan su tamaño de partícula y pueda ser captado de manera más fácil por las caseínas desnaturalizadas, y así es incorporado de manera homogénea a la red tridimensional, dando como resultado un gel con mejor textura y firmeza (Barky *et al.*, 2019).

#### 4.9.4. Colorimetría

El color es un parámetro de calidad primordial que determina la aceptación o el rechazo de los alimentos. Este parámetro es valorado por colorimetría midiendo la L\* (luminosidad), a\* (tendencia al rojo (a+) y al verde (a-)) y b\* (tendencia al amarillo (b+) y al azul (b-)). Los parámetros colorimétricos del yogurt se encuentran en valores aproximados de L\*:  $86.6 \pm 6.0$ ; a\*:  $-0.8 \pm 2.2$  y b\*:  $12.1 \pm 7.0$  (Milovanovic *et al.*, 2020). La variación en L\* es ocasionada por el tamaño y cantidad de las partículas de los glóbulos de grasa, micelas de caseína y fosfato de calcio coloidal (Brisson y Singh, 2013). Una menor cantidad y tamaño de partícula ocasionan un descenso de L\* en leche y, por lo tanto, en el yogurt. La tendencia al rojo y al amarillo (color amarillo cremoso) son causados por la presencia de pigmentos como el  $\beta$ -caroteno (Milovanovic *et al.*, 2020); sin embargo, este pigmento se encuentra en bajas concentraciones en la leche de cabra, ya que es fundamental en la síntesis de vitamina A; por lo que en leche de cabra se presentan valores negativos de a\*.

#### 4.9.5. Atributos sensoriales

La aceptación sensorial del yogurt elaborado con leche de cabra es baja debido a que los consumidores describen su sabor como cáprico, causado por altos niveles de los ácidos grasos cáprico, caprílico y capróico (De Santis *et al.*, 2019). El sabor y la textura del yogurt son los atributos que más influyen en la calidad y aceptabilidad; por esto, es necesario controlar algunos parámetros que pudieran afectarlos como el tipo de cultivo, temperatura de incubación, propiedades de composición de la leche y condiciones de proceso como la homogenización o el tratamiento térmico (Boukria *et al.*, 2020). El yogurt debe tener una textura fina y suave, el aroma debe ser limpio y ligeramente ácido, lo cual se atribuye a la concentración de ácido láctico, otros ácidos no volátiles (butírico, acético) y compuestos carbonílicos (acetaldehído y diacetilo) (Aryana y Olson, 2017).

#### 4.10. Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas

Los aceites esenciales son compuestos complejos naturales considerados como metabolitos secundarios de las plantas aromáticas que ayudan a protegerse de microorganismos, virus y parásitos; esos compuestos se caracterizan por su volatilidad y aroma intenso (Bakkali *et al.*, 2008). La Organización Internacional de Normalización los define como productos obtenidos de material vegetal mediante destilación con agua o por arrastre de vapor; en el caso de los cítricos se extrae por un proceso mecánico o destilación en seco del epicarpio de los frutos (Turek y Stintzing, 2012). Estos compuestos se han estudiado por poseer características antisépticas, bactericidas, viricida, fungicida, entre otras. Smith (2005) y Turek y Stintzing (2012) mencionaron que los aceites esenciales son productos reconocidos como seguros. Tomando en cuenta los estudios que se han realizado sobre dichos compuestos y

propiedades que se han estudiado, estos compuestos son considerados una alternativa natural en las áreas farmacéutica, nutricional y agrícola. Por estas razones, los extractos de plantas aromáticas han sido estudiados como aditivos naturales antioxidantes y conservantes en los alimentos, así como componentes en los materiales de empaque.

#### **4.11. Aceite Esencial de Orégano**

El orégano (*Origanum vulgare*) es una planta aromática que se cultiva y consume en numerosas regiones del mundo (Albado *et al.*, 2001). Existe también la variedad de orégano mexicano (*Lippa berlandieri* Schauer) y variedad española (*Origanum vulgare*) siendo diversas las aplicaciones y maneras de consumir esta planta; desde condimento hasta el empleo del aceite esencial como fragancia. Algunas especias y hierbas de la familia *Lamiaceae* a la que pertenece el orégano, son investigadas como antioxidantes, conservadores en alimentos y presentados en la industria alimentaria como una alternativa a los aditivos sintéticos (Amadio *et al.*, 2011).

El aceite esencial de orégano (AO) es un material liposoluble rico en fenoles y es obtenido por destilación de las hojas de orégano, además de contener carvacrol y timol como principales compuestos fenólicos (Mendez-Zamora *et al.*, 2015); mismos que han sido objetivo de estudio por su capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana. En el Cuadro 6 se observan los valores de los porcentajes de compuestos volátiles que constituyen el aceite de orégano variedad *Lippa berlandieri* Schauer obtenidos por cromatografía de gases.

#### **4.12. Aditivos Naturales en el Yogurt**

Numerosos estudios demuestran que la actividad antioxidante de los productos lácteos está relacionada con la calidad de la materia prima que se emplea y la presencia de

compuestos bioactivos en la leche (Stobiecka *et al.*, 2022). Para incrementar el valor agregado y actividad antioxidante en el yogurt se han añadido extractos de frutas, semillas y plantas.

Cuadro 6. Compuestos volátiles presentes en el aceite esencial de orégano *Lippia berlandieri* Schauer.

Compuesto	%
Carvacrol	65.20
$\rho$ - Cymeno	10.99
Timol	10.26
Cariofleno	2.71
$\alpha$ - cariofleno	1.77
Óxido de clariofeno	1.64
3-t-butil-4- metoxifenol	1.09
Otros	4.31

Diversos investigadores han medido la capacidad antioxidante que otorgan los compuestos naturales a la dieta de las cabras y productos lácteos como el yogurt. En el Cuadro 7 se muestran algunas investigaciones donde se han estudiados extractos naturales en subproductos lácteos. Cabe indicar que la mayoría de las investigaciones



han adicionado el extracto una vez elaborado el producto, siendo escasas las referencias que han medido el efecto sobre los productos de algún aditivo natural desde el origen de la materia prima (leche).

Cuadro 7. Investigaciones de adición de ingredientes naturales en leche y yogurt.

Autores	Producto	Investigación	Resultados significativos
Tian <i>et al.</i> (2019)	Leche de cabra	Adición de maíz morado ( <i>Zea mays L.</i> ) en la alimentación de cabras lactantes.	Aumento en el DPPH(%) en la leche de las cabras suplementadas con el maíz morado.
Sharifi <i>et al.</i> (2017)	Leche de cabra	Inclusión de semilla de palma ( <i>Phoenix dactylifera L.</i> ) en la dieta de cabras lecheras.	Mayor actividad antioxidante en leche de cabras suplementadas con 18% de semilla de palma.
Najgebauer-Lejko <i>et al.</i> (2011)	Yogurt	Adición de infusión de té verde a yogurt elaborado con leche de vaca.	Aumento en la capacidad antioxidante del yogurt adicionado con la infusión de té verde.
Gurkan <i>et al.</i> (2019)	Yogurt	Adición de extracto de albahaca morada a cuatro tipos de yogurt elaborado con leche de vaca	No hubo efecto significativo en propiedades fisicoquímicas del yogurt, pero sí en actividad antioxidante añadiendo el extracto en polvo.
Hong <i>et al.</i> (2021)	Yogurt	Suplementación de yogurt con extracto de pétalo de girasol en etanol y agua caliente	Aumento en el DPPH (%) del yogurt elaborado con 1% de extracto de pétalo de girasol en agua caliente.
Mahmoudi <i>et al.</i> (2021)	Yogurt	Formulación de yogurt elaborado con leche de cabra y enriquecido con higo en polvo.	Mejora en las características fisicoquímicas y aumento de las BAL y actividad antioxidante del yogurt.

Alqahtani <i>et al.</i> (2021)	Yogurt	Yogurt elaborado con leche de cabra y adicionado con harina de avena.	Efecto en pH, sinéresis y atributos sensoriales del yogurt, aumento en el conteo de BAL e incremento de actividad antioxidante.
Silva <i>et al.</i> (2022)	Yogurt	Incorporación de un concentrado de uva Isabel en yogurt elaborado con leche de cabra	Efecto en atributos sensoriales, características fisicoquímicas y aumento de actividad antioxidante.

---

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Localización del Estudio**

La suplementación en dieta y ordeña de cabras Alpino Francés se llevó a cabo en el rancho Agrícola La Gloria ubicado en el municipio de Allende, Nuevo León, México. Los tratamientos de elaboración de yogurt se elaboraron en el Centro de Investigación y Desarrollo de Industrias Alimentarias (CIDIA), Facultad de Agronomía (FA), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en el municipio de General Escobedo, Nuevo León (N.L.), México.

Las determinaciones fisicoquímicas (color, textura, pH y acidez titulable) se determinaron en el Laboratorio de Ingeniería de la FA. El análisis bromatológico se efectuó en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL. El análisis de flujo se realizó en el Laboratorio de Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Las evaluaciones sensoriales se realizaron en el Laboratorio de Análisis Sensorial y la capacidad antioxidante se evaluó en el Laboratorio de Biotecnología, FA.

### **5.2. Origen de la Materia Prima e Ingredientes**

La leche se obtuvo de la ordeña de cabras Alpino Francés suplementadas con tres tratamientos (un control y dos con AO) en dieta del rancho Agrícola La Gloria. El cultivo láctico Lyofast Y 470 E (SACCO, Lyofast ST 071; CLERICI SACCO, Cadorago, Co, Italia) consiste de cepas seleccionadas de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, las cuales aseguran una producción controlada de un yogurt bebible, cuajado y batido con aromas y viscosidad típicas.

### **5.3. Diseño Experimental**

Un diseño de bloques completamente al azar de tres tratamientos fue establecido para el estudio, donde tres periodos se establecieron para obtener la leche y elaborar el yogurt; en cada periodo, la leche de cada cabra (0.9-1 L) fue mezclada (4-4.5 L leche total) por tratamiento y cuando se realizó el yogurt, dos subréplicas (2-2.25 L leche/subréplica/tratamiento) se procesaron por separado por cada tratamiento en cada periodo. Los tratamientos definidos para el yogurt fueron Tratamiento 1/ Y-CON: yogurt control obtenido de leche de cabras suplementadas con 0 ppm de AO, Tratamiento 2/ Y-AO: yogurt obtenido de leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta, y Tratamiento 3/ Y-AON: yogurt obtenido de leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. Cada uno de los parámetros medidos en este trabajo se realizaron por triplicado en cada subréplica/tratamiento/periodo.

### **5.4. Composición y Fisicoquímica de la Leche Cruda y Ultrapasteurizada**

La composición de la leche cruda y pasteurizada fue medida con el analizador de leche ultrasónico (Lactoscan SL60, MILKOTRONIC LTD, Nova Zagora, Bulgaria). Para el análisis, 15 mL de muestra se colocaron en el vial; hecho esto se situó en el tubo capilar del equipo que arrojó la lectura, procediendo a registrar los datos de porcentaje de proteína, lactosa, grasa, sólidos no grasos y densidad. Así mismo, el pH y acidez titulable (AT) se determinaron en la leche cruda y ultrapasteurizada ( $85.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  durante 5 min) un potenciómetro (HANNA; HI98127, Woonsocket RI, USA) y con el método establecido de Sanz *et al.* (2008), respectivamente.

### 5.5. Proceso de Elaboración del Yogurt

El proceso de la elaboración del yogurt tomó como referencia a Vénica *et al.* (2016). La temperatura de la leche fresca de cabra se elevó hasta  $85.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  durante 5 min, fue enfriado a  $43.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y de inmediato fue inoculado con cultivo láctico liofilizado Lyofast Y 470 E (SACCO; *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus*). El proceso de incubación se efectuó a una temperatura de  $43.0 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$  hasta que el yogurt alcanzó un pH de  $4.50 \pm 0.02$ . Los yogurts se enfriaron hasta  $4.0^{\circ}\text{C}$  en un baño de agua con hielo, aplicando agitación manual intermitente, colocándolos en envases de 1 L con tapa. Los yogurts fueron almacenados a una temperatura de  $4.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  durante 12 h para su posterior evaluación experimental.

### 5.6. Evaluación de la Curva de Acidificación

El pH y AT fueron medidos cada 60 min (1 h) hasta alcanzar un pH final de  $4.50 \pm 0.02$ . El pH fue medido con un potenciómetro (HANNA; HI98127, Woonsocket RI, USA), mientras que la AT (g ácido láctico por 100 g de producto) se midió con el método establecido de Sanz *et al.* (2008) con la siguiente fórmula:

$$AT = \frac{V \times 0.9}{m}$$

Donde V es el volumen gastado (mL) de hidróxido de sodio 0.1 M, m es la masa (g) de la muestra en gramos y 0.9 es el factor de conversión del ácido láctico.

### 5.7. Fisicoquímica del Yogurt (pH, acidez, colorimetría y sinéresis)

El pH y AT final del yogurt se midieron al final de la fermentación y después de 12 h de refrigeración utilizando la metodología descrita en la caracterización de la curva de acidificación. El color se valoró con un colorímetro Minolta (Konica Minolta Holdings, CR- 400/410, Inc., Tokyo, Japón) registrando los parámetros L\* (luminosidad), a\*

(tendencia al rojo),  $b^*$  (tendencia al amarillo), C (Chroma) y Hue (tonalidad). Un volumen de 30 mL de yogurt a 12 h de su elaboración y refrigerado (4°C) fue colocado en cajas de Petri para su medir las variables. La sinéresis se determinó por centrifugación (Thermo Scientific, CL30, CHATEAU-GONTIER, Francia) siguiendo el método de Robitaille *et al.* (2009). Una cantidad de 25.0 g de muestra se colocaron en tubos Falcon de 50 mL por duplicado de cada subréplica de los tratamientos y se centrifugaron a 600 x g por 10.0 min a una temperatura de 4.0°C. La sinéresis (%) se calculó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de Sinéresis} = \frac{\text{Peso del sobrenadante (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

### **5.8. Análisis Proximal**

La composición proximal del yogurt se determinó de acuerdo a los métodos de la AOAC (2016). De cada tratamiento, la materia seca se determinó por el método de secado (930.15) en una estufa de aire a 100°C. El contenido de proteína se realizó mediante el método Kjeldahl (2.062); mientras que el porcentaje de cenizas se cuantificó mediante el método incineración (942.05) con una mufla (Lindberg, Thermo Scientific, Waltham, MA) a 550°C por 4 h. El contenido de grasa se midió efectuando el método Gerber (33.3.27) utilizando ácido sulfúrico y alcohol amílico.

### **5.9. Análisis de Perfil de Textura**

El APT (análisis de perfil de textura) se realizó basándose en el método establecido por Riener *et al.* (2010) con ligeras adaptaciones midiendo los parámetros de dureza (g), elasticidad (mm), cohesividad (adimensional), gomosidad (g), masticabilidad (g mm<sup>-1</sup>) y resistencia (adimensional). El análisis se efectuó con un texturómetro (TA.Xplus: Stable Micro Systems Serrey, England) que cuenta con una celda de carga

de 25.0 kg, una geometría cilíndrica de aluminio de punta plana (SMS P/20) y un plato de acrílico cilíndrico (SMS/20) de 35 mm de diámetro y 6 mm de altura colocado en la sonda cilíndrica. La muestra (100 mL) fue depositada en un vaso cilíndrico (6 cm de altura y 5cm de diámetro) el cual fue colocado en el centro de la base del equipo para ser comprimida a 6 mm de profundidad en dos ciclos de compresión a una velocidad de cruce de  $1 \text{ mm s}^{-1}$  y  $5 \text{ mm s}^{-1}$  de velocidad de salida.

### **5.10. Análisis de las Curvas de Flujo**

Las curvas de flujo del yogurt se realizaron con el reómetro RheolabQC FW1.22 (Anton Parr, Graz Austria) bajo los parámetros tasa de corte 12.6 a 300 1/s para determinar el esfuerzo cortante, empleando la geometría CC 39. Para estimar el esfuerzo de corte (Pa) vs tasa de corte (velocidad; 1/s) en los tratamientos del yogurt se realizaron 4 réplicas por cada una de las subréplicas (n= 36 modelos por tratamiento), y los datos se analizaron con el Modelo de Ley de Potencia (2011).

$$\text{Modelo de Ley de Potencia: } R = K \gamma^n$$

Donde K: coeficiente de consistencia ( $\text{Pa s}^n$ ),  $\gamma$ : Tasa de corte ( $\text{s}^{-1}$ ) y n: índice de comportamiento del fluido (adimensional).

Para determinar el esfuerzo cortante y viscosidad, los datos de la tasa de corte se establecieron a partir de 23 hasta 300 1/s.

### **5.11. Capacidad Antioxidante**

Para determinar la actividad antioxidante del yogurt fue utilizado el método de Re *et al.* (1999) mediante el 2,2'-azino-bis(3-etilbenzoatiazolina-6-sulfónico) (ABTS•+) generado por oxidación con persulfato de potasio y el cual es reducido por la presencia de antioxidantes que ceden iones de hidrógeno. Una solución estándar de Trolox (6-

hidroxil-2,5,7,8-tetra metil cromano-2-carboxílico) se preparó para generar una curva con concentraciones de 0 a 100 ppm; 50  $\mu$ L de muestra se tomaron y añadieron 0.950 mL del reactivo ABTS $\bullet$ +. Después, la absorbancia se midió en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus, Bio- Rad, Hercules, CA, EUA) a 734 nm. El % de inhibición del radical se calculó con las diferencias de absorbancia de las muestras y el ajuste de la curva de Trolox mediante una regresión lineal.

La determinación de DPPH fue basada en el protocolo establecido por Brand-Williams *et al.* (1995) para el cual se realizó una curva de 0 a 150 ppm de ácido gálico a partir de una solución stock de 500 ppm. Se tomaron 50  $\mu$ L de muestra y se añadieron 2.950 mL del reactivo DPPH para después reposar 30 minutos en oscuridad y proceder a realizar la lectura en el espectrofotómetro a 517 nm y así mediante diferencias de absorbancias y una regresión lineal se estiman los equivalentes de ácido gálico.

### **5.12. Evaluación Sensorial**

Un total de 36 panelistas semientrenados participaron en la prueba sensorial de consumidor y evaluaron los atributos sensoriales del yogurt (color blanco, apariencia, olor, sabor, viscosidad y aceptación global). Cada panelista recibió tres recipientes de plástico codificados con tres dígitos seleccionados al azar que contenían 15.0 g de muestra por cada tratamiento. Una escala hedónica de 7 puntos (1= me disgusta mucho y 7= me gusta mucho) se utilizó en la evaluación sensorial. Adicionalmente, una prueba sensorial triangular se realizó basada en la propuesta de Moreno-Indias *et al.* (2012) y el análisis de datos planteado por Meilgaard *et al.* (2007).

Durante la prueba se diseñaron tres combinaciones con los tratamientos (Y-CON vs Y-AO, Y-CON vs Y-AON, Y-AO vs Y-AON) que fueron asignados de forma aleatoria a



cada panelista semientrenado aplicando el mecanismo de elección forzada. Es preciso indicar que las pruebas sensoriales se realizaron después de almacenar los tratamientos de yogurt 12.0 h a 4.0°C después de su elaboración.

### 5.13. Análisis de Datos

El arreglo de los datos de las variables evaluadas se realizó mediante un diseño de bloques completo al azar basándose en el siguiente modelo estadístico:  $y_{ij} = \mu + T_i + \delta_j + \varepsilon_{ijk}$ , donde  $y_{ij}$  = variables de estudio/respuesta,  $\mu$  = media global,  $T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\delta_j$  = efecto del  $i$ -ésimo bloque (día de muestreo) y  $\varepsilon_{ijk}$  = error estándar.

Cuando en el análisis de varianza el valor de probabilidad fue menor a 0.05 (P-value < 0.05) para cada variable respuesta, la hipótesis nula  $H_0$  (igualdad de tratamientos) fue rechazada, la prueba estadística Tukey se utilizó para comparar las medias a un nivel de significancia de 5% ( $\alpha = 0.05$ ) (Minitab, 2014; versión 17.3.0). En el análisis del proceso de fermentación, una regresión lineal simple de primer ( $y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + E_i$ ) y segundo ( $y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_{11}^2 + E_i$ ) orden se realizó por cada subréplica de tratamiento por duplicado en cada una de cada tratamiento por cada bloque ( $n = 12$  modelos de regresión lineal por tratamiento). Con los modelos obtenidos se analizaron las pendientes ( $\beta_1$  y  $\beta_{11}$ ) de los tratamientos para demostrar el cambio de los tiempos de fermentación entre los tratamientos (Minitab, 2014; versión 17.3.0).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Leche de Cabra Cruda y Ultrapasteurizada

#### 6.1.1. Composición química

Los efectos de la suplementación de las cabras con el AO en la calidad de la leche cruda se muestran en el Cuadro 8. El contenido de agua y sólidos totales no resultaron diferentes ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos. Los SNG, proteínas, lactosa y densidad fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en la leche Y-AO y más bajos ( $P < 0.05$ ) en Y-CON. En el caso de la grasa hubo diferencia ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, un valor más bajo se observó en la leche Y-AO en comparación con los otros dos. Los tratamientos evaluados muestran valores que cumplen con las especificaciones fisicoquímicas para leche cruda de cabra establecidas por la NMX- F- 728- COFOCALEC (2017). Sin embargo, respecto al porcentaje de grasa el tratamiento Y-AO se encuentra por debajo de la especificación de la norma (3.12%, mínimo). Lo mismo ocurre con la especificación del porcentaje de lactosa, para el cual la NMX especifica un valor máximo de 4.6%. El aumento en los porcentajes de lactosa y proteínas de Y-AO y Y-AON pudo haber ocasionado también el aumento en la densidad de los tratamientos, parámetro que también mostró los valores más altos para estos tratamientos. Lejonklev *et al.* (2016), reportaron resultados similares señalando un aumento en la cantidad de proteína en leche de vaca suplementada con AO habiendo un contraste con el resto de los componentes.

Este comportamiento fue observado en la leche de cabras suplementadas en dieta con AO. Esto puede deberse a la suplementación del orégano y sus componentes bioactivos que pudieron haber alterado la función del rumen y por lo tanto la composición de la leche sintetizada.

Cuadro 8. Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche cruda para elaborar yogurt.

Componente <sup>†</sup>	Tratamientos <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor- P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
Agua (%)	88.41 <sup>a</sup>	88.28 <sup>a</sup>	88.30 <sup>a</sup>	0.07	0.358
ST (%)	11.59 <sup>a</sup>	11.72 <sup>a</sup>	11.70 <sup>a</sup>	0.07	0.358
SNG (%)	8.51 <sup>c</sup>	8.92 <sup>a</sup>	8.68 <sup>b</sup>	0.03	0.000
Grasa (%)	3.08 <sup>a</sup>	2.79 <sup>b</sup>	3.02 <sup>a</sup>	0.05	0.000
Proteína (%)	3.11 <sup>c</sup>	3.28 <sup>a</sup>	3.17 <sup>b</sup>	0.01	0.000
Lactosa (%)	4.68 <sup>c</sup>	4.91 <sup>a</sup>	4.77 <sup>b</sup>	0.02	0.000
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	29.59 <sup>c</sup>	31.33 <sup>a</sup>	30.28 <sup>b</sup>	0.01	0.000

<sup>†</sup>ST: Sólidos totales; SNG: Sólidos no grasos.

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-c</sup>Medias (n = 12 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

Fox *et al.* (2015) indican que la concentración de lactosa está relacionada de manera inversa con las concentraciones de lípidos y proteínas, por lo que se ve reflejada una baja en ésta, debido a la atracción de agua hacia las vesículas de Golgi al sintetizarse el carbohidrato, ocasionando una dilución en las concentraciones de lípidos y

proteínas, efecto que se observa en la disminución de grasa en los tratamientos Y-AO y Y-AON. También, el aumento de lactosa en Y-AO es el aumento de la actividad enzimática de la  $\alpha$ -lactoalbúmina y lactosa sintetasa (Mellenberger *et al.*, 1973).

El Cuadro 9 muestra el efecto de la suplementación de AO en dietas de las cabras en la calidad de la leche ultrapasteurizada que se utilizó para elaborar el yogurt. El tratamiento Y-AO obtuvo los valores más altos ( $P < 0.05$ ) en SNG, proteína, lactosa y densidad, pero menor ( $P > 0.05$ ) contenido graso. El Y-CON presentó los menores contenidos de proteína, SNG, lactosa y densidad, pero más cantidad de grasa. Con estos resultados se puede sugerir que se obtuvo una leche semidescremada producida desde origen, lo cual favorece la elaboración del yogurt, ya que en el proceso no estaría el descremado, además que el producto final sería bajo en grasa y alto en proteína. Similares comportamientos se encontraron en las variables de leche ultrapasteurizada en relación a la leche cruda. Paraskevakis (2015) obtuvo resultados distintos al incorporar 30 g de orégano griego deshidratado en la dieta de las cabras alpinas, lo cual no presentó ningún efecto entre los dos tratamientos evaluados. Los porcentajes de proteína y lactosa obtenidos fueron menores a los mostrados en este trabajo; la misma diferencia fue observada en el porcentaje de grasa, en el cual no se presentó cambio por efecto de los tratamientos evaluados por esos autores. Otro estudio evaluó el efecto en la calidad fisicoquímica de la leche de cabras Murciano-Granadina suplementadas con 10 y 20 % de aceite de romero en dieta (Boutoial *et al.*, 2013), en el cual no obtuvieron diferencia en la composición de los tratamientos evaluados. Sus resultados difieren con grasa y proteína del actual estudio, siendo más altos los esos autores debido a la raza de cabras estudiadas.

### 6.1.2. Características fisicoquímicas

El pH y AT de la leche cruda y ultrapasteurizada de las cabras suplementadas con AO para la elaboración del yogurt se presentan el Cuadro 10. En la evaluación de pH se observó diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) en la leche cruda, siendo Y-AO el mayor valor y Y-CON el menor; no obstante, los valores de AT no presentaron diferencia significativa ( $P > 0.05$ ). Respecto al pH y AT de la leche ultrapasteurizada no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) en las variables. Es escaso el estudio del efecto de la calidad de la leche por la suplementación de AO y AON. Giannenas *et al.* (2011) evaluaron el efecto en la calidad de la leche de oveja por la incorporación de una mezcla de aceites esenciales en su dieta y no observaron diferencias en las características fisicoquímicas de los tratamientos estudiados.

### 6.2. Análisis y Caracterización de la Curva de Acidificación (pH y acidez)

En la Figura 12 se muestra el comportamiento del pH durante la fermentación de la leche para elaborar el yogurt de leche de cabras suplementadas con AO. El pH disminuyó en los tratamientos cuando aumentó el tiempo de fermentación. En los tiempos se observa una disminución del pH entre los tres tratamientos, siendo el Y-CON el que presentó el menor tiempo de fermentación (Cuadro 13).

El comportamiento de la AT en el yogurt elaborado con leche de cabra suplementadas con aceite de orégano se observa en la Figura 13; la AT aumentó al incrementar el tiempo en la fermentación, siendo menor en Y-CON (Cuadro 13). La adición de aceites esenciales de plantas aromáticas en la dieta de los animales rumiantes ha sido estudiada en los últimos años debido a la actividad antimicrobiana que poseen en sustitución de antibióticos (Portela-Díaz, 2018); por lo cual, la presencia de estos

aceites en la composición de la leche puede retardar el tiempo de fermentación durante la elaboración del yogurt.

Cuadro 9. Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche ultra pasteurizada para elaborar yogurt.

Componente <sup>†</sup>	Tratamientos <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
Agua (%)	88.36 <sup>a</sup>	88.34 <sup>a</sup>	88.32 <sup>a</sup>	0.09	0.960
ST (%)	11.64 <sup>a</sup>	11.66 <sup>a</sup>	11.68 <sup>a</sup>	0.09	0.960
SNG (%)	8.55 <sup>b</sup>	8.87 <sup>a</sup>	8.60 <sup>b</sup>	0.05	0.000
Grasa (%)	3.09 <sup>a</sup>	2.79 <sup>b</sup>	3.08 <sup>a</sup>	0.05	0.000
Proteína (%)	3.12 <sup>b</sup>	3.25 <sup>a</sup>	3.15 <sup>b</sup>	0.02	0.000
Lactosa (%)	4.70 <sup>b</sup>	4.88 <sup>a</sup>	4.73 <sup>b</sup>	0.03	0.000
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	29.71 <sup>b</sup>	31.21 <sup>a</sup>	29.92 <sup>b</sup>	0.18	0.000

<sup>†</sup>ST: Sólidos Totales; SNG: Sólidos No Grasos

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 12 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

Cuadro 10. pH y acidez titulable en la leche cruda y ultrapasteurizada de cabras suplementadas con aceite de orégano para la elaboración de yogurt.

Leche/variable <sup>†</sup>	Tratamiento <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
Leche cruda					
pH	6.56 <sup>b</sup>	6.64 <sup>a</sup>	6.57 <sup>b</sup>	0.01	0.000
AT	0.170 <sup>a</sup>	0.169 <sup>a</sup>	0.1666 <sup>a</sup>	0.002	0.378
Leche ultra pasteurizada					
pH	6.45 <sup>a</sup>	6.47 <sup>a</sup>	6.46 <sup>a</sup>	0.01	0.196
AT	0.169 <sup>a</sup>	0.168 <sup>a</sup>	0.1675 <sup>a</sup>	0.002	0.616

<sup>†</sup>AT: Acidez Titulable (g/100 g de ácido láctico).

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 18 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

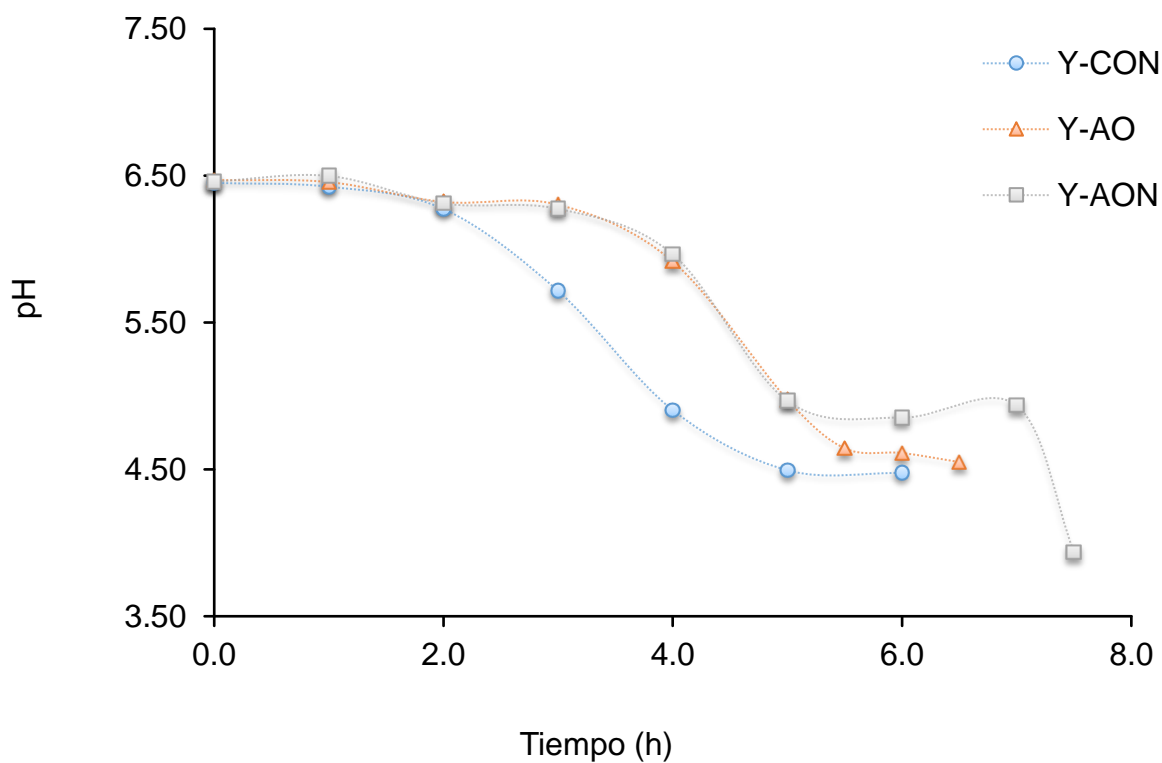


Figura 12. Curva de acidificación de leche (pH) de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.



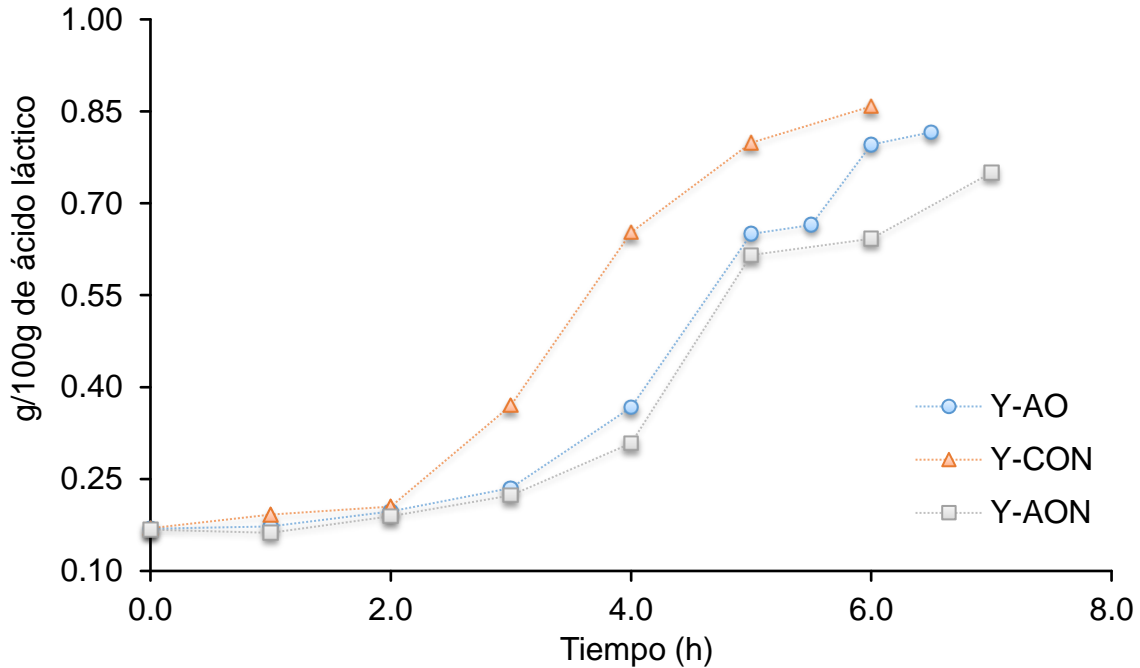


Figura 13. Curva de acidificación de leche (AT) de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

El pH y AT resultaron diferentes ( $P < 0.05$ ) para  $\beta_1$  (pendiente), y sólo la AT fue significativa en  $\beta_0$  (Cuadro 11). La AT tuvo el valor más alto en  $\beta_0$  y  $\beta_1$  para Y-CON, y el más bajo en Y-AON. En el pH,  $\beta_1$  fue más alto en Y-AON y más bajo en Y-CON. Este hallazgo indica un tiempo de fermentación más lento. También el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tanto para pH como para AT se ajustaron a un modelo de regresión lineal de primer orden para Y-CON y Y-AO; no así para Y-AON, lo que indica encontrar el ajuste de análisis de datos a otro análisis de regresión, en este caso puede ser el de segundo orden.

Cuadro 11. Análisis de la curva de fermentación del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Variable/Tratamiento <sup>†</sup>	Coeficientes <sup>‡</sup>		
	$\beta_0$	$\beta_1$	R <sup>2</sup>
<b>pH</b>			
Y-CON	6.77 <sup>a</sup>	-0.4231 <sup>b</sup>	90.64
Y-AO	6.85 <sup>a</sup>	-0.3377 <sup>a</sup>	83.3
Y-AON	6.83 <sup>a</sup>	-0.3012 <sup>a</sup>	75.04
EEM	0.06	0.0143	-
P-value	0.654	0.000	-
<b>AT</b>			
Y-CON	0.06402 <sup>a</sup>	0.13330 <sup>a</sup>	87.83
Y-AO	0.04118 <sup>ab</sup>	0.11120 <sup>b</sup>	85.03
Y-AON	0.02748 <sup>b</sup>	0.10217 <sup>c</sup>	73.13
EEM <sup>§</sup>	0.00747	0.0017	-
Valor-P	0.014	0.000	-

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado. AT: acidez titulable (g/100 g ácido láctico).

<sup>‡</sup> $\beta_0$ : coeficiente de regresión que representa la ordenada al origen cuando X = 0;  $\beta_1$ : coeficiente de regresión que representa la pendiente, y el cambio esperado en y cuando X varía una unidad. R<sup>2</sup>: coeficiente de terminación que indica el ajuste del análisis del modelo a una regresión lineal de primer orden.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 12 por tratamiento) en columnas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

El análisis de regresión de segundo orden se ajustó mejor al análisis de los datos (Cuadro 12); así mismo,  $\beta_0$  y  $\beta_1$  fueron significativos entre los tratamientos en este análisis de segundo orden, y obtuvieron comportamientos similares a los coeficientes de regresión de primer orden. Al analizar la curva de fermentación se encontraron diferencias en las pendientes de los tratamientos. Las diferencias entre los  $\beta_0$  y  $\beta_1$  en pH y AT de los tratamientos indicaron una diferencia de 50 min y 65 min en los tratamientos Y-AO y Y-AON en el tiempo final de fermentación respectivamente en comparación con Y-CON que mostró un tiempo menor.

### **6.3. Físicoquímica del Yogurt (pH, acidez, sinéresis, colorimetría)**

En el Cuadro 13 se muestra el análisis del tiempo final de fermentación y, variables pH y AT del yogurt elaborado con la leche de cabras suplementadas con AO después de 12 h de refrigeración. Los tiempos de fermentación y sinéresis presentaron diferencia ( $P < 0.05$ ); Y-AON tuvo mayor tiempo de acidificación y sinéresis, pero Y-CON tuvo menor v acidificación y sinéresis. El pH y AT no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

El análisis colorimétrico del yogurt se visualiza en el Cuadro 14. En  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma y Hue no se obtuvieron diferencias ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, la luminosidad ( $L^*$ ) resultó diferente ( $P < 0.05$ ), donde el tratamiento de aceite de orégano nanoparticulado (Y-AON) presentó el valor más alto y el control (Y-CON) el más bajo. El efecto en color del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con AON en dieta no ha sido reportado; sin embargo, Costa *et al.* (2015) experimentaron con pulpa de cacao blanco en yogurt de cabra, y el cual presentó menor  $L^*$ , pero aumentó durante el periodo de almacenamiento (28 días).

Cuadro 12. Análisis de la curva de fermentación del yogurt elaborado con leche de cabra suplementadas con aceite de orégano (segundo orden).

Variable/Tratamiento <sup>†</sup>	Coeficientes de regresión (2do Orden)			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_{11}$	R <sup>2</sup>
<b>pH</b>				
Y-CON	6.5369 <sup>a</sup>	-0.0881 <sup>b</sup>	-0.0649 <sup>a</sup>	95.79
Y-AO	6.4479 <sup>b</sup>	0.1268 <sup>a</sup>	-0.0793 <sup>a</sup>	95.31
Y-AON	6.4078 <sup>b</sup>	0.1634 <sup>a</sup>	-0.07257 <sup>a</sup>	89.51
EEM	0.0198	0.0341	0.00651	-
P-value	0.002	0.000	0.585	-
<b>AT</b>				
Y-CON	0.1527 <sup>b</sup>	0.0060 <sup>a</sup>	0.02472 <sup>a</sup>	95.18
Y-AO	0.1728 <sup>ab</sup>	-0.0401 <sup>ab</sup>	0.02423 <sup>a</sup>	96.9
Y-AON	0.2034 <sup>a</sup>	-0.0842 <sup>a</sup>	0.02820 <sup>a</sup>	91.41
EEM <sup>‡</sup>	0.0118	0.0136	0.00200	-
Valor-P	0.030	0.002	0.340	-

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.  
EEM: error estándar de la media.

<sup>‡</sup> $\beta_0$ : coeficiente de regresión que representa la ordenada al origen cuando  $X = 0$ ;  $\beta_1$ : coeficiente de regresión que representa la pendiente, y el cambio esperado en  $y$  cuando  $X$  varía una unidad;  $\beta_{11}$ : coeficiente de regresión que representa la pendiente, y el cambio esperado en  $y$  cuando  $X$  varía una unidad cuadráticamente; R<sup>2</sup>: coeficiente de terminación que indica el ajuste del análisis del modelo a una regresión lineal de segundo orden.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 12 por tratamiento) en columnas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

Cuadro 13. Análisis del tiempo final de fermentación y características fisicoquímicas del yogurt elaborado con leche de cabra suplementadas con aceite de orégano.

Variable <sup>†</sup>	Tratamiento <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
Tiempo final (h)	5.33 <sup>b</sup>	6.17 <sup>a</sup>	6.42 <sup>a</sup>	0.14	0.000
Tiempo final (min)	320.00 <sup>b</sup>	370.00 <sup>a</sup>	385.00 <sup>a</sup>	8.39	0.000
AT final	0.8143 <sup>a</sup>	0.7974 <sup>a</sup>	0.8778 <sup>a</sup>	0.0448	0.436
pH final	4.43 <sup>a</sup>	4.55 <sup>a</sup>	4.44 <sup>a</sup>	0.05	0.176
Sinéresis (%)	40.11 <sup>b</sup>	39.63 <sup>b</sup>	46.16 <sup>a</sup>	1.09	0.023

<sup>†</sup>AT: Acidez Titulable (g/100 g de ácido láctico).

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 12 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

#### 6.4. Análisis Proximal

En el Cuadro 15 se observa el análisis proximal de los tratamientos elaborados con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano nanoparticulado. No se presentó diferencia (P > 0.05) entre los tres tratamientos para materia seca y cenizas; sin embargo, la grasa y proteína resultaron diferentes (P < 0.05) entre los tratamientos. El Y-AO obtuvo más proteína y menos grasa; por el contrario, el Y-CON presentó menor proteína pero mayor grasa. Shahid-Sana *et al.* (2021) investigaron la adición de

aceite de semilla de chía en la elaboración de un yogurt con leche de cabra, midieron la composición proximal del yogurt y no encontraron diferencias en la composición.

Cuadro 14. Análisis colorimétrico del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Variable <sup>†</sup>	Tratamiento <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
L*	98.72 <sup>b</sup>	99.16 <sup>ab</sup>	99.54 <sup>a</sup>	0.19	0.012
a*	-1.03 <sup>a</sup>	-0.93 <sup>a</sup>	-0.96 <sup>a</sup>	0.05	0.445
b*	6.44 <sup>a</sup>	6.53 <sup>a</sup>	6.74 <sup>a</sup>	0.16	0.409
Chroma	7.11 <sup>a</sup>	7.15 <sup>a</sup>	7.46 <sup>a</sup>	0.16	0.249
Hue	115.18 <sup>a</sup>	115.34 <sup>a</sup>	115.09 <sup>a</sup>	0.32	0.851

<sup>†</sup>L\*: Luminosidad; a\*: Tendencia al rojo; b: Tendencia al amarillo; Chroma: Saturación de color; Hue: Tonalidad.

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-c</sup>Medias (n = 18 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

De acuerdo a la NOM-181-SCFI-2010 (Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas) la cantidad de grasa de un yogurt debe ser 15% máximo, mientras que los porcentajes de materia seca y proteína deben ser de 8.25 y 2.9 % como mínimo; por lo tanto, un yogurt se obtuvo con parámetros que están por

encima de los porcentajes mínimos de materia seca y proteína, pero también bajo en grasa desde origen como es el caso de Y-AO.

Cuadro 15. Análisis proximal del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Composición (%) <sup>†</sup>	Tratamientos <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y- CON	Y- AO	Y-AON		
MS	11.07 <sup>a</sup>	11.19 <sup>a</sup>	11.40 <sup>a</sup>	0.345	0.793
Proteína	2.72 <sup>b</sup>	3.25 <sup>a</sup>	3.17 <sup>a</sup>	0.0976	0.003
Grasa	3.24 <sup>a</sup>	2.57 <sup>b</sup>	2.68 <sup>b</sup>	0.0742	0.000
Cenizas	0.093 <sup>a</sup>	0.098 <sup>a</sup>	0.083 <sup>a</sup>	0.00761	0.395

<sup>†</sup>MS: Materia Seca.

<sup>‡</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-b</sup>Medias (n = 18 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

## 6.5. Análisis de Perfil de Textura

La textura es la manifestación sensorial de la estructura del alimento donde actúan las fuerzas aplicadas y, representa el conjunto de atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto con sensores mecánicos, tacto, visuales y auditivos (Torres-González *et al.*, 2015; Maldonado Astudillo *et al.*, 2019). El análisis de textura

del Cuadro 16 indica que la dureza, gomosis y masticabilidad presentaron diferencia entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ), obteniendo los valores más altos e Y-AON. Estos atributos están relacionados con las fuerzas aplicadas al alimento para deformarlo y desintegrarlo, indicando una mayor firmeza en el gel formado.

Cuadro 16. Análisis de Perfil de Textura del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Variable	Tratamiento <sup>†</sup>			EEM <sup>‡</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
Dureza (N)	0.27 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.01	0
Adhesividad (g s <sup>-1</sup> )	-104.80 <sup>a</sup>	-114.07 <sup>ab</sup>	-123.91 <sup>b</sup>	3.78	0.003
Elasticidad (mm)	0.71 <sup>a</sup>	0.70 <sup>ab</sup>	0.69 <sup>b</sup>	0.05	0.066
Cohesividad	0.61 <sup>a</sup>	0.60 <sup>a</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.01	0.004
Gomosis (g)	0.16 <sup>b</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0	0.01
Masticabilidad (g mm <sup>-1</sup> )	0.11 <sup>b</sup>	0.12 <sup>ab</sup>	0.13 <sup>a</sup>	0	0.037
Resiliencia	0.09 <sup>a</sup>	0.10 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>	0.02	0.705

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>‡</sup>EEM: error estándar de la media.

<sup>a-c</sup>Medias (n = 18 por tratamiento) en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).



El Y-CON obtuvo los valores más altos en las variables adhesividad, elasticidad y cohesividad comparados con los observados en Y-AO y Y-AON; los cuales tienen relación con la deformación y desintegración del alimento. Esto puede indicar una menor estabilidad en la microestructura del yogurt ocasionada por la menor cantidad de proteína presentado en este tratamiento en la leche utilizada para su elaboración. Respecto a resiliencia, no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos.

La leche de cabra produce una cuajada más suave, produciendo un gel con menos firmeza comparada con la formada por la leche de vaca; esto debido a la diferencia en el contenido de caseínas y configuración entre los dos tipos de leche (Clark, 2017; Park *et al.*, 2019); por la cual se necesita menor cantidad de fuerza y energía en la desintegración del yogurt. Park *et al.* (2019) reportaron que el uso de gomas, como estabilizante en la elaboración de yogurt de leche de cabra mejora la textura y reología, lo cual puede ser una alternativa si se quiere estandarizar la textura del yogurt.

#### **6.6. Evaluación de las Curvas de Flujo**

En el Cuadro 17 se presentan los parámetros reológicos obtenidos del análisis de flujo del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con AON. Diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) se obtuvieron en el índice de flujo ( $n < 1$ , pseudoplástico) y valores del índice de consistencia (K) de los tratamientos. En todos los tratamientos se obtuvieron valores de  $n$  entre 0 y 1, lo cual confirma su comportamiento pseudoplástico. Respecto K, el tratamiento con el mayor valor fue Y-AON, mientras que Y-CON presentó el menor. Fuentes-López *et al.* (2016) compararon los parámetros reológicos de un yogurt bajo en grasa y un yogurt elaborado con leche entera, sus resultados demostraron que el yogurt bajo en grasa presentó menor índice de consistencia respecto al yogurt regular.

En el presente estudio, un comportamiento inverso se obtuvo en los yogurts obtenidos con la leche de cabras suplementadas con AO en dietas, ya que Y-AON mostró mayor k (índice de consistencia), mismo que tuvo menor grasa en composición. Sin embargo, Y-AON mostró los valores más altos de proteína, por lo esto incrementó el coeficiente de consistencia.

Cuadro 17. Análisis de flujo del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Tratamiento <sup>†</sup>	n <sup>‡</sup>	k <sup>§</sup>
Y-CON	0.791378 <sup>a</sup>	0.49365 <sup>c</sup>
Y-AO	0.686198 <sup>b</sup>	0.76226 <sup>b</sup>
Y-AON	0.557515 <sup>b</sup>	1.12181 <sup>a</sup>
EEM	0.0181	0.119
Valor-P	0.000	0.001

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>‡</sup> Media de la pendiente (valor de índice de flujo) de cada modelo establecido por tratamiento.

<sup>§</sup>K: Media del coeficiente de consistencia (Pa s<sup>n</sup>) de cada tratamiento.

<sup>a-b</sup>Medias en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

### 6.6.1. Viscosidad

El comportamiento de la viscosidad de los yogurts elaborados con leche de cabras suplementadas con AO en dieta se muestra en el Figura 14. La viscosidad resultó diferente ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 18), siendo más alta en el Y-CON y más baja en Y-AON. Este hallazgo muestra que el yogurt elaborado de leche de cabras alimentadas con AO nanoparticulado disminuye la viscosidad. Esto tiene relación con la composición de la leche, ya que el Y-AON fue elaborado de leche con menos SNG que se reflejó en el contenido de menor proteína y lactosa. Esta misma relación la presentó como yogurt, menor contenido graso respecto al yogurt control (Y-CON).

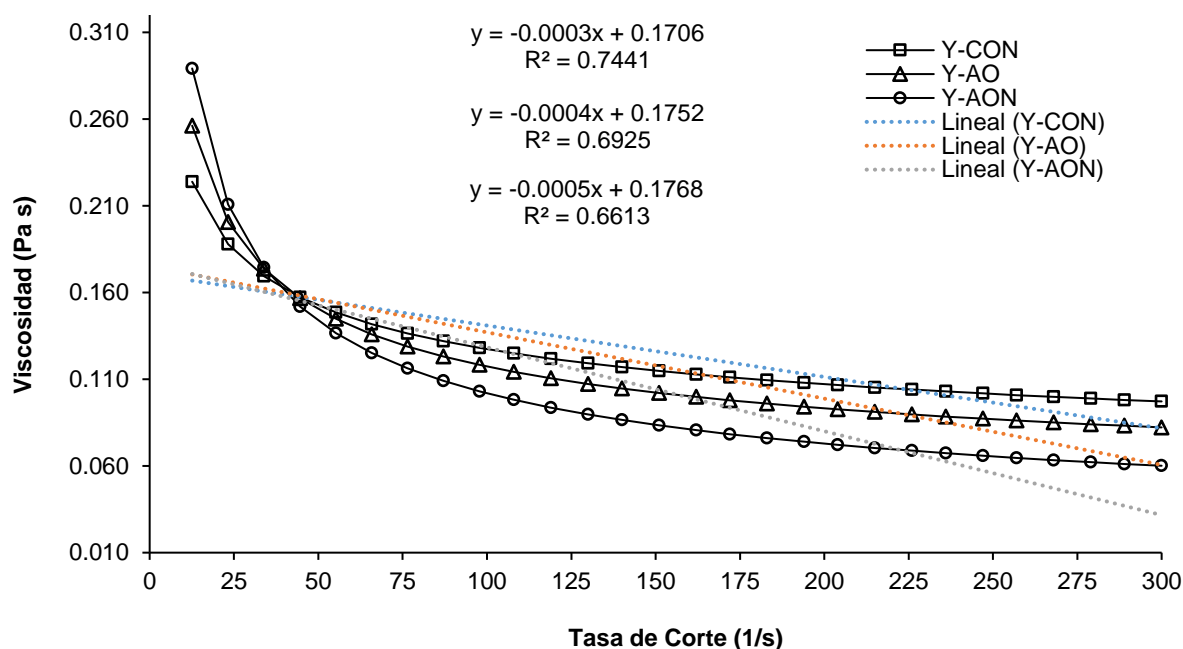


Figura 14. Comportamiento de la viscosidad de los yogurts obtenidos con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

‡Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

Cuadro 18. Pendientes de la viscosidad de los yogurts elaborados con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Estadístico <sup>†</sup>	Tratamientos <sup>‡</sup>			EEM <sup>§</sup>	Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y-AON		
$\beta_1$	-0.00029639 <sup>a</sup>	-0.00038227 <sup>ab</sup>	-0.00048361 <sup>b</sup>	0.00004017	0.0057
R <sup>2</sup> (%)	74.41	69.25	66.13		

<sup>†</sup> $\beta_1$ : coeficiente de regresión (n = 36/tratamiento; 12/periodo) que representa la pendiente y, es el cambio esperado en y (viscosidad) cuando X (tasa de corte) varía una unidad; R<sup>2</sup>: coeficientes de determinación (grado de ajuste de la regresión lineal simple a los datos analizados de a viscosidad).

<sup>‡</sup> Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>§</sup>EEM: error estándar de la media.

### 6.7. Actividad Antioxidante

En el Cuadro 19 se presentan los resultados obtenidos de la determinación de la capacidad antioxidante del yogurt. Diferencia (P > 0.05) se obtuvo en la actividad antioxidante en DPPH y ABTS; puede percibirse que la capacidad antioxidante es mayor y diferente (P < 0.05) en el tratamiento Y-AON (7.82%), mientras que el Y-CON fue menor (P < 0.05) en DPPH y Y-AO menor (P < 0.05) en ABTS ( $\mu\text{Mol/L}$  Trolox). Hong *et al.* (2021) realizaron un experimento adicionando 1% de extracto de pétalo de cártamo al yogurt elaborado con leche de bovino. Los tratamientos fueron establecidos por el extracto hecho con etanol y otro con agua caliente. Obtuvieron diferencias, siendo 2.79 % de inhibición del tratamiento de etanol y 10.66% de inhibición del tratamiento de agua caliente, valores cercanos a los obtenidos en esta investigación.

Cuadro 19. Determinación de la actividad antioxidante del yogurt elaborado con leche de cabra suplementadas con aceite de orégano.

Tratamiento <sup>†</sup>	DPPH• Inhibición (%)	ABTS•+ (μMol/L Trolox)
Y- CON	2.87 <sup>b</sup>	48.83 <sup>ab</sup>
Y- AO	4.18 <sup>b</sup>	38.18 <sup>b</sup>
Y-AON	7.82 <sup>a</sup>	50.29 <sup>a</sup>
EEM	1.32	3.68
Valor-P	0.045	0.028

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado. EEM: error estándar de la media.

<sup>a-c</sup>Medias en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05) utilizando el método Fisher LSD.

Por otro lado, Gurkan *et al.* (2019) realizaron varios extractos de albahaca morada para añadirla al yogurt y medir su capacidad antioxidante obteniendo valores de entre 10.66 a 43.42% de inhibición. Srivastava *et al.* (2015) obtuvieron resultados que demuestran el incremento de la capacidad antioxidante del yogurt que elaboraron al añadir extracto de jengibre y betabel.

Otro estudio demostró que fortificar el yogurt de leche de cabra con salvado de trigo rojo y negro se incrementan el conteo de bacterias ácido lácticas totales (LAB) y, esto ocasiona que el producto tenga mayor actividad antioxidante en comparación que el yogurt control (Haskito *et al.*, 2020). Algunos autores señalan que el contenido de

antioxidantes en la leche varía de acuerdo a la especie de la cual se obtuvo la leche, y concluyen que también puede ser modificado suplementando a los animales con extractos o aditivos de origen natural ricos en compuestos fenólicos, ocasionando un incremento en el contenido de compuestos bioactivos y su potencial antioxidante en la leche y sus subproductos (Stobiecka *et al.*, 2022).

Sin embargo, comparar los resultados obtenidos entre las investigaciones existentes de la medición de capacidad antioxidante es complejo, debido a la variación de metodologías empleadas por los investigadores para la extracción y determinación de los compuestos bioactivos y su potencial antioxidante; además, pocas investigaciones existen sobre la trazabilidad de los compuestos suplementados en dieta hasta subproductos elaborados con esa materia prima.

#### **6.8. Evaluación Sensorial**

En el Cuadro 20 se colocaron los resultados del análisis sensorial de consumidor por atributos del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con AO. Los tres tratamientos mostraron similitud ( $P > 0.05$ ) en los atributos evaluados. Asimismo, Shahid-Sana *et al.* (2020) analizaron yogurt elaborado con leche de cabra con aceite de semilla de chía, observando el mismo comportamiento en los atributos evaluados. Alqahtani *et al.* (2021) fortificaron yogurt de leche de cabra con 1, 2 y 3% de harina de avena y realizaron un análisis sensorial, en el cual evaluaron los parámetros de color, sabor, textura y aceptabilidad global, presentando diferencia estadística en los atributos evaluados con excepción del color. Por otro lado, Silva *et al.* (2022) incorporaron un extracto de uva variedad Isabel en yogurt, encontrando una mayor preferencia de los consumidores en el tratamiento que contenía el extracto de uva.

Cuadro 20. Evaluación sensorial de consumidor por atributos de yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Atributo	Tratamientos <sup>†</sup>			Valor-P
	Y-CON	Y-AO	Y- AON	
Color blanco	6.00	6.00	6.00	0.281
Apariencia (brillo)	6.00	6.00	6.00	0.953
Olor	6.00	6.00	6.00	0.463
Sabor	5.00	5.33	5.67	0.673
Viscosidad	5.00	5.00	5.00	0.717
Aceptabilidad global	5.00	5.17	5.33	0.641

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

Medianas (n = 36 consumidores) en filas con diferente letra indican diferencia estadística (P< 0.05) entre tratamientos con la prueba Friedman.

Otra investigación adicionó higo en polvo (8, 10 Y 12%) a yogurt elaborado con leche de cabra y al realizar la evaluación de atributos sensoriales obtuvieron resultados que indican diferencia significativa entre los tratamientos, causando un efecto en los atributos sensoriales que fueron aceptadas por los evaluadores (Mahmoudi *et al.*,

2021). Para confirmar la igualdad sensorial de los tratamientos realizó una prueba triangular mostrada en el Cuadro 21. Los evaluadores no encontraron diferencia entre las combinaciones de los tratamientos que se les presentaron, lo cual confirma que no hay diferencia ( $P > 0.05$ ) de los atributos sensoriales entre los tratamientos.

Cuadro 21. Evaluación sensorial con la prueba triangular del yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Combinación <sup>†</sup>	No diferencia ( $\alpha = 0.05$ )			Decisión <sup>‡</sup>
	n evaluador	n respuestas en Tabla	n respuestas correctas	
Global (Y-CON vs Y-AO vs Y- AON)	18	10	10	Igual
Y-CON vs Y- AO	6	5	4	Igual
Y- CON vs Y- AON	6	5	4	Igual
Y- AO vs Y- AON	6	5	2	Igual

<sup>†</sup>Y-CON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; Y-AO: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano puro; Y-AON: Yogurt elaborado con leche de cabras suplementadas con 300 ppm de aceite de orégano nanoparticulado.

<sup>‡</sup>Rechazar la asunción de “no diferencia” si el número de respuestas correctas es mayor o igual al valor de la tabla.



## 7. CONCLUSIONES

1. La suplementación en dieta con AO y AON en cabras causa efecto en la composición fisicoquímica de la leche, aumentando la proteína y lactosa, pero reduce la grasa utilizando AO.
2. Las variables fisicoquímicas de la leche y el yogurt (pH, AT y colorimetría) no se vieron afectadas por la suplementación de AO en la dieta de las cabras lecheras.
3. La sinéresis se mejoró en Y-AO, lo cual resulta un acierto en la calidad del yogurt.
4. En el análisis de textura se observó una ligera diferencia en dureza, adhesividad y elasticidad, siendo mayores en el tratamiento Y-AO.
5. Las curvas de flujo indicaron un comportamiento similar entre los yogurts elaborados, pseudoplásticos; sin embargo, el índice de consistencia y viscosidad disminuyó en Y-AON.
6. La adición de AO y AON en la dieta de las cabras causó efecto en la actividad antioxidante del yogurt, mejorando en Y-AO y Y-AON.
7. Los atributos sensoriales del yogurt no se afectaron por la suplementación del aceite de orégano en la dieta de las cabras.
8. La calidad del yogurt elaborado con la leche de cabras que fueron suplementadas con AO en dieta mejoró composición y calidad tecnológica, obteniendo de esta manera un producto desde origen bajo en grasa y calidad tecnológica dentro de los parámetros establecidos por las normas vigentes y estudios realizados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Albado Plaus, E., Saez Flores, G., & Grabiél ATaucusi, S. (2001). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). *Revista Medica Herediana*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.20453/rmh.v12i1.660>
- Amadio, C., Miralles, S., Medina, R., Dediol, C., & Zimmermann, M. (2011). Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 43(1), 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.12.007>
- Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S., & González de Mejía, E. (2004). [Oregano: properties, composition and biological activity]. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 54(1), 100–111. <http://europepmc.org/abstract/MED/15332363>
- Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9987–10013. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 143–182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>

- Bakry, A. M., Chen, Y. Q., & Liang, L. (2019). Developing a mint yogurt enriched with omega-3 oil: Physiochemical, microbiological, rheological, and sensorial characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), 1–15. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14287>
- Bedoya-Mejía, O; Rosero-Noguera, R; Posada, S. (2011). Composición de la leche de cabra y factores nutricionales que afectan el contenido de sus componentes. *Desarrollo y Transversalidad*, June, 49–66. <https://www.researchgate.net/publication/278667819>
- Boukria, O., Hadrami, E. M. El, Sameen, A., Sahar, A., Khan, S., Safarov, J., Sultanova, S., Leriche, F., & Aït-Kaddour, A. (2020). Biochemical, physicochemical and sensory properties of yoghurts made from mixing milks of different mammalian species. *Foods*, 9(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods9111722>
- Boutoial, K., Ferrandini, E., Rovira, S., García, V., & López, M. B. (2013a). Effect of feeding goats with rosemary (*Rosmarinus officinalis* spp.) by-product on milk and cheese properties. *Small Ruminant Research*, 112(1–3), 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.002>
- Boutoial, K., Ferrandini, E., Rovira, S., García, V., & López, M. B. (2013b). Effect of feeding goats with rosemary (*Rosmarinus officinalis* spp.) by-product on milk and cheese properties. *Small Ruminant Research*, 112(1), 147–153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.002>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brisson, G., & Singh, H. (2013). Milk composition, physical and processing

- characteristics. In *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (pp. 21–48).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118481301.ch2>
- Claudia I. Vénica; Silvia C. Costa; Nora G. Sabbag; María C. Perotti. (2016). Yogur funcional y reducido en lactosa: características fisicoquímicas y sensoriales. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 87(1), 19–36.
- Contreras, Picon, Y. T. (2007). Beneficios y usos de leche de cabra y de vaca en la elaboración de diferentes tipos de yogurt. In *Lexus* (Vol. 4, Issue None).
- Corrieu, G., & Béal, C. (2015). Yogurt: The Product and its Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 617–624. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00766-2>
- Costa, M. P., Frasao, B. S., Silva, A. C. O., Freitas, M. Q., Franco, R. M., & Conte-Junior, C. A. (2015). Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5995–6003. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9738>
- De Santis, D., Giacinti, G., Chemello, G., & Frangipane, M. T. (2019). Improvement of the Sensory Characteristics of Goat Milk Yogurt. *Journal of Food Science*, 84(8), 2289–2296. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14692>
- Díaz, P. (2018). *PARA REDUCIR ACIDOSIS LÁCTICA PRODUCIDA POR *Pediococcus acidilactici**.
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). Dairy Chemistry and Biochemistry. In *Dairy Chemistry and Biochemistry*.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2>
- Fuentes, A., Cortes, V., & Talens, P. (2016). Comportamiento reológico de un alimento en función su contenido en grasa. *Universitat Politecnica de Valencia*.

- George Zervas & Eleni Tsiplakou. (2013). Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health*, 1–700. <https://doi.org/10.1002/9781118534168>
- Giannenas, I., Skoufos, J., Giannakopoulos, C., Wiemann, M., Gortzi, O., Lalas, S., & Kyriazakis, I. (2011). Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, *94*(11), 5569–5577. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4096>
- Hashemi Gahruie, H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, *4*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Haskito, A. E. P., Mahdi, C., & Noviatry, A. (2020). Comparison of Antioxidant Activity and Total Lactic Acid Bacteria (LAB) of Goat Milk Yoghurt, Goat Milk Yoghurt Fortified by Redand Black Rice Bran Flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *465*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/465/1/012010>
- Hong, H., Lim, J. M., Kothari, D., Kwon, S. H., Kwon, H. C., Han, S. G., & Kim, S. K. (2021). Antioxidant Properties and Diet-Related  $\alpha$ -Glucosidase and Lipase Inhibitory Activities of Yogurt Supplemented with Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Petal Extract. *Food Science of Animal Resources*, *41*(1), 122–134. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2020.E88>
- Ibrahim, A., Naufalin, R., Muryatmo, E., & Dwiyantri, H. (2021). Comparative study between cow and goat milk yogurt based on composition and sensory evaluation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *746*(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/746/1/012001>

- Joyner, H. S. (2019). Rheology of Semisolid Foods. In *Food Engineering Series*.
- Jumah, R. Y., Shaker, R. R., & Abu-Jdayil, B. (2001). Effect of milk source on the rheological properties of yogurt during the gelation process. *International Journal of Dairy Technology*, 54(3), 89–93. <https://doi.org/10.1046/j.1364-727x.2001.00012.x>
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(9), 1127–1136. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.05>
- Lejonklev, J., Kidmose, U., Jensen, S., Petersen, M. A., Helwing, A. L. F., Mortensen, G., Weisbjerg, M. R., & Larsen, M. K. (2016). Short communication: Effect of oregano and caraway essential oils on the production and flavor of cow milk. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 7898–7903.
- Lucey, J. A. (2004). Cultured dairy products: An overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2–3), 77–84.
- Mahmoudi, S., Barrocas Dias, C., Manhita, A., Boutoumi, H., & Charif, R. (2021). Formulation of goat's milk yogurt with fig powder: Aromatic profile, physicochemical and microbiological characteristics. *Food Science and Technology International*, 27(8), 712–725.
- Maldonado Astudillo, Y. I., Cantú Guzmán, Á., Salazar, R., & Jiménez Hernández, J. (2019). Análisis de perfil de textura de frutos partenocarpicos de mango cv. 'Ataúlfo.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1175–1181. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1784>
- Martínez, G., & Suárez, H. (2018). *Lechería Caprina: producción, manejo, sanidad, calidad de leche y productos.*

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_lecheria\\_caprina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_lecheria_caprina.pdf)

- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B. T. (2007). *The spectrum descriptive analysis method. Sensory Evaluation Techniques*. 49(24), 2376–2377.
- Meléndez Villarreal, Jesús; Hernández Salgado, J. Ramón; Ortega Sánchez, J. L. (2005). Perfil Inmunológico Y Nutritivo Del Calostro Y Leche De Cabra En La Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, IV(1), 57–62.
- Mellenberger, R. W., Bauman, D. E., & Nelson, D. R. (1973). Metabolic adaptations during lactogenesis. Fatty acid and lactose synthesis in cow mammary tissue. *Biochemical Journal*, 136(3), 741–748.
- Mercedes Ghibaudi, Laura Simonetti, Valeria Ponce, Ailén De Lima, Ezequiel Feoli, Sara Flor, C. L. (2020). Introducción a La Lechería Caprina. *British Journal of Cancer*, 5(4), 50–60.
- Milovanovic, B., Djekic, I., Miocinovic, J., Djordjevic, V., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Mörlein, D., & Tomasevic, I. (2020). What is the color of milk and dairy products and how is it measured? *Foods*, 9(11), 1–17.
- Moreno-Indias, I., Sánchez-Macías, D., Martínez-de la Puente, J., Morales-delaNuez, A., Hernández-Castellano, L. E., Castro, N., & Argüello, A. (2012). The effect of diet and DHA addition on the sensory quality of goat kid meat. *Meat Science*, 90(2), 393–397.
- NMX. (2007). Sistema producto leche-alimento-lácteo-leche cruda de cabra-especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. DOF. Retrieved March 19, 2023.
- NOM-181-SCFI-2010. (2010). Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. Norma Oficial

mexicana, yogurt-denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, Información Comercial y Métodos de Prueba. Retrieved March 19, 2023.

Paraskevakis, N. (2015). Effects of dietary dried Greek Oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) supplementation on blood and milk enzymatic antioxidant indices, on milk total antioxidant capacity and on productivity in goats. *Animal Feed Science and Technology*, *209*, 90–97.

Park, Y. W. (2007). Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, *68*(1–2), 73–87.

Park, Young W., Oglesby, J., Hayek, S. A., Aljaloud, S. O., Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2019). Impact of different gums on textural and microbial properties of goat milk yogurts during refrigerated storage. *Foods*, *8*(5).

Peng, Y., Horne, D. S., & Lucey, J. A. (2010). Physical properties of acid milk gels prepared at 37°C up to gelation but at different incubation temperatures for the remainder of fermentation. *Journal of Dairy Science*, *93*(5), 1910–1917.

Pragati Srivastava, S.G.M. Prasad, Mohd Nayeem Ali, M. P. (2015). Analysis of antioxidant activity of herbal yoghurt prepared from different milk. *The Pharma Innovation Journal*.

Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2010). A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chemistry*, *119*(3), 1108–1113.

Routray, W., & Mishra, H. N. (2011). Scientific and Technical Aspects of Yogurt Aroma and Taste: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *10*(4), 208–220.



- Shahid, S., Leghari, A. A., Anam, M., Gull, T., Ashraf, J., Tahir, H., Liaqa, H., & Iqbal, M. W. (2021). Development of Yoghurt Spread from Goat Milk and its Qualitative Valorization Using Chia Seed Oil. *Advances in Food Technology and Nutrition Sciences – Open Journal*, 7(1), 1–10.
- Stobiecka, M., Król, J., & Brodziak, A. (2022). Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*, 12(3).
- Tamime, A. Y., & Deeth, H. C. (1980). *Yogurt: Technology and Biochemistry*. 43(12), 939–977.
- Turek, C., & Stintzing, F. C. (2012). Impact of different storage conditions on the quality of selected essential oils. *Food Research International*, 46(1), 341–353.
- Vargas Aguilar, P., Pineda Castro, M. L., & Chacón Villalobos, A. (2006). Lácteos bovinos y percepción de la leche caprina entre estudiantes de la Universidad de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 18(1), 27.
- Villegas, A., Santos, A., & Cervantes, F. (2016). Los quesos mexicanos tradicionales. *Universidad Autónoma Chapingo, January*, 220.
- Wu, S., Li, D., Li, S., Bhandari, B., Yang, B., Chen, X. D., & Mao, Z. (2009). *Effects of Incubation Temperature, Starter Culture Level and Total Solids Content on the Rheological Properties of Yogurt*. 5(2).
- Yildiz, F. (2010). *Development and manufacture of yoghurt and other functional dairy products*.
- Zamora, G. M., & , José Arturo García Macías<sup>1</sup>, Eduardo santellano Estrada<sup>1</sup>, Lorenzo Antonio Durán Meléndez<sup>1</sup>, R. silva V. (2015). Investigación y Ciencia Investigación y Ciencia. *Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 62(64), 11–18.

Zourari, A., Accolas, J. P., & Desmazeaud, M. J. (1992). Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria. A review. *Le Lait*, 72(1), 1–34.