

**Estudio Sobre los Efectos del Cuajo Animal y Microbiano en el Proceso de Elaboración
de Quesos con Leche de Búfala, Mediante Exploración Bibliográfica**

Juan Camilo Jaramillo Ayala

Heidy Johana Palacio Sánchez

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Programa De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería - ECBTI

Ingeniería De Alimentos

Medellín

2025

**Estudio Sobre los Efectos del Cuajo Animal y Microbiano en el Proceso de Elaboración
de Quesos con Leche de Búfala, Mediante Exploración Bibliográfica**

Juan Camilo Jaramillo Ayala

Heidy Johana Palacio Sánchez

Asesora

Ing. Msc. Diana Edith Molina Soler

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Programa De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería - ECBTI

Ingeniería De Alimentos

Medellín

2025

Nota de Aceptación

Jurado

Dedicatoria

Dedicamos esta monografía principalmente a Dios por permitirnos avanzar con su sabiduría hacia esta etapa final llena de mucho esfuerzo, a nuestras parejas por apoyarnos en todo momento y permitir la motivación en el desarrollo y cumplimiento de nuestros objetivos, a nuestros padres que nos impulsan a ser mejores cada día y nos enseñaron el sacrificio e importancia de avanzar hacia un mejor camino, A la MSc Diana Molina por su incondicional apoyo ético y profesional como tutora y asesora con su experiencia y conocimiento, y a todas aquellas personas que de forma directa e indirecta estuvieron apoyándonos para cumplir nuestras metas.

Juan Camilo Jaramillo Ayala

Heidy Johana Palacio Sánchez

Agradecimientos

En primer lugar, queremos expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera directa o indirecta en la realización de este trabajo. A nuestra tutora, Diana Molina, por su invaluable guía, paciencia y conocimientos, que fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. A nuestras familias, por su apoyo incondicional y por brindarnos un ambiente propicio para estudiar. A nuestros seres queridos, por sus palabras de aliento y compañía durante este proceso. Finalmente, agradecemos a nuestra institución que colaboraron en la recopilación de los datos y en la realización de esta monografía.

Resumen

La leche de búfala tiene un alto valor nutricional y características sensoriales óptimas para la producción de quesos. Su alto contenido proteico y graso permite elaborar quesos de textura suave y sabor distintivo. Estos atributos dependen de factores como la genética, raza, edad, alimentación y condiciones ambientales que tenga el animal, así como del tipo de coagulante y del proceso productivo utilizado. Esta monografía presenta una revisión bibliográfica de artículos publicados en los últimos 10 años, con el objeto de explorar el uso del coagulante animal o microbiano en la elaboración de quesos de leche de búfala, optimizando su calidad y productividad. No se encontraron diferencias significativas en la funcionalidad del cuajo animal o microbiano. Aunque el coagulante animal, tiene una menor agresividad en la actividad sobre la caseína, lo que potencia el fenómeno de coagulación y mejora su percepción sensorial. Sin embargo, su disponibilidad es limitada y su uso no es aceptado por vegetarianos. Por su parte, el cuajo microbiano funciona como opción homologa, con mayor beneficio de abastecimiento, pero genera un menor rendimiento por su hidrólisis inespecífica y un sabor residual. Adicionalmente, se ha reportado que alrededor del 35% de la proteasa de *R. miehei* sigue activa después de un tratamiento térmico a 80 °C durante 10 min, mientras que el cuajo de ternera se inactiva a los 62 °C. Con esta revisión, se espera contribuir al conocimiento sobre la elección del coagulante y al desarrollo de nuevos quesos que aprovechen al máximo las cualidades de la leche de búfala.

Palabras clave: Cuajo animal, leche de búfala, rendimiento, enzimas, caseína, nutrición.

Abstract

Buffalo milk has a high nutritional value and optimal sensory characteristics for cheese production. Its high protein and fat content makes it possible to produce cheeses with a soft texture and distinctive flavor. These attributes depend on factors such as genetics, breed, age, feed and environmental conditions of the animal, as well as the type of coagulant and the production process used. This monograph presents a bibliographic review of articles published in the last 10 years, with the purpose of exploring the use of animal or microbial coagulant in the production of buffalo milk cheeses, optimizing their quality and productivity. No significant differences were found in the functionality of animal or microbial rennet. Although the animal coagulant has a less aggressive activity on casein, which enhances the coagulation phenomenon and improves its sensory perception. However, its availability is limited and its use is not accepted by vegetarians. Microbial rennet, on the other hand, functions as a homologous option, with greater supply benefit, but generates a lower yield due to its non-specific hydrolysis and residual flavor. Additionally, it has been reported that about 35% of *R. miehei* protease is still active after heat treatment at 80 °C for 10 min, while calf rennet is inactivated at 62 °C. With this review, we hope to contribute to the knowledge on the choice of coagulant and to the development of new cheeses that take full advantage of the qualities of buffalo milk.

Keywords: Animal rennet, buffalo milk, yield, enzymes, casein, nutrition.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema.....	16
Justificación	17
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos Específicos	19
Análisis bibliométrico.....	20
Definición de los términos de búsqueda.	22
Leche de búfala.....	31
Concepto de leche de búfala.....	31
Biosíntesis de la leche.	32
Composición nutricional.	33
Características fisicoquímicas.	35
Microbiología de la leche cruda.	36
Comparación económica y nutricional de la leche de búfala frente a la leche de vaca.	38
Producción de leche de Búfala en el mundo y en Colombia.....	39
Subproductos que se pueden obtener a partir de la leche de Búfala.	41
Consumo de leche de Búfala y sus derivados	41
Conclusiones	43

Introducción a la fabricación de quesos de búfala.	44
Historia del queso.	44
Definición del queso.	44
Variedades de queso de Búfala.	45
Procedimiento de elaboración.	46
Operaciones básicas del proceso.	49
Equipos utilizados para el proceso de elaboración de quesos de Búfala.	51
Estandarización de la leche.	52
Subproductos.	53
Conclusiones	57
Condiciones de proceso y formulación al utilizar cuajo animal o microbiano.	58
Formulación de quesos.	58
Coagulantes y precipitantes.	59
Coagulación ácida.	60
Coagulación enzimática	61
Coagulación mixta.	61
Enzimas coagulantes.	61
Cuajo animal.	63
Quimosina recombinante.	64
Cuajos microbianos.	67
Incidencia del pH sobre el queso.	69

Reguladores de acidez.....	69
Uso legal de aditivos.....	70
Condiciones de proceso y factores que influyen en la coagulación, calidad y rendimiento del queso de acuerdo con el tipo de cuajo utilizado para la producción de queso de Bufala.	71
Calidad y rendimiento en la producción del queso de búfala.....	71
Conclusiones.....	76
Control y calidad en la elaboración de quesos de búfala.....	77
Aspectos de calidad.....	77
Características fisicoquímicas y nutricionales.....	78
Características microbiológicas.....	81
Efectos sensoriales.....	84
Defectos del queso.....	86
Conclusiones.....	89

Lista de Tablas

Tabla 1	Filtros utilizados para la búsqueda de información en cada base de datos.....	21
Tabla 2	Resultados de artículos por ecuación de búsqueda en cada base de datos.....	23
Tabla 3	Comportamiento de los resultados del 2014 al 2024 en Science Direct.....	27
Tabla 4	Comportamiento de los resultados del 2014 al 2024 en Scopus.....	27
Tabla 5	Composición química de muestras de leche de búfala mediterránea a granel y por especie.....	34
Tabla 6	Resultado de análisis fisicoquímicos de la leche fresca de búfalo.....	36
Tabla 7	Análisis microbiológico de la leche fresca de búfalo.	38
Tabla 8	Condiciones de elaboración y formulación para queso mozzarella con leche de búfala.....	51
Tabla 9	Metodología para la determinación de análisis fisicoquímico de la leche cruda.....	52
Tabla 10	Composición del suero dulce y ácido.	54
Tabla 11	Resumen de productos valiosos que se pueden obtener del suero de leche.....	55
Tabla 12	Acidulantes más comunes en la industria.	69
Tabla 13	Caracterización textural de quesos.....	75
Tabla 14	Rendimiento en peso de producción de queso Mozzarella a partir de la leche de búfala y de vaca.	78
Tabla 15	Características microbiológicas del queso de búfala.	82
Tabla 16	Características nutricionales del queso mozzarella con leche de búfala y vaca.	83
Tabla 17	Comparativo de las características sensoriales del queso mozzarella elaborado con leche de búfala y leche de vaca.....	84
Tabla 18	Resultados análisis fisicoquímico del queso de Capa de leche de búfala elaborado con cuajo microbiano.....	85

Tabla 19 Caracterización textural del queso de Capa de leche de búfala elaborado con cuajo microbiano.	86
Tabla 20 Formato para revisión de artículos RAE.....	112

Lista de Figuras

Figura 1 Artículos obtenidos por cada ecuación de búsqueda en cada base de datos.	25
Figura 2 Artículos totales hallados en las bases de datos estudiadas.....	26
Figura 3 Comportamiento de publicación de artículos desde 2014 hasta 2024 de Science Direct y Scopus sobre el tema de la monografía.....	28
Figura 4 Fotografía búfala	31
Figura 5 Producción mundial de leche fresca	40
Figura 6 Queso de búfala producido en Córdoba	45
Figura 7 Estructura tridimensional de la quimosina bovina	47
Figura 8 Modelos de subunidades de la micela de caseína.....	49
Figura 9 Diagrama de Flujo elaboración de queso fresco.	50
Figura 10 Efecto de la concentración de los iones de calcio en la coagulación	60
Figura 11 Efecto de la temperatura.....	66
Figura 12 Efecto del pH.....	67
Figura 13 Resultados de perfiles de sabor de queso con leche de búfalo y vaca.....	84
Figura 14 Ejemplo de defecto de ablandamiento en el queso.....	87

Introducción

El proceso de elaboración de queso implica la utilización del cuajo, cuya función se basa en provocar la alteración de la caseína y su precipitación, dando lugar a una masa gelatinosa que engloba a todos los componentes de la leche. Tradicionalmente, el agente coagulante más usado en las formulaciones de quesos se obtiene del estómago de becerros lactantes, pero con el aumento de la producción y consumo mundial de quesos además de otra variedad de factores (vegetarianismo, creencias religiosas, etc.), el abasto de este tipo de cuajo es insuficiente, por lo que se han buscado algunas alternativas para sustituirlo mediante enzimas de microorganismos y algunas de origen vegetal, procurando conservar las propiedades características del producto final (Tonanzin y García, 2017).

La leche de búfala, por su alto contenido de grasa y proteínas, y características organolépticas, presenta ventajas significativas frente a la leche de vaca en la producción de quesos de alta calidad. No obstante, su composición particular también genera desafíos durante el proceso de coagulación. Por ello, es importante estudiar cómo el tipo de cuajo utilizado (animal o microbiano) influye en las propiedades sensoriales, nutricionales y productivas de los quesos frescos elaborados con esta leche.

La productividad, optimización de tiempos y calidad en la producción de queso depende del aprovechamiento eficiente de la caseína y otras macromoléculas, así como el control adecuado de las variables de proceso. Sin embargo, muchos de estos factores son realizados de manera empírica, lo que puede llevar a resultados inconsistentes. Factores importantes, como la cantidad de cuajo según su fuerza coagulante, los parámetros de temperatura, acidez y pH, y el uso adecuado de iones de calcio para potenciar la acción del cuajo, son a menudo subestimados o manejados sin un fundamento técnico sólido, comprometiendo la calidad del queso resultante.

Este estudio busca, a través de una exploración bibliográfica de los últimos 10 años, evaluar los efectos del uso de cuajo de origen animal y microbiano en la producción de quesos a partir de leche de búfala. Se analizaron las implicaciones de cada tipo de cuajo en las características del producto final, así es como la sostenibilidad y la viabilidad de ambos tipos de cuajo en la producción quesera. Al comprender las diferencias entre ambos coagulantes, se espera contribuir a la optimización del proceso de producción y a la mejora en la calidad del producto final, beneficiando tanto a productores como a consumidores.

Planteamiento del Problema

Después de la pandemia del COVID-19, ha habido un incremento en la demanda de alimentos nutritivos que fortalezca el sistema inmunológico, entre los cuales se destaca la leche de búfala y sus derivados lácteos. Con una composición diferente a la leche de vaca (7,6% de grasa, 4,8% de lactosa y 4,7% de proteínas en comparación con 3,5%, 5% y 0,35%, respectivamente) (Cruz, 2022), que genera retos específicos en los procesos de producción para la elaboración de quesos, particularmente en la coagulación.

La producción de queso es un complejo proceso bioquímico que involucra una serie de transformaciones en las proteínas de la leche (caseínas y proteínas de suero), que requiere el uso de enzimas que induzcan su coagulación, para poder transformar la leche en cuajada (Robles, 2021). Tradicionalmente, el cuajo se ha obtenido del estómago de becerros lactantes, sin embargo, la creciente demanda mundial de queso y la diversificación de preferencias dietéticas y éticas, han impulsado el desarrollo de alternativas, como enzimas microbianas (Bonafede. 2017).

Actualmente, la información disponible sobre los efectos del cuajo microbiano en la calidad de los quesos de búfala es limitada, lo que genera incertidumbre en la industria. Los parámetros de producción, como la concentración de cuajo, temperatura, pH y la adición de calcio, son factores cruciales que muchas veces se manejan de manera empírica, afectando la calidad del producto final.

Por lo tanto, surge la pregunta: ¿Cómo influye el tipo de cuajo, animal o microbiano, en las características productivas, sensoriales y nutricionales del queso fresco elaborado a partir de leche de búfala? Este estudio busca responder esta pregunta mediante un análisis comparativo que permita optimizar el uso de estos coagulantes y mejorar la calidad de los productos lácteos derivados de la leche de búfala.

Justificación

La población bufalina en Colombia asciende a 563.372 individuos, distribuidos principalmente en los departamentos de Córdoba (15%), Santander (14%), Magdalena (13%), Bolívar (12%), Antioquia (12%), Sucre (7%), Cesar (6%) y Caquetá (5%) (ICA, 2024). Se proyecta que esta cifra alcance 1,6 millones de cabezas para el 2027, lo que refleja la creciente relevancia de los búfalos en la producción de quesos y otros productos lácteos de alta calidad, debido a sus características organolépticas, su composición nutricional, y la rentabilidad que ofrece tanto a productores como a consumidores.

La leche de Búfala es una materia prima ideal para la elaboración de diversos tipos de queso como: quesos maduros, blandos, semiblandos y en particular, la tradicional mozzarella (Arboleda, 2013). Entre sus beneficios nutricionales destaca su alto contenido proteico, cerca del 80% son caseinas y el 20% restante proteínas de suero. Además, contiene 8 de los 9 aminoácidos esenciales (Cruz, 2022), ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, carbohidratos, antioxidantes, y minerales como calcio, fósforo y magnesio con 1.116 mg/kg, 635 mg/kg y 66 mg/kg, respectivamente (Ocampo et al, 2016).

Sin embargo, el proceso de coagulación de la leche de búfala para la producción de queso presenta desafíos significativos, ya que influye directamente en la formación de la cuajada y en la eficiencia del proceso de producción. El uso de coagulantes, tanto de origen animal como microbiano, afecta la ruptura de enlaces peptídicos y la precipitación de macromoléculas, lo que puede influir en la textura, composición química y propiedades sensoriales del queso. Es crucial estudiar la eficiencia de estos coagulantes para optimizar la productividad, reducir los tiempos de coagulación y mejorar los rendimientos sin sacrificar las características distintivas de los quesos de búfala.

El propósito de esta investigación, mediante una revisión bibliográfica, es identificar la opción más eficiente entre el cuajo de origen animal y el microbiano para la producción de quesos frescos de búfala. Dado el crecimiento proyectado del sector bufalino y la demanda de productos de alta calidad, es vital comprender cómo cada tipo de cuajo impacta en las características sensoriales, nutricionales y productivas del queso.

Existe literatura sobre los diferentes coagulantes utilizados en la producción de quesos, así como estudios sobre la leche de búfala. Sin embargo, se requiere un análisis detallado que relacione ambos campos, aplicando la investigación científica para mejorar los procesos queseros. Los resultados de este estudio no solo beneficiarán a la industria quesera, con información precisa sobre cómo diferentes tipos de cuajo afectan las características sensoriales, nutricionales y de procesamiento del queso de búfala. Sino que también permitirán a los productores seleccionar el coagulante más adecuado para obtener productos de mayor calidad y consistencia, mejorando así su competitividad en el mercado. Otro aporte importante se da también a la academia y a la ciencia, proporcionando una comprensión más profunda de los efectos del uso de cuajo animal y microbiano en la elaboración de quesos frescos a partir de leche de búfala, contribuyendo a llenar estos vacíos en la literatura científica, proporcionando nuevos conocimientos sobre la interacción entre los coagulantes y las proteínas de la leche de búfala. Los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones y podrán ser utilizados para desarrollar modelos predictivos que faciliten la optimización de los procesos queseros, fomentando la investigación en el área de la tecnología de los alimentos. Además, al explorar alternativas diferentes a los coagulantes animales, este documento contribuye a la búsqueda de procesos de producción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el efecto productivo, sensorial y nutricional de utilizar cuajo de origen animal y microbiano para la elaboración de quesos frescos a partir de leche de búfala, mediante revisión bibliográfica.

Objetivos Específicos

Identificar el estado de arte en cuanto las características, composición nutricional, sistema de producción, manejo sanitario y subproductos que se pueden obtener a partir de la leche de Búfala, con el fin de comprender su idoneidad en la producción de quesos en Colombia.

Examinar las condiciones de proceso al utilizar cuajo animal y microbiano en la fabricación de quesos de búfala para garantizar su calidad, rendimiento y producción, mediante revisión y análisis crítico de la bibliografía registrada en los últimos 10 años (2014 – 2024).

Comparar los efectos productivos, sensoriales y nutricionales del uso de cuajo animal o microbiano en la elaboración de quesos frescos de búfala, que facilite conocer su viabilidad funcional.

Análisis Bibliométrico

La construcción de esta monografía, centrada en el estudio del efecto del cuajo animal y microbiano en la elaboración de quesos frescos de búfala, se basó en un riguroso análisis bibliométrico. Este proceso permitió seleccionar y evaluar las fuentes de información más relevantes y de alta calidad, lo que facilitó una mejor comprensión y profundización del tema. Las fuentes bibliográficas consultadas se obtuvieron mediante el ingreso a la biblioteca de la UNAD, donde se consultaron diversas bases de datos, tales como Scopus, ScienceDirect, DOAJ, EBSCO y Scielo, que proporcionaron información importante sobre el tema seleccionado.

Para optimizar el proceso de búsqueda y no dejar tan amplia la gama de resultados que se pudieran obtener de la investigación y recolección de documentos, se aplicaron filtros en las bases de datos que acortaron el margen de búsqueda al tema objetivo. Esto permitió ser más específicos con la propuesta analizada y obtener resultados más claros y precisos. En la **Tabla 1** se presenta los filtros utilizados para cada una de las bases de datos mencionadas anteriormente, clasificados por año, tipo de artículo y áreas temáticas.

Tabla 1

Filtros utilizados para la búsqueda de información en cada base de datos.

Filtros de búsqueda de información					
Ítem	Science direct	Scopus	Scielo	EBSCO	DOAJ
Año	2014-2024	2014-2024	2014-2024	2014-2024	2014-2024
Tipo de artículo	Artículo de investigación	Artículo de investigación	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
	Artículo de revisión	Artículo de revisión	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
Áreas temáticas	Ciencias agropecuarias y biológicas	Bioquímica, Genética y Biología Molecular	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
	Bioquímica, genética y biología molecular	Ciencias Agrícolas y Biológicas	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
	Ingeniería química	Ingeniería Química	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
	Química	Ingeniería Química	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados
		Química	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados

Nota: Elaboración propia.

Definición de los Términos de Búsqueda

Se identificaron palabras clave y descriptores específicos relacionados con el tema de investigación con el ánimo de ser más precisos al momento de realizar la búsqueda de la información en las 5 bases de datos ya mencionadas. Para obtener información relevante y de calidad, se emplearon ecuaciones de búsqueda en las bases de datos bibliográficas, utilizando operadores booleanos que facilitaran el proceso y enfocaron la información hacia un mismo objetivo. Las ecuaciones formuladas concretamente para esto fueron las siguientes: “Cheese Buffalo AND protein AND Enzymes AND casein AND NOT vegetable AND NOT ripened cheese”, “Casein AND fresh cheese AND Buffalo milk AND proteolysis AND NOT lactic cultures”, “Animal rennet AND microbial rennet AND NOT vegetable rennet AND buffalo milk AND buffalo cheese”, “Sensory quality AND nutritional quality AND buffalo milk AND coagulant AND NOT fermented milk AND cheese yield”, “Rennet functionality AND NOT vegans AND buffalo milk AND enzymes AND peptides AND hydrolysis AND fresh buffalo cheese”, “Animal rennet OR microbial rennet AND buffalo cheese AND cheese production AND NOT lactic culture AND NOT antioxidant AND buffalo milk”. Las ecuaciones de búsqueda se emplearon tanto en inglés como en español, ya que en ocasiones surgieron dificultades para obtener resultados al limitarse a un solo idioma. Sin embargo, se observó que la mayoría de los resultados productivos se encontraron en inglés.

A continuación, se presenta de manera ordenada una lista de las ecuaciones utilizadas, identificadas numéricamente para facilitar su análisis gráfico. Este análisis permite interpretar el comportamiento de las búsquedas y detallar en qué puntos se obtuvieron los mejores resultados durante la investigación bibliométrica. Así, se puede identificar el enfoque más eficiente en cuanto a las bases de datos y determinar el análisis de Pareto, que destaca el mayor énfasis tanto en las bases de datos como en las ecuaciones de búsqueda. **La Tabla 2** resume los resultados obtenidos para cada ecuación y base de datos.

Tabla 2

Resultados de artículos por ecuación de búsqueda en cada base de datos.

Número de ecuación	Ecuaciones de búsqueda	Resultados de búsqueda por ecuación				
		Science direct	Scopus	Scielo	EBSCO	DOAJ
1	Cheese Buffalo AND protein AND Enzymes AND casein AND NOT vegetable AND NOT ripened cheese	189	6	0	0	0
2	Casein AND fresh cheese AND Buffalo milk AND proteolysis AND NOT lactic cultures	58	1	0	0	0
3	Animal rennet AND microbial rennet AND NOT vegetable rennet AND buffalo milk AND buffalo cheese	82	44	0	0	0
4	Sensory quality AND nutritional quality AND buffalo milk AND coagulant AND NOT fermented milk AND cheese yield	8	0	0	0	0
5	Rennet functionality AND NOT vegans AND buffalo milk AND enzymes AND peptides AND	45	37	0	0	0

	hydrolysis AND fresh buffalo cheese					
	animal rennet OR macrobian rennet AND buffalo cheese AND cheese production AND NOT lactic culture AND NOT antioxidant AND buffalo milk	6	103	0	0	0
	TOTAL		485	88	0	0

Nota: Elaboración propia.

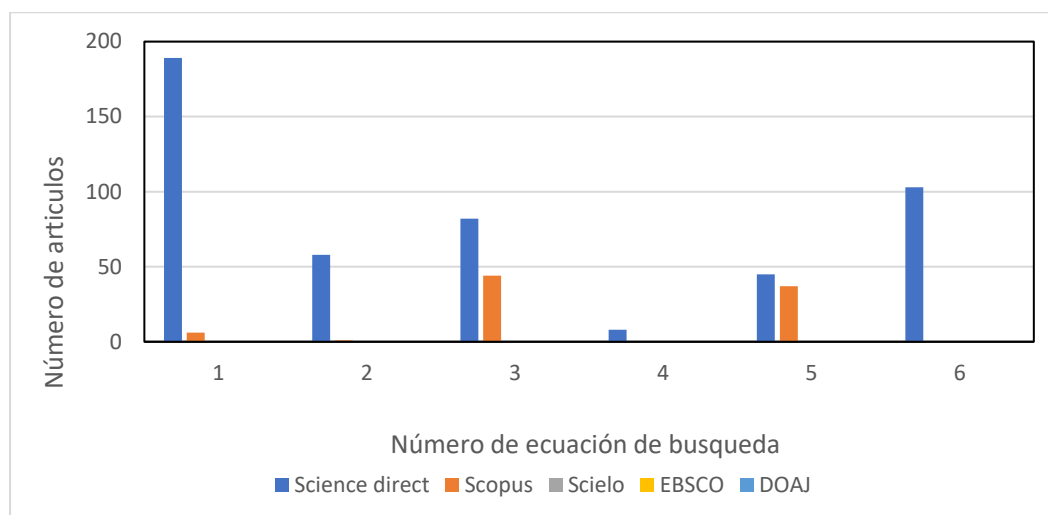
Con respecto a los resultados obtenidos de los filtros por ecuación, se obtiene una distribución bastante marcada por la diferencia positiva que señala tanto science direct como scopus sobre las otras bases de datos. La ecuación 1 equivalente a “Cheese Buffalo AND protein AND Enzymes AND casein AND NOT vegetable AND NOT ripened cheese” obtuvo resultados altos con un valor de 189 artículos en Science Direct y la misma ecuación para Scopus obtuvo un valor mucho mas bajo con 6 artículos resultantes de la búsqueda planteada, este patrón y comportamiento en los resultados de la búsqueda para las demás ecuaciones fue muy similar, donde siempre estuvo por encima Science Direct en los artículos obtenidos por ecuación, seguido de Scopus con un valor mas bajo pero con resultados nutritivos para el desarrollo de la investigación, por otro lado, las ecuaciones utilizadas no tuvieron resultados en las bases de datos DOAJ, Scielo y EBSCO, como se puede identificar en la Figura 1.

Posterior a la búsqueda, se determina y se entiende que las bases de datos que no tuvieron resultados con artículos no serán tenidos en cuenta, ya que por este método no funcionaron en su búsqueda, sin embargo, si se llegase a necesitar alguna investigación

adicional se podría contemplar una con carácter de información mas nacional como Scielo y sin esa alta rigurosidad en los filtros.

Figura 1

Artículos obtenidos por cada ecuación de búsqueda en cada base de datos.

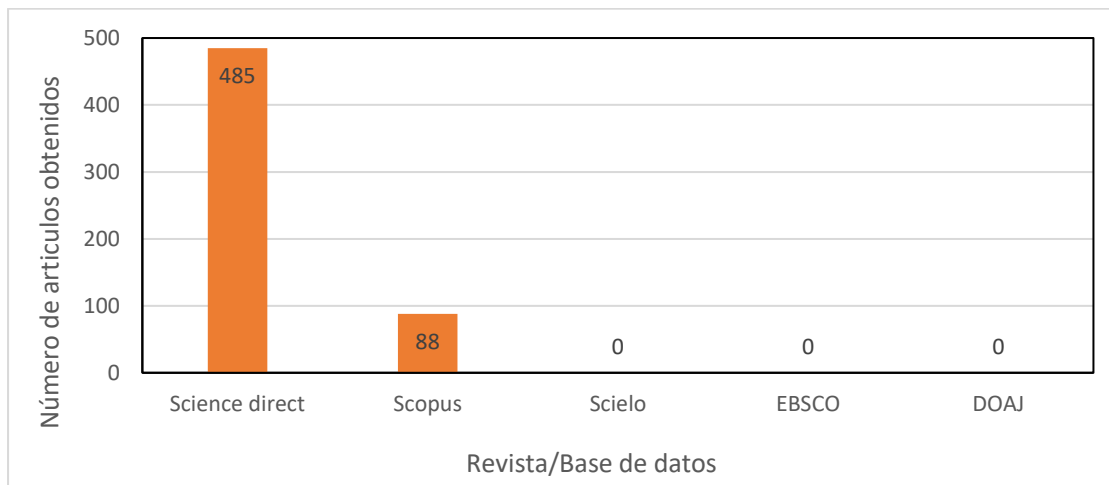


Nota: Elaboración propia.

Dicho esto, se completa el análisis de los artículos obtenidos para estas dos bases de datos, donde Science Direct tiene de 573 artículos encontrados un total de 485, lo que equivale a un 84,6% de los resultados, por su parte Scopus obtuvo 88 artículos encontrados, equivalentes al 15,4% restante. Con estos artículos obtenidos se continuo con un proceso de análisis y lectura para determinar su eficiencia y participación en la temática investigada en la monografía, pero que en términos generales parten como insumo inicial para el desarrollo de la misma. En la Figura 2 se enseñan los resultados generales.

Figura 2

Artículos totales hallados en las bases de datos estudiadas.



Nota: Elaboración propia.

Luego de alcanzar este número de artículos tanto de Science Direct como de Scopus, se analizó sus totales en cuanto al comportamiento en artículos publicados por año, para percibir el crecimiento, estabilidad o poco aporte del tema en los últimos 10 años, desde el 2014 hasta el 2024, tal y como se enseña en la tabla 3 y la tabla 4.

Tabla 3*Comportamiento de los resultados del 2014 al 2024 en Science Direct.*

Número de ecuación	Resultados de ecuación por año										
	Science direct										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	8	8	8	15	15	21	10	24	32	23	25
2	1	4	2	3	6	4	5	3	11	13	6
3	3	4	8	7	4	10	5	6	14	9	12
4	0	0	0	0	2	0	1	0	1	1	3
5	2	2	2	3	3	4	3	5	8	8	5
6	9	7	5	10	7	9	8	14	11	10	13
TOTAL	23	25	25	38	37	48	32	52	77	64	64

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4*Comportamiento de los resultados del 2014 al 2024 en Scopus.*

Número de ecuación	Resultados de ecuación por año										
	Scopus										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	1
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	2	5	4	1	6	5	4	3	4	5
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	3	2	1	2	5	3	4	8	4	4

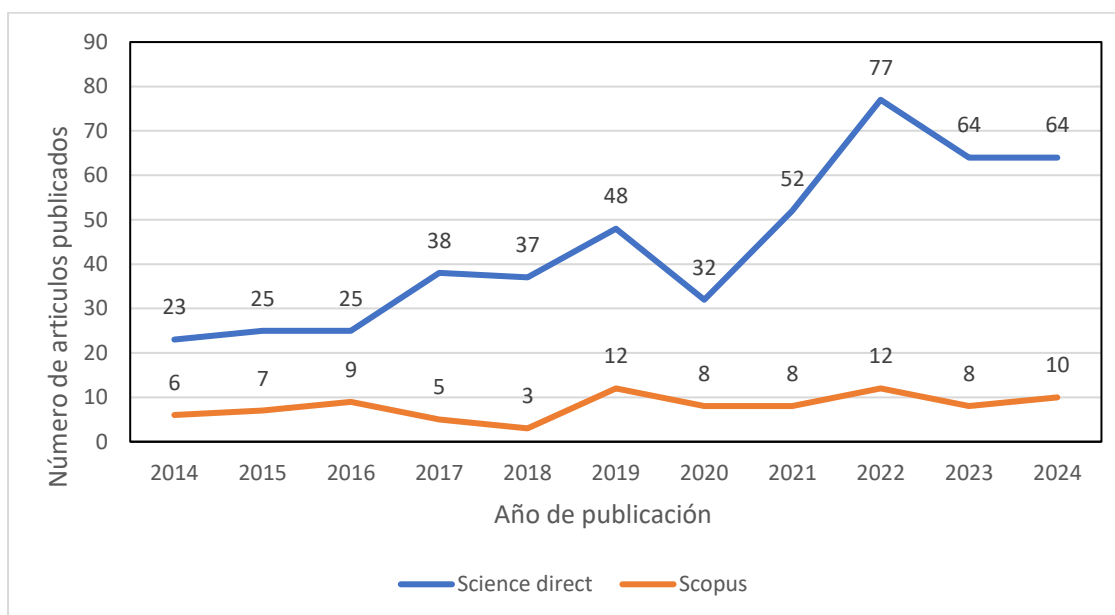
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6	7	9	5	3	12	8	8	12	8	10

Nota: Elaboración propia.

El producto total de los artículos obtenidos indica un comportamiento creciente para Science Direct y constante para Scopus en los últimos 10 años, como se evidencia en la Figura 3.

Figura 3

Comportamiento de publicación de artículos desde 2014 hasta 2024 de Science Direct y Scopus sobre el tema de la monografía.



Nota: Elaboración propia.

En general, Scopus ha mantenido una cierta estabilidad en cuanto a la cantidad de publicaciones acordes a las ecuaciones de búsqueda sobre queso de búfala, coagulantes de origen animal y microbiano, leche de búfala y temas similares. Aunque ha presentado un flujo constante de publicaciones, a partir del 2019 se observó un ligero aumento en su producción científica.

Por otra parte, Science Direct ha mostrado un incremento sostenido en la cantidad de publicaciones sobre estos temas con el paso de los años, lo que indica un interés en investigar este sector. Situación coherente con la relevancia nutricional, sensorial y de calidad que ofrecen los productos derivados de la leche de búfala. Aunque en 2020 se observó una leve disminución en el número de artículos publicados en Science Direct, dicha base de datos continuó superando a Scopus en volumen de publicaciones. A partir de ese año, hubo un crecimiento exponencial, lo que sugiere que, tras la pandemia, la investigación en este campo experimentó un auge, posiblemente debido a la apertura de nuevas oportunidades para estudiar la leche de búfala y sus derivados.

Conviene resaltar que el número total de artículos obtenidos es reducido a un total de 117 que se adaptan al desarrollo de la monografía como tal, ya que de los 573 existían muchos que no aportaban al tema para su análisis aunque incluyeran palabras claves, se alejaban del objetivo, por ejemplo se hablaba de leche de búfala pero en otros productos lácteos como fermentados o procesos químicos diferentes al de producción de queso y uso de coagulantes animal y microbiano, por ende, se redujo mediante un análisis exhaustivo la cantidad de artículos que se aplicaran al tema en cuestión. Es importante mencionar también que, adicional a estas 117 fuentes o artículos, se cuenta con alrededor de 35 o 40 más que han sido utilizadas desde el planteamiento del problema, justificación y marco teórico del documento para entender el contexto, el estado del arte y las necesidades de la investigación, donde esto nos arroja un aproximado total de artículos utilizados de 150 o 160, allí se utilizaron diferentes bases de datos como Scielo con palabras más simplificadas simulando las ecuaciones de búsqueda y en español.

Por último, para seleccionar los 117 artículos se utilizó una combinación de criterios de búsqueda teniendo en cuenta la relevancia en la temática dentro de cada artículo haciendo uso de palabras claves, tales como "cuajo animal", "cuajo microbiano", "queso de búfala",

"coagulación", "propiedades sensoriales", "composición química". Otro criterio a tener en cuenta fue el objeto de estudio, en este punto la búsqueda se centro en que el objetivo principal del artículo se refirieran a los efectos del cuajo y en las características del queso de búfala. También se tuvo en cuenta el enfoque del diseño experimental y se seleccionaron artículos donde se priorizaran los estudios que se dedicaron a comparar los efectos de diferentes tipos de cuajo.

Leche de Búfala

Figura 4

Fotografía búfala



Nota: Fotografía propia.

Concepto de Leche de Búfala

La leche es un alimento energético de origen animal, rico en ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales, aminoácidos y oligosacáridos (Costa et al., 2019). Como lo afirma también (Warakaulle et al., 2024) la leche es una emulsión compleja y heterogénea de proteínas, lactosa, glóbulos de grasa, minerales y otros componentes menores. La leche es el resultado de la secreción de la glándula mamaria de los mamíferos, utilizada normalmente en la industria láctea (Sigcha, 2021), es una de las alternativas que brinda la crianza de búfalos y que la hace superior a la bovina por su composición fisicoquímica y sensorial muy propia y que a pesar de tener mayor contenido de sólidos grasos, los contenidos de fosfolípidos y de colesterol de la leche de búfala son más bajos que los de vaca (Guerra, 2011).

Biosíntesis de la Leche

Poco antes del parto, la leche es secretada hacia la ubre en preparación para el que va a nacer. Al parto, el fluido de la glándula mamaria conocido como calostro es secretado. Este líquido amarillento y de sabor salobre tiene un alto contenido de proteínas séricas y provee los anticuerpos para ayudar a proteger al recién nacido hasta que su sistema inmune se establezca (Troncoso, 2014).

Los precursores de los componentes de la leche provienen del torrente sanguíneo y penetran al líquido extracelular entre los capilares y las células epiteliales de la glándula mamaria. Los precursores, entonces, son captados del fluido extracelular a través de la membrana basolateral de la célula epitelial. Una vez dentro de la célula, los precursores entran a la vía sintética adecuada. Se ha estimado que la producción de un litro de leche requiere de 500 litros de sangre moviéndose a través de la glándula mamaria para proveer los precursores necesarios. (Troncoso, 2014).

Los factores que afectan la variación de los RCS (Recuento Celular Somático) entre hatos incluyen malas prácticas de manejo durante el ordeño como son: la desinfección y secado de los pezones antes y después del ordeño, así como la duración del tratamiento de mastitis clínica. Uno de los factores de relevancia se considera el equipo de ordeño, por el continuo contacto con los animales y el mal manejo de estos al momento de llevar a cabo los procesos de ordeño bien sea en forma manual o mecánica, en sala o en potrero, ha permitido la persistencia de agentes patógenos los cuales causan mayores agresiones en el tejido mamario detrimento de la producción de leche.

El funcionamiento del equipo de ordeño es de suma importancia ya que se debe prevenir que este cause daños a los pezones, reducir el contagio con agentes patógenos

responsables de mastitis y en cuanto a los materiales que se utilicen en la práctica, el mal estado o el diseño de las instalaciones puede causar lesiones en la glándula mamaria.

Composición Nutricional

La “leche de búfalo, considerada la segunda fuente mundial más grande de productos lácteos” (Nguyen et al., 2015), tiene un mayor contenido de grasa, proteína cruda, lactosa, sólidos totales, vitaminas y minerales, en comparación con la leche de vaca (Ver Tabla 5), que la convierten en un ingrediente adecuado para la fabricación de una amplia variedad de productos lácteos, tales como queso, y una opción atractiva para el consumo (Clemente, G. 2014; Emakpor et al., 2024). De acuerdo con Zhao et al., (2023), la leche de búfala contiene entre 4,06–4,46% de proteínas de alta calidad, que es más alto que la leche de vaca (3,2% en promedio). Además, se ha demostrado que las proteínas de la leche de búfalo y sus hidrolizados ejercen funciones que promueven la salud, como actividades antioxidantes y de protección ósea. (Zhao et al., 2023). Así mismo, la leche de otras especies distintas a la bovina puede ser interesante para las personas alérgicas a la proteína de la leche de vaca. (Lima de Paula et al., 2021).

Tabla 5

Composición química de muestras de leche de búfala mediterránea a granel y por especie.

Composición química de muestras de leche de búfala mediterránea a granel						Por especie general		
Rasgo	n	Significar	SD	Mínimo	Máximo	Composición (%)	Búfala	Vaca
Grasa	1,143	7,94	0,63	5,93	9,92	Humedad	83,00	88,00
Proteína	1,138	4,52	0,23	3,78	5,2	Grasa	8,16	3,68
Caseína	1,144	3,76	0,23	3,04	4,42	Proteínas	4,50	3,70
Lactosa	1,154	4,8	0,17	3,89	6,1	Cenizas	0,70	0,70
Ácido cítrico	1,261	0,13	0,02	0,08	0,2	Extracto seco total	17,00	12,00
pH	1,141	6,77	0,11	6,43	7,08	Vitamina A	204,30	185,50

Nota: (Manuelian et al., 2020; Saez, s.f)

La leche de búfala es nutricionalmente superior en comparación con la leche de vaca, ya que posee un mayor contenido de caseína, fosfato inorgánico y calcio, lo que conduce a un valor de pKa más alto (pH 5,32) en comparación con la leche de vaca (pH 4,90) (Deshmukh et al., 2024). Según Basilicata et al., (2018), afirma que la leche de búfala tiene un contenido superior de sólidos totales, grasa (7 a 8%) y proteínas (4,2 a 4,5%), en comparación con la leche de vaca, que presenta un contenido promedio de grasa y proteína de 3,9% y 3,2%, respectivamente.

Además, la leche de búfala también contiene menos colesterol, más tocoferoles y vitamina A que la leche de vaca. También es rica en ácidos grasos monoinsaturados con 2,043%, de los cuales el ácido oleico representa el 1,880%. En cuanto a los ácidos grasos

poliinsaturados, se encuentran los ácidos grasos linolénico (0,027%) y linoleico (0,040%). En cuanto a minerales, la leche de búfala tiene calcio (1.116 mg/kg), fósforo (635 mg/kg) y magnesio (66 mg/kg) (Ocampo et al, 2016). Además, la leche de búfala contiene 8 de los 9 aminoácidos esenciales: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, con contenidos de 2,26 g, 5,02 g, 4,40 g, 8,22 g, 2,16 g, 5,16 g, 3,95 g y 5,44 g AA 100 g⁻¹ proteína, respectivamente (Cruz, 2022). Para la lactosa, el principal azúcar de la leche, se han hallado valores de 4,83% a 5,48% y los valores de los sólidos totales encontrados en la literatura están entre 15,75 y 18,99 % (Sáez, s.f).

Características Fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas y organolépticas de la leche de búfalo facilitan su identificación: presenta un sabor peculiar, levemente endulzado y color blanco, debido a la ausencia casi total de carotenos en su grasa.

La característica física de la leche de búfala que mayor variabilidad presenta es la acidez titulable, lo cual se debe a que las diferentes etapas de lactación la afectan, incrementándola a medida que avanza el ciclo productivo. Esta elevada acidez titulable, en comparación con la leche bovina se debe a que la bufalina tiene mayor cantidad de caseína. De acuerdo con diferentes estudios, la acidez titulable normal de la leche bufalina oscila entre los 0,157 % y 0,223 % de ácido láctico, dependiendo de la raza, superando los considerados normales para la leche de vaca (0,13 a 0,17 %). Si son utilizados los valores de la leche bovina para juzgar la de búfala, debería ser rechazada por considerarse ácida.

En la tabla 6 se puede observar los resultados de un análisis fisicoquímico de la leche fresca de búfala.

Tabla 6

Resultado de análisis fisicoquímicos de la leche fresca de búfalo.

Tipo de análisis	Resultados	Requisito leche bovina
TRAM (Horas)	4±0,0	>3
Neutralizantes (Prueba de alizarina)	Negativo	Negativo
Acidez (% de ácido láctico)	0,18±0,01	0,13-0,17
Grasa (%)	10,09	3
Lactosa (%)	4,87±0,04	4-5
Sólidos totales (%)	8,72±0,06	Mínimo 8,3
Proteínas (%)	3,19±0,03	Mínimo 2,9
Agua adicionada (%)	0±0,0	0
Índice crioscópico (°C)	-0,62±0,04	-0,53-0,51
pH	6,65±0,01	6,5-6,8

Nota: (Clemente, G. 2014)

Microbiología de la Leche Cruda

Dentro de su sistema de producción la leche de búfala requiere cuidados especiales para garantizar la calidad del producto final y evitar adulteraciones. Como lo expresa (Genis et al., 2020), la principal motivación de la adulteración suele ser económica, pero su impacto real se traduce en problemas de seguridad alimentaria, protección de los alimentos y salud pública. Además, “la práctica de adulteración permite que varias enzimas proteolíticas y lipolíticas, producidas por bacterias psicrótroficas, induzcan una coagulación no deseada de las proteínas de la leche y la producción de compuestos orgánicos no deseados, afectando la textura y el sabor final” (Arena et al., 2016).

A lo largo de los años, se han desarrollado varios métodos analíticos para evaluar la autenticidad de la leche y garantizar un sistema de producción adecuado para este producto y sus derivados. Según Anusha-Siddiqui et al., 2024. Para garantizar la calidad de los productos lácteos, es fundamental analizar en detalle la composición proteica de la leche. Esta información resulta crucial para el diseño de procesos de producción óptimos y para establecer controles de calidad rigurosos. Existen numerosas técnicas analíticas disponibles para estudiar las proteínas de la leche, como la espectroscopia, la cromatografía y la electroforesis, cada una con sus propias ventajas y aplicaciones. Por otro lado, las empresas lácteas deben priorizar la seguridad alimentaria, implementando medidas que garanticen la inocuidad de sus productos y comunicando de manera clara los beneficios de estas prácticas al consumidor (Khan et al., 2024).

Es importante también que, independientemente del origen de la leche, esta sea tratada térmicamente cuando se consume en estado líquido, con el fin de eliminar bacterias patógenas, reducir o eliminar los microorganismos responsables de la descomposición y desactivar enzimas autóctonas, lo que prolonga así su vida útil (Mejares et al., 2022). Como indica Coolbear et al. (2022), "la conservación de la mayor cantidad posible de las cualidades nutricionales de la leche depende de la reducción de la amenaza microbiana". Esto es crucial, ya que la leche en su estado natural es altamente perecedera debido al rápido deterioro causado por enzimas naturales y microorganismos contaminantes. Por lo tanto, es esencial mantener buenas prácticas de higiene desde la granja hasta la industria láctea (Verma et al., 2017).

Para garantizar la calidad de la leche, es fundamental establecer parámetros microbiológicos que aseguren su inocuidad y aptitud para el consumo humano. Estos parámetros incluyen el conteo total de bacterias, la detección de patógenos específicos como *Salmonella* y *Bacillus cereus*, y el recuento de bacterias indicadores de contaminación, como

enterobacterias. La leche debe cumplir con los estándares microbiológicos establecidos por organismos reguladores (Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. Ministerio de Salud y Protección Social – MSPS. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA. Entidades Territoriales de Salud), lo que asegura no solo su calidad, sino también la protección de la salud pública. La monitorización regular de estos parámetros es crucial para mantener la integridad del producto a lo largo de su cadena de producción y distribución. En la tabla 7, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la leche búfala.

Tabla 7

Análisis microbiológico de la leche fresca de búfalo.

Parámetros	Resultado	Requisito
Aerobios mesófilos (UFC/g)	10000	<50000
Coliformes totales (UFC/g)	20	<93
Coliformes fecales (UFC/g)	<3	<3
Mohos y levaduras (UFC/g)	<100	<200
<i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa (+)	<100	200
Esporas de clostridios sulfito reductores	<100	<500
<i>Bacillus cereus</i>	<100	<10*4
<i>Salmonella spp.</i>	Negativa	Negativa

Nota: (Clemente, G. 2014).

Comparación Económica y Nutricional de la Leche de Búfala Frente a la Leche de Vaca

El ahorro en costos de materia prima al utilizar leche de búfala varía entre el 20% y el 40% en comparación con la leche de vaca, dependiendo del producto elaborado (Reina, 2021). Además, como también menciona Reina (2021), la leche de búfala aporta entre un

30% y un 40% más de calorías que la leche de vaca y contiene entre un 17% y un 24% menos de colesterol. Según Gu et al. (2020), la producción y composición de la leche son factores de gran relevancia económica para la industria láctea, ya que la leche de búfala se utiliza principalmente para la producción de queso mozzarella. En cuanto a la comparación de precios, "la leche de búfala es económicamente atractiva para la elaboración de productos lácteos especializados, como el queso mozzarella" (Lázaro et al., 2021).

Producción de Leche de Búfala en el Mundo y en Colombia

El 83 por ciento de la producción lechera mundial la aporta el ganado vacuno, seguido por los búfalos con el 13%. En Colombia, las búfalas producen cerca de 624.000 litros de leche al día, es decir, el 3.4% de la producción diaria bovina en el país, que corresponde a 18.4 millones de litros leche diarios (Sáez, s.f).

Colombia, según el Censo Pecuario, cuenta con una población bufalina de 563372 animales distribuidos en 3708 predios, con el 87% se concentra principalmente en los departamentos de Córdoba (12%), Bolívar (11%), Arauca (11%), Santander (10%), Meta (9%), Magdalena (8%), Sucre (7%), Cundinamarca (7%), Casanare (6%) y Antioquia (6%) (ICA, 2024).

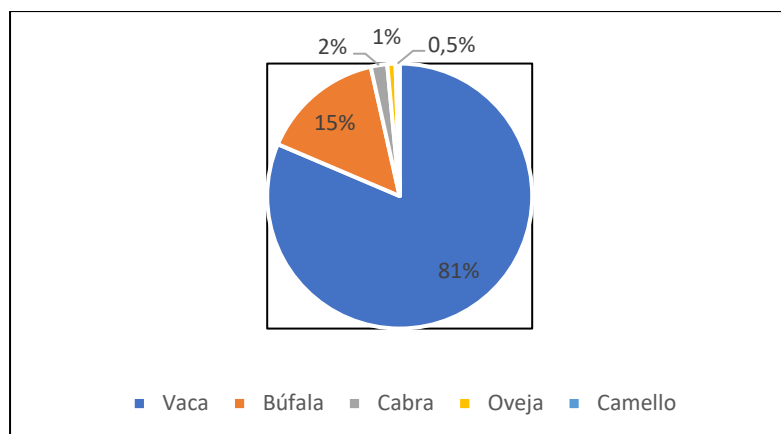
Por ello, "la importancia y el uso de la leche no bovina está creciendo a nivel mundial no sólo para satisfacer la demanda, sino también para impactar a nivel cultural y ecológico" (Sarkar, 2024). Explorar otro tipo de leche, como la de búfala, se está convirtiendo en una mejor opción ya que esta, es reconocida por su alto valor nutricional y ha ganado relevancia en la industria láctea global y en Colombia. Su producción ha ido en aumento, presentando una oportunidad para diversificar la oferta de productos lácteos y explorar nuevas alternativas, a esto se suma que "la mayor parte de la leche producida en Colombia (82,7%)

se utiliza para el consumo en fresco, la transformación en queso o derivados de la leche o se procesa principalmente en las industrias lácteas (63,9%)” (Barragán, 2019).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura informó que los cinco principales tipos de leche producido en el mundo son la leche de vaca (81%), la leche de búfala (15%), la leche de cabra (2%), la leche de oveja (1%) y la leche de camello (0,5%) (Zhang et al., 2024). Ver **Figura 5**.

Figura 5

Producción mundial de leche fresca.



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con Stocco et al., (2016) la producción de leche de búfala (*Bubalus bubalis*) es habitual en muchas partes del mundo, representando alrededor del 13% de la producción mundial de leche, en segundo lugar, después de la leche de vaca.

Es preciso afirmar que el consumo de productos lácteos está en aumento. Así lo afirma (Wittwer et al., 2023) cuando dice que, en 2020, se produjeron casi 906 millones de toneladas de leche de vaca, búfala, cabra, oveja y camello en todo el mundo, un aumento del 2,0 % con respecto a 2019. Este incremento se debe a una combinación de factores que

resaltan las cualidades de la leche, especialmente la de búfala, y a las tendencias actuales en el mercado.

Subproductos que se Pueden Obtener a Partir de la Leche de Búfala

Se considera que las proteínas lácteas tienen una calidad nutricional superior a la de la mayoría de los cereales y otras proteínas de origen vegetal, esta ventaja nutricional otorga a las proteínas de la leche un lugar importante en la dieta humana en forma de una amplia variedad de leches y productos lácteos (Bhat, 2021). Además, “La leche de búfala tiene un mayor contenido en proteínas, especialmente de caseínas, que la de vaca”. (Abdel, 2017). Por ello, “la producción internacional de productos lácteos se está desplazando cada vez más hacia el búfalo doméstico como fuente sustitutiva” (Emakpor et al., 2024). Por lo que esta leche “se puede consumir cruda o utilizar para elaborar productos de primera calidad como queso, yogur, helado y otros productos lácteos tradicionales” (Emakpor et al., 2024).

Las leches alternativas a la de vaca se han posicionado como una fuente versátil para la producción de productos lácteos (Koirala et al., 2024). Además del ganado vacuno, muchos otros tipos de ganado, como el búfalo, la cabra y el camello, proporcionan leche que se puede transformar en una variedad de productos lácteos. Sin embargo, solo la leche de búfalo tiene una contribución global sustancial (Mejares et al., 2022).

Consumo de Leche de Búfala y sus Derivados

El consumo de leche y sus derivados lácteos han sido durante siglos fundamentales en la alimentación humana. Su riqueza en diferentes nutrientes esenciales ha posicionado estos productos como alimentos fundamentales para el desarrollo óseo y muscular. Por ello, “durante mucho tiempo, los productos lácteos, especialmente la leche, han sido valorados por su abundancia de nutrientes y beneficios para la salud. Numerosas culturas consideran que la leche es el alimento perfecto porque contiene una amplia gama de elementos vitales que

promueven la salud general” (Alam et al., 2024). Según Barrero et al., (2021) la sustitución de la leche en la dieta se ha visto limitada a causa del desafío que representa hallar una bebida que provea la amplia gama de nutrientes que esta ofrece. Esto se debe a que “la leche y los productos lácteos son parte integral de la nutrición humana y se consideran portadores de proteínas de alto valor biológico, calcio, ácidos grasos esenciales, aminoácidos, grasas, vitaminas solubles en agua y varios compuestos bioactivos que son muy importantes para varias funciones bioquímicas y fisiológicas” (Khan et al., 2019). Así mismo, Abdel-Hamid et al., (2017) afirman que las proteínas de la leche no solo son una fuente de aminoácidos esenciales, sino también una fuente importante de péptidos biológicamente activos con diferentes beneficios para la salud. Los beneficios de los péptidos derivados de la proteína de la leche incluyen efectos inhibidores y antihipertensivos de la ECA, así como actividades antioxidantes e inmunomoduladores, que pueden influir en la salud vascular. Esto se debe a que “los péptidos bioactivos con acciones bioquímicas específicas, como las acciones antimicrobianas, antioxidantes, anticancerígenas, antihipertensivas e inmunomoduladoras, son objeto de muchas investigaciones en alimentos” (Fontenele et al., 2017).

En general, la leche es una suspensión de diferentes nutrientes entre los cuales se encuentran proteínas, grasas, azúcares, vitaminas y minerales. La fracción sólida de la leche (nutrientes grasos y no grasos) corresponde a un valor alrededor de 15 %, dentro del cual las proteínas representan un valor mayor al 3 % de los sólidos no grasos (Barrero et al., 2021). Como sostiene Zhao et al, (2020), las proteínas de la leche son actualmente la principal fuente de una serie de componentes biológicamente activos que presentan diversas actividades fisiológicas. Las caseínas de la leche son una fuente importante de AMP (Adenosín Monofosfato), y la mayoría de los AMP se derivan de las proteínas alimentarias de la leche.

Conclusiones

Colombia cuenta con un número significativo de búfalas, lo que representa una base sólida para la producción de leche y sus derivados. Sin embargo, este potencial aún no se ha explotado al máximo. Existe un amplio margen de crecimiento en la producción y comercialización de leche de búfala y sus productos derivados, lo que representa una oportunidad para diversificar la producción láctea nacional y agregar valor a la cadena productiva.

Adicionalmente se puede concluir que la leche de búfala posee características únicas que la hacen altamente valorada en el mercado, como un mayor contenido de grasa y proteínas, lo que la convierte en una materia prima ideal para la elaboración de quesos de alta calidad y otros productos lácteos. Además, la crianza de búfalas se adapta bien a diversas condiciones climáticas y geográficas de Colombia, lo que facilita su producción en diferentes regiones del país.

Introducción a la Fabricación de Quesos de Búfala

Historia del Queso

La historia del búfalo se remonta 2.500 años antes de nuestra era. El animal primitivo era originario de la India y del Sur de China. Se cree que su amansamiento viene desde hace 3.000 años a.C. Dada la gran contextura, rusticidad, longevidad y fuerza de estos ejemplares tuvo una rápida expansión en países como Venezuela, Colombia y Brasil (Arboleda, 2013).

Dado esto, cada vez viene tomando más fuerza la comercialización de estos productos, donde “actualmente las principales variedades de quesos elaborados a partir de la leche de vaca son industrializadas con leche de búfala” (Arboleda, 2013).

Definición del Queso

El queso es un alimento sólido elaborado a partir de la leche cuajada de vaca, cabra, oveja, búfala u otros mamíferos, que se tiene de la coagulación de esta, seguida del desuerado, en el curso del cual se separa el suero lácteo de la cuajada (González, 2019). También se define como un producto nutritivo y delicioso que contiene proteínas, grasas, vitaminas y minerales, además del consumo directo, se utiliza ampliamente para mejorar las propiedades sensoriales y texturales de los alimentos (Akarca et al., 2023). El queso es uno de los alimentos derivados de la leche fermentada que se caracteriza por su gran variedad de sabores, texturas y aromas.(Khattab et al., 2019).

El queso es un tipo de alimento elaborado a base de leche fermentada, que presenta una gran variedad de tipos, sabores y formas en todo el mundo. Cada región da forma a sus productos de acuerdo con su cultura y recursos (Khattab et al., 2019). En palabras de Bittante et al., (2024), el queso se fabrica a partir de leche de diferentes especies animales, después de la coagulación y, en muchos casos, la maduración.

Variedades de Queso de Búfala

Figura 6

Queso de búfala producido en Córdoba.



Nota: Romero, 2024.

Si bien Italia es, probablemente, uno de los lugares más asociados con este tipo de queso, donde la Mozzarella di Búfala Campana es una variedad particularmente famosa y apreciada, el queso de búfala también tiene una larga historia en otras partes del mundo. Canadá, Estados Unidos, Belice, Costa Rica, Guatemala, Venezuela, Colombia, Brasil y Argentina son países que en los últimos diez años han incursionado cada vez más en este mercado, siguiendo el ejemplo de naciones como India (Soledad, 2024).

La Mozzarella di Búfala Campana es conocida por su sabor fresco y suave, su color blanco porcelana y su textura cremosa y elástica. El Accasciato, un queso suave y cremoso de aroma dulce y textura firme, que combina leche de vaca fresca con leche de búfala. Otro

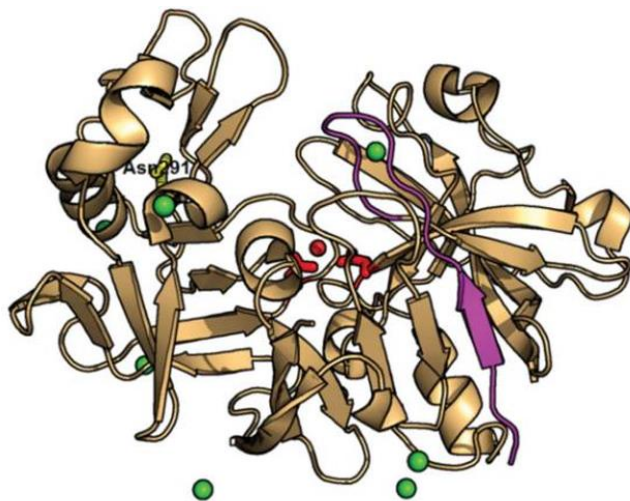
reconocido queso italiano es el Barilotto, de sabor más fuerte y misma textura firme, que se produce tras calentar el suero de leche de búfala obtenido al elaborar la mozzarella. También podemos encontrar el queso Blu di Búfala. Un queso italiano con tonos azules, hecho con leche pasteurizada de búfala. Su textura puede ir desde lo cremoso hasta llegar a desmenuzarse, su aroma es algo más ácido y su sabor algo más intenso y dulce. Los Bocconcini, quesos pequeños, semi blandos y suaves, sin madurar y sin corteza. Para acompañar ensaladas o frutas frescas, otra gran opción es el queso Bufarolo. Una variedad de queso fresco italiano, elaborado con leche de búfala pasteurizada. Luego encontramos el queso Bufalino, un producto cremoso y blando, que combina queso ricotta, queso cacio búfala y sal. La Burrata destaca como variedad de queso fresco italiano, cuyo exterior está hecho de pasta hilada de búfala o mozzarella de leche de vaca y en su interior se rellena de una mezcla suave de cuajada y crema fresca. El Caprese di Búfala es, por su parte, la opción clásica, pero especial, que no falla. Un queso suave de búfala, tratado con aceite de oliva y orégano, que aportan frescura, delicadeza y su característico regusto aromático. (Soledad, 2024).

Procedimiento de Elaboración

El primer paso en la fabricación de la mayoría de los quesos es la hidrólisis enzimática de la kappa caseína. Este proceso se realiza en presencia de la enzima quimosina o rennina, la cual, en la primera etapa, rompe la kappa caseína en los aminoácidos fenilalanina 105 y metionina 106, ocasionando la reducción del total de la carga negativa y la repulsión estérica, lo que hace que las micelas sean susceptibles a la agregación (Guevara et al., 2014). El principal objetivo de la quimosina es el enlace peptídico Phe105-Met106 de la fracción κ -CN, cuya escisión determina la coagulación de la leche y la formación de la cuajada (Petrella et al., 2015).

Figura 7

Estructura tridimensional de la quimosina bovina.



Glicosilación, en amarillo. Extremo-N, en magenta. Sitios activos y molécula de agua activada, en rojo. Iones de cloro usados en la cristalización, en verde.

Nota: Moran, 2017.

La caseína es una fosfoproteína producida por cuatro genes que codifican las caseínas α s1, α s2, β y κ , las cuales se organizan en forma de micelas o unidades solubles. Las caseínas tienen un alto contenido de aminoácidos esenciales que se separan de la parte acuosa por la acción de enzimas como la quimosina (Guevara et al., 2014). Es de tener en cuenta que “las caseínas de la leche de búfala, en particular las β -caseínas, son un buen sustrato para la liberación de péptidos con actividad inhibidora de la ECA, actividad antioxidante, así como actividades opioides, de unión de minerales y antimicrobianas”. (Abdel-Hamid et al., 2017).

La kappa caseína constituye aproximadamente el 12% de la proteína caseína. Estabiliza las caseínas sensibles al calcio contra la precipitación, desempeña un papel importante en la determinación del tamaño de las micelas de caseína y en la escisión por la quimosina, e inicia la agregación de micelas, lo que da lugar a la producción de cuajada y queso (Kishore et al., 2014). Según los argumentos de Panthi et al., (2019) en los sistemas de leche con cuajo, las micelas individuales de caseína floculan después de la pérdida del dominio hidrofílico de la κ -caseína, lo que conduce a la formación de agregados de caseína y,

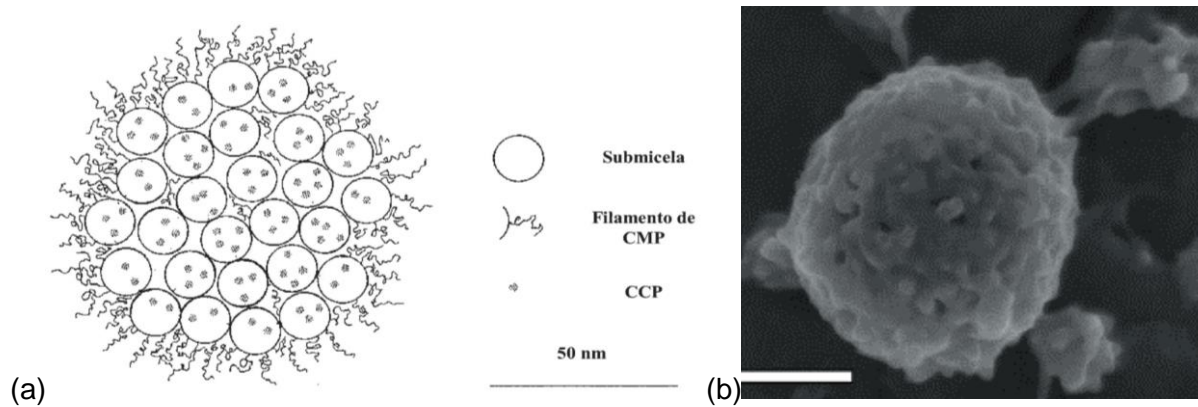
finalmente, a una red de proteínas tridimensional (gel o coágulo). Al alcanzar una firmeza adecuada, el gel se corta, lo que facilita la expulsión del suero de la cuajada.

Otro punto importante para tener en cuenta es que “el fosfato de calcio ayuda a estabilizar las micelas de caseína. Cuando se añade quimosina o una enzima de coagulación a la leche, la hidrólisis específica en el Phe105-Met106 de la κ -caseína conduce a la exposición de su superficie hidrofóbica, facilitando la agregación de la caseína y la formación de coágulos” (Pacífico et al., 2024). El inicio de la gelificación es el punto en el que casi toda la κ -caseína se ha escindido, la estructura del cuajado comienza a desarrollarse y la firmeza del cuajado aumenta.

Durante las primeras etapas de la formación de la cuajada, se forman hebras lineales de micelas de caseína fusionadas. Estas hebras se agregan en grupos visibles de micelas de caseína a medida que continúa el proceso, lo que da como resultado la red de gel de cuajo. El aumento de la concentración de caseína influye en el comportamiento reológico, incluido el aumento de las tasas de reafirmación y la firmeza del cuajado. La leche que contiene micelas de caseína pequeña da como resultados cuajados más firmes con una tasa de reafirmación más rápida del cuajado al cuajo, en comparación con la leche micelas de caseína más grande (Logan et al., 2015). Además, Dadousis et al., (2017) afirma que el Ca es uno de los principales componentes de las micelas de caseína. Durante el proceso del queso, después de la adición de cuajo, la caseína reacciona con los iones Ca y precipita. Este fenómeno constituye la base de la coagulación de la leche. Además, el bajo contenido de Ca total y micelar se ha asociado con leche no coagulante.

Figura 8

Modelos de subunidades de la micela de caseína.



(a) propuesto por Walstra (1999) y (b) Micrografía electrónica de una micela de caseína según Dalgleish et al. (2004).

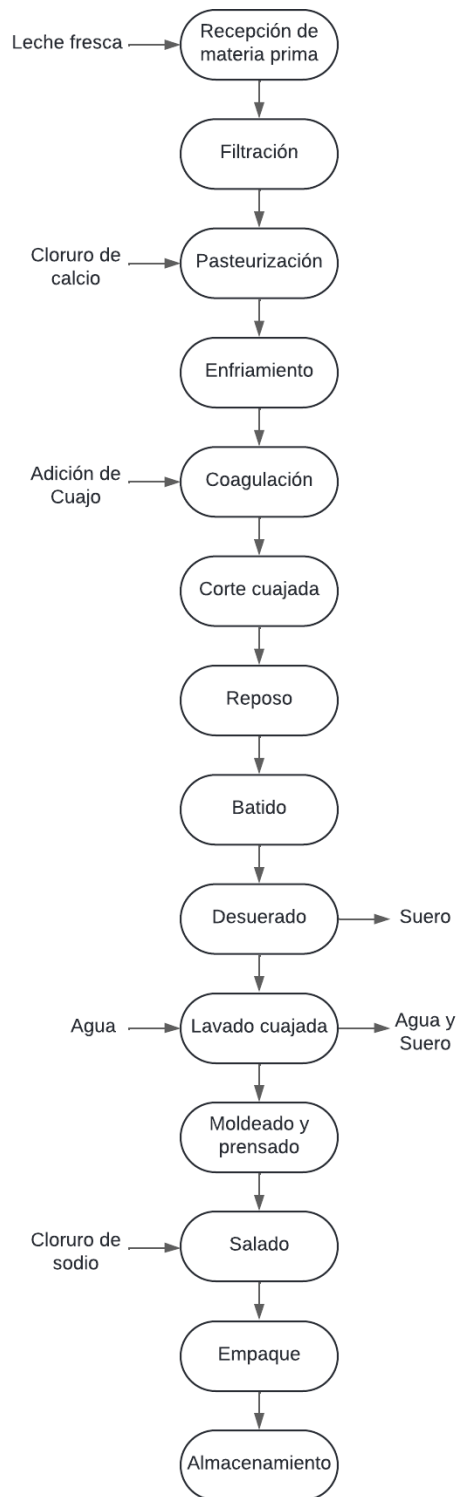
Nota: Tomado de Ferrandini et al (2008).

Operaciones Básicas del Proceso

Un proceso básico para la elaboración de queso contiene las siguientes etapas o procesos donde se incluyen operaciones unitarias: Una etapa de recepción de leche, análisis de calidad, estandarización de la leche de acuerdo con el producto, pasteurización y adición de calcio para reponer los iones perdidos por la etapa de tratamiento térmico, maduración con la adición de fermentos si es necesario o este caso se omite si es un queso sin cultivos, coagulación de la leche, tratamiento de la cuajada con el corte y la cocción, moldeado, prensado, salazón, una nueva maduración si el tipo de queso lo requiere bajo condiciones controladas y un almacenamiento en su presentación comercial para ser despachado a la venta (Ver Figura 9 y tabla 8).

Figura 9

Diagrama de Flujo elaboración de queso fresco.



Nota: Elaboración propia

Tabla 8

Condiciones de elaboración y formulación para queso mozzarella con leche de búfala.

Tratamiento térmico de pasteurización	72°C por 20 segundos
Acidez de la leche	18°D
Temperatura de coagulación	36°C
Fuerza del cuajo (IMCU)	220
% Quimosina en el cuajo	Min. 95
Dosis (ml/100L de leche)	18
Tiempo de coagulación	25 min
pH cuajada antes de hilado	4,8
Temperatura del agua para hilado	92°C
Modo de formado y moldeo	Manual
Temperatura agua para endurecimiento	18°C
Contenido de NaCl% salmuera	4
Acidez salmuera °SH	6,5
Temperatura salmuera	16,5
Tiempo de queso en salmuera (150 g queso)	60 min

Nota: Levante et al, 2023.

Equipos Utilizados para el Proceso de Elaboración de Quesos de Búfala

Para el desarrollo de este proceso entonces, se requiere de diferentes equipos los cuales son: descremadora, pasteurizador, tanque de maduración o agitación, marmita o mezclador con cocción, carro prensa, cavas de almacenamiento, empacadora al vacío, tajadora mecánica o hidráulica, esto como algunos de los equipos de mayor participación

según el tipo de queso, sin embargo, se debe tener en cuenta todos los accesorios, utensilios y espacios necesarios para poder ejecutar el proceso de la línea de producción.

Estandarización de la Leche

La leche de quesería debe reunir ciertas condiciones pudiéndose destacar la predisposición para el cuajado o una buena aptitud quesera, es decir la cualidad de ofrecer un medio de cultivo apropiado para el desarrollo de los procesos bioquímicos y fermentativos propios del proceso (Hernandez, 2016). A continuación en la tabla 9 se detalla la determinación del análisis fisicoquímico de la leche cruda.

Tabla 9

Metodología para la determinación de análisis fisicoquímico de la leche cruda.

Tipo de análisis	Metodología
Acidez (%)	A.O.A.C 947.05
pH	A.O.A.C 973.41
Punto crioscópico (°mH)	ISO 5764:2009 - IDF 108 AOAC 980.15
Densidad	Manual de métodos fisicoquímicos para el control de calidad de leche y sus derivados
Composicional (%grasa, % proteína, % lactosa y %solidos totales)	AOAC 972.16 - ISO 9622-IDF 141:2013
Prueba de alcohol	NTE INEM 1500 - Manual de métodos fisicoquímicos para el control de calidad de leche y sus derivados
Antibióticos	Delvotest SP (DSM)

Neutralizantes

NTE INEM 1500 - Manual de métodos

fisicoquímicos para el control de calidad de
leche y sus derivados

Nota: (Sáez, s.f.)**Subproductos**

Durante la elaboración del queso, la coagulación de la leche y posterior separación de la cuajada genera un subproducto, llamado lactosuero, cuyas características dependen, en gran medida, del tipo de coagulación (ácida o enzimática). Es el principal residuo resultante de la actividad de las industrias lácteas y tiene una elevada demanda biológica y química de oxígeno, lo que lo hace altamente contaminante. No obstante, el lactosuero retiene una gran parte de los ingredientes de la leche y es una fuente excelente de compuestos bioactivos, siendo un producto de gran interés tanto para la industria alimentaria como para la farmacéutica. Este hecho, unido a la corriente actual que promueve la búsqueda de nuevas alternativas para la revalorización de subproductos agroalimentarios en el contexto de economía circular y sostenible, hace del suero una materia especialmente atractiva para desarrollar iniciativas biotecnológicas orientadas a la producción de nuevos alimentos e ingredientes funcionales (González et al., 2020).

Aunque tradicionalmente se ha considerado un residuo, este líquido lácteo es rico en nutrientes y presenta un gran potencial para su aprovechamiento en diversas aplicaciones, (Gajendragadkar, 2016) enfatiza, el suero de leche también puede definirse como "suero de leche" o "permeado de leche" obtenido después de la coagulación de las proteínas de la leche mediante la adición de ácidos o enzimas proteolíticas como el cuajo. Por lo general, la producción de 1 kg de queso se asocia con la generación de 9 litros de suero líquido se puede clasificar principalmente en dos tipos: suero dulce y suero ácido (agrio). En ambos tipos de suero, el agua es el componente principal que representa el 90-92% de la composición total y

los productos valiosos restantes incluyen lactosa (4-5% p/v), proteínas de suero (0,6-0,8% p/v), lípidos (0,4-0,5% p/v) con otros componentes como minerales, sales presentes en cantidades menores. Del contenido total de sólidos, la lactosa está presente en una proporción importante que asciende al 70-72%, mientras que los minerales y las proteínas de suero constituyen aproximadamente el 12-15% y el 8-10% respectivamente. Adicional “el suero obtenido por la fabricación de queso constituye entre el 70 y el 90% del volumen original de leche y su producción está en constante crecimiento a nivel mundial”. (Masotti et al., 2017). En la tabla 10 se detalla la composición de suero de la leche y en la tabla 11 se puede visualizar un resumen donde se dan a conocer diferentes usos del suero de la leche de búfala.

Tabla 10

Composición del suero dulce y ácido.

Componentes	Suero dulce (% p/v)	Suero ácido (% p/v)
Sólidos totales	6,3-7,0	6,3-7,0
Lactosa	4,6-5,2	4,4-4,6
Proteínas de suero de leche	0,6-1,0	0,6-0,8
Calcio	0,04-0,06	0,12-0,16
Fosfato	0,1-0,3	0,2-0,45
Lactato	0,2	0,64
Cloruro	0,11	0,11

Nota:(Gajendragadkar, 2016)

Tabla 11

Resumen de productos valiosos que se pueden obtener del suero de leche.

Número	Productos	Usos
1	Suero de queso condensado en polvo	Los principales usos son para la alimentación animal y en la preparación de las mezclas con melaza y harina de soja. Cantidades más pequeñas también se utilizan en alimentos humanos como helados, alimentos horneados, pasteles, salsas, etcétera
2	Concentrado de proteína de suero (WPC) en polvo [Contenido de proteína que oscila entre el 20% y el 89%]	Actividad estabilizadora de emulsiones utilizada en helados, bebidas espumosas y otras espumas o emulsiones alimentarias
3	Aislado de proteína de suero de leche (WPI) en polvo [Contenido de proteína de al menos el 90%]	También se utiliza en productos horneados y mezclas para hornear, chocolates, dulces, dulces, blanqueadores de café, suplementos dietéticos, salsas, salsas, pastas, rellenos de pasteles, mayonesa, bebidas deportivas, aderezos para ensaladas, sopas, carnes, etcétera
4	Suero de leche desmineralizado en polvo	Alimentos para bebés y formulaciones infantiles

5	Hidrolizado de proteína de suero de leche (WPH) en polvo	Mezclas de péptidos fácilmente solubles que pueden ser fácilmente asimiladas por microorganismos como <i>Kluyveromyces marxianus</i> . También se puede utilizar como producto alimenticio en la producción de varios tipos de queso
6	Lactosa en polvo y sus derivados	Lactosa en polvo utilizada como excipiente en comprimidos, cápsulas y otras preparaciones farmacéuticas, así como suplemento en leches infantiles. Otros usos incluyen agente de pardeamiento, sustrato de fermentación y jarabes

Nota:(Gajendragadkar, 2016)

Conclusiones

A lo largo de la historia, los métodos de elaboración han evolucionado las técnicas artesanales transmitidas de generación en generación a procesos más industrializados que buscan optimizar la producción y garantizar la calidad. La incorporación de operaciones unitarias precisas, como la pasteurización, la coagulación, el corte de la cuajada, el desuerado y el salado, ha permitido obtener productos más seguros y con características organolépticas más consistentes.

Se puede inferir entonces que la leche de búfala es una materia prima única que confiere al queso características organolépticas especiales, como un sabor más intenso, una textura más cremosa y un mayor contenido de grasa. Su composición química, rica en caseínas y grasas de cadena media, favorece la formación de una pasta más elástica y compacta. Además, la leche de búfala contiene una mayor cantidad de minerales, lo que contribuye a un sabor más complejo y a una mejor conservación del queso. La calidad de la leche de búfala es un factor determinante en la calidad final del queso, por lo que es fundamental garantizar una correcta alimentación y manejo de los animales.

Condiciones de Proceso y Formulación al Utilizar Cuajo Animal o Microbiano

Formulación de Quesos

Las condiciones de proceso y formulación son factores determinantes en la calidad de los quesos de búfala dado que estos factores impactan directamente en las características organolépticas finales del producto. Es por ello que en el proceso de elaboración del queso incluye factores decisivos que determinan la variabilidad de los tipos de queso: leche cruda en lugar de leche tratada térmicamente y uso de iniciadores, temperatura de la leche en la coagulación, tipo y cantidad de coagulante, tamaño de la cuajada rota, proceso de drenaje y prensado (cuajada de lavado, tratamientos térmicos de la cuajada), condiciones de prensado, prácticas de salazón en seco o salmuera, tamaño del queso, condiciones de maduración” (Fresno et al., 2023). Así mismo lo argumenta (Bittante et al., 2024) indicando que los principales factores responsables de la amplia variación en los quesos producidos en todo el mundo son el tipo de leche, los pretratamientos de la leche, los iniciadores microbianos, el método y la intensidad de la acidificación, el agente coagulante y las condiciones de coagulación, la cocción de la cuajada, el corte de la cuajada, la adición de especias y hierbas, el escurrido y prensado de la cuajada, la técnica y el nivel de salazón, la inyección de microbios y mohos o la maduración por frotación, los tratamientos de la corteza y la duración y las condiciones de la maduración, y dicho con palabras de (Shakerian et al., 2016) la producción de queso depende de muchos parámetros, como la composición y la calidad de la leche, los parámetros del proceso como el tiempo, la temperatura, el pH, el tratamiento térmico y la homogeneización de la leche, etcétera, y los materiales complementarios como el cuajo y los fermentos.

Como lo afirma (Franzoi et al., 2022) se sabe que el tiempo de coagulación del cuajo (RCT, min), la firmeza de la cuajada (a 30 mm) y el tiempo de reafirmación de la cuajada (k 20 min) son los más importantes para describir la capacidad de la leche para hacer queso y

según lo que argumenta (Lemes et al., 2016) el tiempo de coagulación de la leche disminuye a medida que aumenta la concentración de enzimas.

Coagulantes y Precipitantes

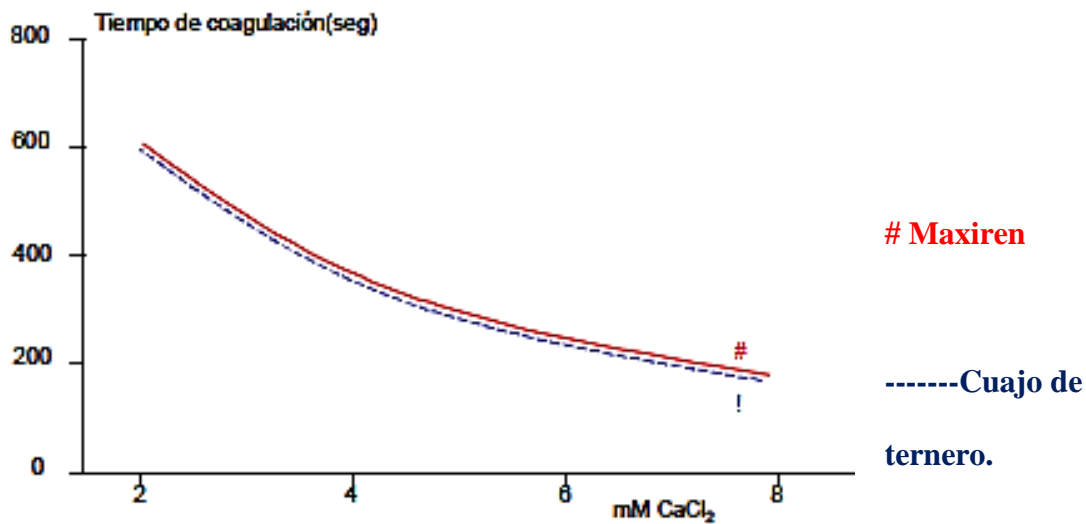
Entendiendo que el cuajo es una enzima que coagula la leche y es un elemento esencial en la elaboración de los quesos, tanto el cuajo animal como el microbiano se utilizan con diferentes propósitos y aportan características únicas al producto final. En la industria láctea, se añaden proteasas a la leche para hidrolizar un enlace peptídico en la κ -caseína, con lo que se alteran las micelas de caseína durante la producción de cuajada para la elaboración de queso. (Abdella et al., 2023). Es por ello por lo que “La caracterización bioquímica de las enzimas es importante para evaluar su potencial biotecnológico. El estudio de las propiedades de la proteasa, como la especificidad del sustrato, las condiciones óptimas de pH catalítico y los perfiles de temperatura y estabilidad, se puede utilizar para predecir la aplicación exitosa de la enzima a industrias o procesos particulares”. (Castro et al., 2014). No obstante “la coagulación o formación de cuajada de la leche en el estómago retrasa la degradación de las proteínas y mejora su asimilación. Las diferencias en la composición total de la proteína (contenido de caseína y proporción de caseína/proteína de suero) y en la estructura de la micela (tamaño, distribución de caseína, mineralización) determinan las propiedades reológicas del cuajo lácteo y, como tales, afectan la absorción de nutrientes de la leche”. (Claeys et al., 2014).

Para coagular la leche destinada a la elaboración de queso se utilizan dos métodos: la acidificación y la adición de cuajo, que dan lugar a dos tipos de cuajada, llamadas ácido y enzimático. Estas cuajadas tienen propiedades y comportamientos muy distintos y las diferencias entre los tipos son la base de la tecnología utilizada para fabricar las distintas variedades de queso y determinan las características individuales de cada una de ellas (Pino,

2014). Adicional se añade cloruro de calcio para favorecer la formación de la cuajada. La cantidad de calcio y fósforo presentes en la leche son importantes en la elaboración de un queso, debido a que forman puentes salinos de calcio, y fosfatos hidrófobos con las caseínas, los cuales ayudan a formar la red o malla tridimensional que forma al cuajo (López et al, 2023). Tal como se evidencia en la figura 10.

Figura 10

Efecto de la concentración de los iones de calcio en la coagulación.



Nota: (DSM, s, f).

Coagulación Ácida

Insolubilización de la k-caseína que precipita a pH semejante a su punto isoeléctrico (Gonzalez et al, 2017). Las bacterias lácticas degradan la lactosa para formar el ácido láctico, baja el valor del pH alterando las micelas de caseína y se modifica su dispersabilidad. La acidificación va acompañada de una desmineralización de las micelas (Jiménez.f).

Coagulación Enzimática

En la elaboración de quesos por vía enzimática, se emplea tradicionalmente el cuajo. Su principio activo es la enzima proteolítica quimosina. Esta enzima se extrae del cuarto estómago de los terneros lactantes (Martinez, 2020).

Coagulación Mixta

Es debida a la acción de la enzima proteolítica (cuajo), pero en presencia de una determinada acidez (siempre mayor de la normal). La incidencia de un tipo u otro (cantidad de enzima/cantidad de ácido), será lo que dé al coágulo y posteriormente al queso (Salinas, 2023).

Enzimas Coagulantes

La coagulación de la caseína es el proceso fundamental en la fabricación de queso y se realiza generalmente con cuajo. El principio activo del cuajo es un enzima denominada quimosina, de forma que la coagulación tiene lugar muy pronto después de la adición del cuajo a la leche (Tituaña, 2015).

La coagulación de la leche se caracteriza por la hidrólisis selectiva de las κ -caseínas, que conduce a la solidificación de la caseína y a la formación de la cuajada” (Pacífico et al., 2024). En este punto es necesario destacar lo revelado por (Roy et al., 2020) cuando indica que la leche de búfala muestra aumentos en la fuerza del gel con el aumento de la concentración de pepsina y que tales diferencias pueden atribuirse a las diferencias en las proporciones relativas de las diferentes caseínas en las leches.

Teniendo en cuenta el punto de vista de (Collados et al., 2020) la actividad enzimática está determinada por varios factores, como la concentración de enzimas, la concentración de sustrato, la temperatura, el pH, la concentración de cofactores (necesaria para el

funcionamiento de ciertas enzimas, como, por ejemplo, el ion calcio y la concentración de coenzimas.

Por eso “un buen conocimiento de la estabilidad de las enzimas es importante para su aplicación en procesos biotecnológicos, ya que proporciona información sobre la estructura de la enzima y permite una estrategia de aplicación más rentable. Además, una mejor comprensión de la estabilidad de las enzimas en diferentes circunstancias de trabajo podría ayudar a mejorar la eficiencia de las operaciones enzimáticas” (Wehaidy et al., 2023).

Durante siglos, el coagulante más utilizado ha sido el cuajo animal (enzima renina extraída del cuarto estómago de los rumiantes lactantes). Sin embargo, las dificultades para el abastecimiento de cuajo, sumadas al avance tecnológico y a los requerimientos industriales, favorecieron el desarrollo de diversos tipos coagulantes, provenientes de diferentes fuentes de obtención. Entre los más difundidos se encuentran los de origen animal (pepsinas bovina y porcina), de origen microbiano (proteasas fúngicas y bacterianas) o vegetal (flores de *Cynara cardunculus* etc.) (Bonafede, 2017).

Como ya se indicó, “debido a la limitada disponibilidad y elevado costo del cuajo de ternero mamón, se han desarrollado sustitutos de distinto origen” (Latorre, 2018). Aunque durante la elaboración de diferentes tipos de quesos las enzimas responsables del proceso de coagulación se utilizan en pequeñas cantidades, el origen de las mismas (animal, microbiano o vegetal) tiene una gran importancia en el producto final, ya que desempeñan un papel preponderante en sus características organolépticas, especialmente cuando los períodos de maduración de los quesos son prolongados, por lo que se debe asegurar que la adaptabilidad tecnológica del tipo coagulante con el que vamos a trabajar sea la adecuada (García, 2011).

Actualmente, los coagulantes se comercializan como confecciones líquidas, en pasta o en polvo, según sus características y composición, y con distintos niveles de fuerza de acuerdo a su título (Bonafede, 2017).

Como lo indica Martínez et al., en la elaboración de quesos por vía enzimática, se emplea tradicionalmente el cuajo, donde su principio activo es la enzima proteolítica quimosina (2020). Así mismo lo argumenta (Amjad et al., 2024) cuando indica que la quimosina, una proteasa aspártica compleja que se encuentra en la leche de los mamíferos, desempeña un papel crucial en la producción de queso al crear coágulos de leche. Teniendo en cuenta el punto de vista de (Tyagi et al., 2016) ha observado que la quimosina de búfalo es fisicoquímicamente más estable que otras contrapartes. La compatibilidad de la quimosina de búfala en la coagulación de la leche de búfala podría ser mayor/mejor en comparación con otros coagulantes de leche.

Cuajo Animal

El cuajo animal, obtenido del abomaso de rumiantes lactantes, se ha utilizado en la fabricación de queso durante siglos y es la enzima coagulante de la leche que más se emplea en la industria quesera (Di Rosa et al., 2024). Sin embargo “la escasez de los abomasos de los rumiantes jóvenes y el aumento de los precios de las preparaciones enzimáticas permitieron el desarrollo de otras enzimas coagulantes” (Martínez., 2020). La quimosina bovina (323 aminoácidos, 35,65 kDa) se expresa como una preproenzima (381 aminoácidos, 42,18 kDa), a partir de la cual se escinde una presecuencia de 16 aminoácidos en el retículo endoplásmico cuando se secreta la proteína. Esta enzima contiene dos residuos de ácido aspártico en el sitio activo, Asp32 y Asp215, que catalizan la descomposición selectiva del enlace peptídico Phe105-Met106 en κ - que estabilizan las micelas de leche. Este clivaje específico genera la desestabilización de las micelas y posteriormente induce la coagulación de la leche (Noseda et al., 2016). (Tyagi et al., 2016) revela que la quimosina de cabra ha sido defendida como un

excelente sustituto de la quimosina bovina debido a su mejor eficiencia catalítica y propiedades fisicoquímicas y *P. pastoris* ha surgido como una opción preferible para expresar proteínas recombinantes a nivel de biorreactor como la de cabra.

Quimosina Recombinante

En este contexto, las enzimas recombinantes proteasas recombinantes, microbianas y de origen vegetal han suscitado un gran interés como sustitutos del cuajo animal. (Di Rosa et al., 2024), así mismo lo declara (Liu et al., 2021) cuando dice que las enzimas de coagulación de la leche recombinantes presentan algunas propiedades específicas del cuajo para terneros y son potencialmente adecuados para la producción de queso. Las enzimas coagulantes microbianas son los sustitutos más prometedores del cuajo para terneros y han atraído mucha atención. Recientemente, la mayoría de las investigaciones han indicado que las enzimas de coagulación de la leche microbianas son adecuados para la producción de queso, adicional estas enzimas son aceptadas por los vegetarianos y se pueden utilizar en la fabricación de queso orgánico.

Según argumenta Nosedá et al, la producción de quimosina bovina recombinante en sistemas de expresión microbiana, como hongos filamentosos y levaduras, tiene numerosos beneficios en comparación con el procedimiento de extracción de quimosina bovina auténtica, como la obtención de un producto homogéneo debido a un bioproceso estandarizado (2016). También es importante destacar lo que indica (Usgame et al., 2022) dos de las enzimas más comercializadas son la quimosina recombinante (RC), la cual es 100% pura secretada por *Aspergillus niger var. awamori*, mediante técnicas de ingeniería genética, y la quimosina de origen microbiano (CMO), una proteasa aspártica, obtenida por la fermentación controlada de *Rizhomucor Miehei*. Estos precipitantes proteicos han sido ampliamente aceptados a nivel industrial dada su alta actividad coagulante y baja actividad

proteolítica inespecífica. Los RC se han caracterizado por su alta especificidad, baja actividad proteolítica inespecífica, comportamiento de coagulación predecible y propicios para dietas vegetarianas al igual que la CMO. Así mismo lo afirma (Ribeiro et al., 2018) al indicar que la quimosina recombinante (100% quimosina) se produce por fermentación utilizando una levadura genéticamente modificada (GM), y se considera el mejor sustituto del cuajo de ternera debido a su alta actividad proteolítica específica hacia la κ -caseína.

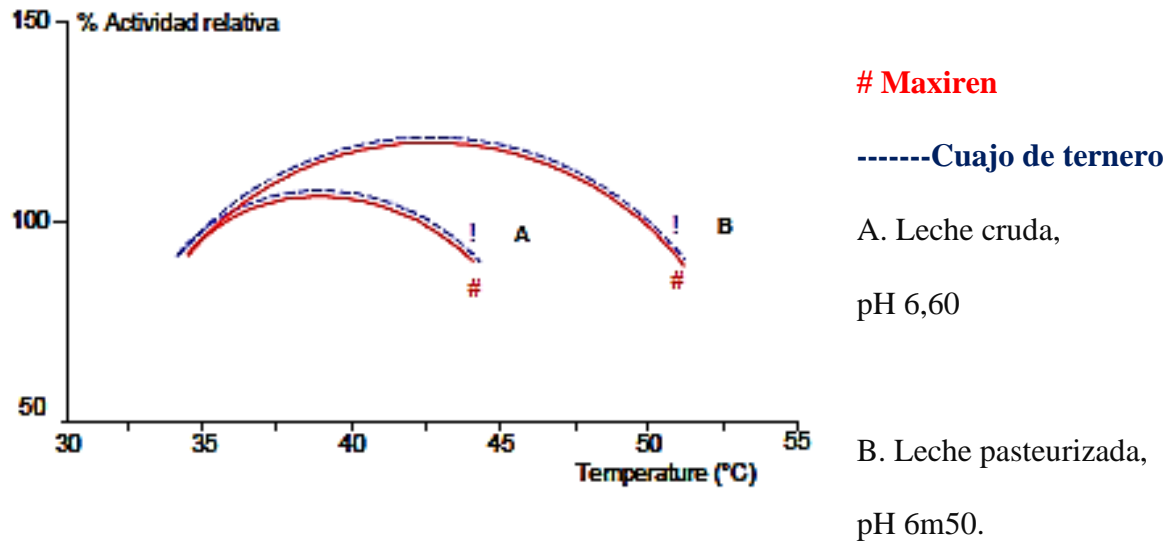
Tomando relevancia a lo que postula (Ersöz & İnan, 2019) cuando afirma que la producción recombinante de quimosina se vuelve importante para producir quesos de calidad constante. Adicional teniendo en cuenta a (Tyagi et al., 2017) con su argumento, donde indica que la mala calidad del queso de origen vegetal y microbiano, junto con la escasez de estómago de ternera debido a la creciente demanda de cuajo animal, ha provocado un aumento del uso y los estudios sobre la quimosina recombinante. Además, tiene varias ventajas sobre otras fuentes, como una baja actividad proteolítica, un comportamiento de coagulación predecible, certificación kosher, aprobación vegetariana, protección de los sentimientos religiosos y los derechos de los animales. (Tyagi et al., 2017) también sostiene que la enzima demostró claramente una coagulación eficiente de la leche con proteólisis limitada que, en última instancia, contribuyó a la conservación del sabor deseable del queso.

De acuerdo con DSM, cuando el coagulante recombinante o de origen microbiano se agrega a la leche, la influencia de la concentración de la enzima, la temperatura, el pH y la concentración del calcio de la leche es idéntica a la del cuajo de ternera de fuerza comparable. Durante la maduración, la hidrólisis de la caseína, y el desarrollo del sabor son idénticos (s, f.). Así mismo, DSM menciona que el cuajo microbiano de origen *Kluyveromyces Lactis* (Maxiren) y el cuajo de ternero poseen la misma sensibilidad a la temperatura. La actividad óptima se alcanza a 42,5°C cuando se usa leche cruda a pH 6,60 y a

45°C cuando se utiliza leche pasteurizada a pH 6,50. Ambas enzimas son inactivadas a temperaturas sobre 55°C y por debajo 15°C (s, f.). Esto se logra evidenciar en la figura 11.

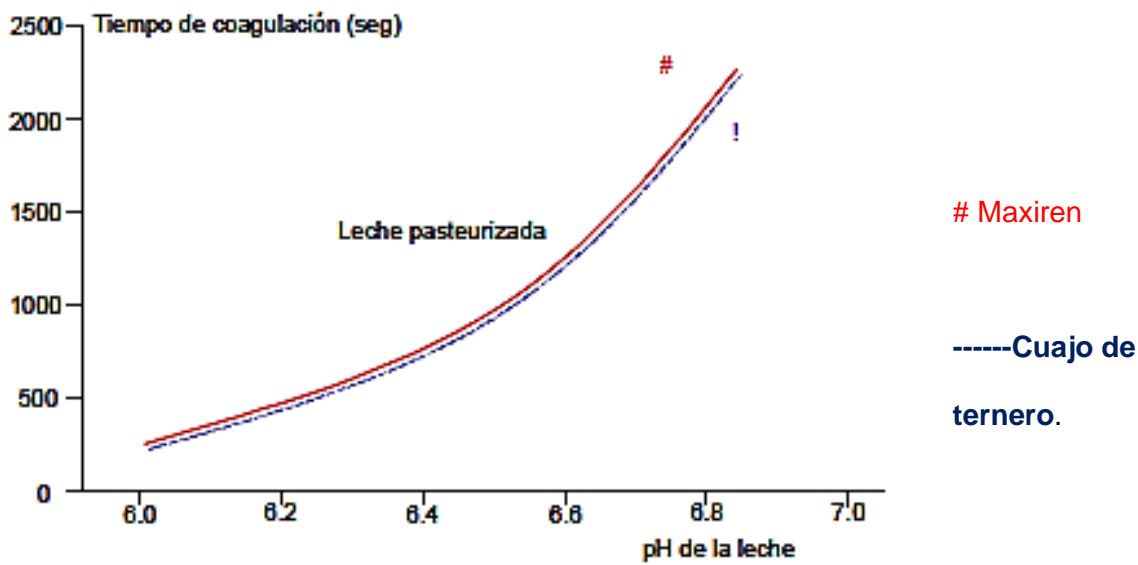
Figura 11

Efecto de la temperatura.



Nota: DSM, s,f.

El cuajo de ternero y el maxiren también enseñan similitudes al ser comparados bajos los efectos del pH como se evidencia en la figura 12.

Figura 12*Efecto del pH.*

Nota: (DSM, s,f).

Cuajos Microbianos

Por otro lado, Zhang et al., argumenta que las enzimas de coagulación microbianos han atraído un gran interés como prometedores sustitutos del cuajo de ternera. Los coagulantes bacterianos tienen más potencial debido a una producción más barata, una mayor diversidad bioquímica y una modificación genética más fácil (2019). Desde el punto de vista de (Aguilar, 2018) se argumenta que los microorganismos representan una excelente fuente de proteasas, siendo también la principal fuente de producción. Aunque las enzimas proteolíticas pueden obtenerse de animales y plantas, los microorganismos son los principales productores debido a sus ventajas económicas y técnicas, además de su diversidad bioquímica y la posibilidad de manipulación genética. Así mismo lo afirma (Feijoo, 2014) cuando menciona que esta industria utiliza preferentemente cuajos animales, y en particular quimosinas genéticamente modificadas, también utiliza coagulantes lácteos de origen microbiano y (Pacífico, 2024) argumenta que la creciente demanda de cuajo de ternera ha

conducido al desarrollo de cuajares alternativos, entre los cuales los más utilizados son los que contienen enzimas para la coagulación de la caseína, los más utilizados son los que contienen enzimas de *Rhizomucor miehei* como coagulante microbiano. Por lo tanto, es importante destacar lo revelado por (Mohsin et al., 2024) donde relaciona que el coagulante *Miehei* domina el mercado de los coagulantes microbianos, es capaz de hidrolizarse, de la misma manera que el enlace Phe 105 –Met 106 de la κ -caseína y es menos proteolítico que la forma nativa. Sin embargo, se debe tener en cuenta que “la actividad de coagulación de la leche y la estabilidad térmica del coagulante de *R. miehei* dependen del método y el grado de purificación” (D’Incecco et al, 2022).

En la opinión de (Silva et al., 2014) Las proteasas son algunas de las enzimas industriales más importantes, y una de sus principales aplicaciones es para la producción de queso en la industria láctea. Debido a la escasez de cuajo animal, se están buscando proteasas coagulantes microbianas. Las enzimas derivadas de *Rhizomucor miehei*, *Rhizomucor pusillus* y *Cryphonectria parasitica* se utilizan actualmente para reemplazar las enzimas convencionales de coagulación de la leche. (Ahmed et al., 2016) revela que el extracto enzimático microbiano crudo producido por *Bacillus stearothermophilus* presenta una alta actividad de coagulación de la leche. Además, la cohesión, la elasticidad, la gomosidad y la masticabilidad son similares a las del queso elaborado con otros coagulantes probados. Además, la puntuación total de las propiedades organolépticas de los quesos elaborados con coagulante *B. stearothermophilus* fue inferior a la de otros coagulantes comerciales durante todo el periodo de almacenamiento.

Según argumenta (Hayaloglu et al., 2014) en la estabilidad térmica de los coagulantes microbiano y de ternera; alrededor del 35% de la proteasa de *R. miehei* seguía activa después de un tratamiento térmico a 80 °C durante 10 min, mientras que el cuajo de ternera se inactivó completamente con un proceso térmico a 62 °C.

Incidencia del pH Sobre el Queso

El pH es uno de los parámetros que afecta sobre todo a la textura del queso, debido a su efecto sobre la red proteica. Un pH cercano al punto isoeléctrico provoca fuerzas iónicas e hidrófobas, que resultan en una red de caseína compacta típica de los quesos duros, mientras que en el caso de un pH más alto las caseínas presentan una carga negativa, lo que genera repulsión entre los agregados proteicos, generándose un queso con mayor humedad, más elástico y menos compacto (Pérez, 2016).

Reguladores de Acidez

Llamados también de agentes reguladores de pH, son un tipo de conservantes alimentarios utilizados para modificar la acidez de los alimentos, cumple un rol importante para el procesamiento, sabor, aromatización y calidad alimentaria, sin embargo, un descontrol del pH puede originar en el surgimiento de bacterias indeseables que podría ser un peligro potencial a la salud de quién lo consuma (Sigcha, 2021). A continuación en la tabla 12 se presentan los acidulantes más usados en la industria quesera.

Tabla 12

Acidulantes más comunes en la industria.

Código	Acidulante	Pureza %
E330	Ácido cítrico	100
E270	Ácido láctico	85
E260	Ácido acético	95
E338	Ácido fosfórico	85

Nota: (Sigcha, 2021).

Uso Legal de Aditivos

El capítulo VII de la resolución 2310 del 1986 de la legislación colombiana, regula y brinda los estándares para la elaboración de quesos, adicional a este se encuentra la resolución 1804 del 1989 donde se modifican algunos artículos de la resolución 2310 pertenecientes al título del queso, también encontramos la NTC 750 de productos lácteos, especialmente para queso, y con estos se describe las clases de queso según su humedad, se tiene los usos permitidos de ingredientes y aditivos para los quesos, donde se encuentran algunos detalles muy importantes como cloruro de sodio en cantidad máxima 4% (sal de mesa), se permite el uso de colorantes naturales autorizados por el ministerio de salud en la resolución número 10593 de 1985, tales como: Achiote o anato, color Index, carotenos color index, adicionados en una cantidad máxima de 600 mg. Los conservantes nitratos de potasio o sodio en cantidad máxima de 200 mg/kg de leche. Únicamente en los Quesos madurados y semimadurados se permite la adición de los siguientes conservantes aplicados en la corteza del producto: Ácido benzoico y sus sales de calcio, potasio y sodio, en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido benzoico. Ácido sórbico y sus sales de calcio, potasio y sodio, en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido sórbico. Ácido propiónico y sus sales de calcio, potasio y sodio, en cantidad máxima de 100 mg/kg expresado como ácido propiónico. Cuando se empleen mezcla de ellos su suma no deberá exceder de 1~50 mg/kg. Nisina en dosis máxima de 12,5 mg/kg y piramicina en dosis máxima de 12,5 mg/kg. También se menciona el uso de estabilizante el cual es de vital importancia para la elaboración de quesos como cloruro de calcio, en cantidad máxima de 200 mg/kg de leche. En las normas se detallan algunas sustancias más permitidas para los quesos semimadurados y madurados como por ejemplo ceras y parafinas.

Condiciones de Proceso y Factores que Influyen en la Coagulación, Calidad y Rendimiento del Queso de Acuerdo con el Tipo de Cuajo Utilizado para la Producción de Queso de Búfala

La eficiencia de elaboración de queso se evalúa teniendo en cuenta el tiempo de coagulación, el tiempo de firmeza, la firmeza, la capacidad de desuerado, la sinéresis y la resistencia a la compresión o al corte. Estas características definen las propiedades de coagulación de la leche (PCL) que están relacionadas con los rendimientos queseros. Las PCL están determinadas por las características fisicoquímicas de la leche y la estructura de las caseínas. Por lo tanto, cualquier alteración de éstas puede modificar las PCL (Vásquez et al., 2014).

La composición química de la leche, especialmente las concentraciones de caseína, grasa, calcio y pH, tiene una gran influencia en varios aspectos de la fabricación del queso, especialmente en la coagulabilidad del cuajo, fuerza de gel, sinéresis de la cuajada, por lo que puede repercutir en la composición, propiedades sensoriales y rendimiento del queso. El método utilizado para coagular la leche para la elaboración del queso, influye en la estructura general, las características y la firmeza del queso (Chavez, 2022).

Calidad y Rendimiento en la Producción del Queso de Búfala

La medición de la calidad, el rendimiento en la producción de queso de búfala es una herramienta fundamental para garantizar la excelencia y la sostenibilidad de esta producción quesera, así como lo afirma (Sturaro et al., 2014) en la actualidad, se necesitan mejoras en la eficiencia de la industria láctea, de hecho, las buenas propiedades tecnológicas de la leche se han asociado con un mayor rendimiento del queso. Adicional haciendo comparativos con el queso elaborado a partir de la leche de vaca se han obtenido datos interesantes, entendiendo que “los estudios han demostrado que los quesos elaborados con leche de búfala y bovina

tienen diferentes calidades” (Akarca et al., 2023), debido a que “la búfala produce leche caracterizada por un mayor nivel de grasa, varía entre el 7,5% al inicio de la lactancia (después de la fase de calostro) y el 12 al 14% al final de la lactancia dado que la grasa de la leche tiene una gran influencia en las propiedades de fabricación y el rendimiento del queso, uno de los principales objetivos es el aumento del contenido de grasa láctea” (Gu et al., 2017). De acuerdo con (Shakerian et al., 2016) mostraron que la leche de búfala entera dio lugar a mayores rendimientos (27-37%) que los observados para la leche estandarizada (18-25%). El aumento de la acidez de la leche cruda hasta 20° dórnicó aumento el rendimiento y disminuyó las pérdidas de grasa, proteína y lactosa. (Sales et al., 2017) argumenta que La concentración de sólidos en la leche de búfala, que es principalmente grasa, proteína o caseína, y minerales, permitiendo que la producción eficiente y la calidad de varios derivados sea superior a la leche bovina. Además (Zicarelli et al., 2020) revela que las fracciones de caseína juegan un papel fundamental en la producción de queso a través de sus diferencias en la estructura primaria entre las especies de rumiantes y razas de interés lechero. La distribución de las cuatro fracciones de caseína en la leche de búfala mostró mayores porcentajes de α T2-caseína (α T2-CN) y κ -caseína (κ -CN) (15,8% y 15,5%, respectivamente) y una menor proporción de α S1- y β -CN (32,2% y 36,5%, respectivamente) en comparación con la leche de vaca. Y desde el punto de vista de (Manuelian et al., 2020) la leche de búfala tiene más Ca, P y Fe, y menos Na que la leche de vaca. Estas características tienen efectos importantes en la capacidad de elaboración del queso que conducen a un mayor rendimiento de queso de búfala que de leche de vaca. También es importante destacar que la leche de búfala tiene un alto contenido de minerales que impactan en su rendimiento y calidad, es así como lo afirma (Stocco et al., 2016), los minerales son fundamentales para la salud humana, ya que son necesarios para muchas funciones fisiológicas como el crecimiento de los tejidos, la coagulación sanguínea, la contracción muscular y la función nerviosa, pero también juegan

un papel importante en la coagulación de la leche, ya que influyen en la estructura y agregación de las micelas de caseína, el tiempo de coagulación del cuajo, la estructura de la cuajada y, en última instancia, el rendimiento del queso.

Uno de los puntos claves de la elaboración del queso es la etapa de producción de la cuajada y todo lo que ello conlleva, como la selección del cuajo un proceso crucial en la fabricación del queso, ya que esta enzima es la responsable de coagular la leche y separar la cuajada del suero, dando origen a la estructura y características finales del producto influyendo directamente en la calidad y rendimiento de este. Por tal motivo se deben considerar todos los factores necesarios y características de los diferentes cuajos ofrecidos en el mercado, por eso es importante destacar que, “en la actualidad, las enzimas microbianas comprenden una gran cantidad de mercado. Sin embargo, se ha descubierto que la mayoría de las enzimas tienen una alta relación de actividad proteolítica y una baja relación actividad de coagulación de la leche/actividad proteolítica, lo que conduce a un bajo rendimiento de queso y sabor amargo. Solo unas pocas enzimas son adecuadas para la producción de queso” (Liu et al., 2021). Adicional se debe considerar que, “en algunos países, los coagulantes microbianos no han sido aceptados para la fabricación regular de queso porque se cree que resultan en un rendimiento reducido y un producto de menor calidad” (Siti Roha et al., 2022) y según Júnior et al, enfatiza que hay mercados que rechazan el uso de microorganismos genéticamente modificados y para producir quesos con un grado deseable de proteólisis durante la maduración, la pepsina no se utiliza comúnmente en la producción de queso, debido a su baja actividad específica, lo que resulta en quesos con bajo rendimiento y atributos sensoriales indeseables (2017). Adicional Sales et al., indica que el rendimiento tiene asociaciones más relevantes con el pH y la densidad de la leche, la edad del cultivo iniciador, el tiempo transcurrido entre cortes de cuajada y el tiempo de estiramiento de la cuajada, lo que indica que estos elementos deben estar bien controlados para lograr una

eficiencia óptima en la fabricación de este queso (2017) y Júnior et al., revela que las características como la capacidad de retención de agua, la resistencia y la porosidad son importantes en el proceso de elaboración del queso, ya que afectan parámetros como el rendimiento, el contenido de humedad y la textura del producto (2017).

Para evaluar las propiedades texturales del queso de búfala con un coagulante microbiano, se empleó un análisis instrumental, donde específicamente, se utilizaron técnicas de compresión uniaxial mediante un texturómetro lo cual se puede observar en la tabla 13 “Se utilizó un texturómetro Marca Shimadzu y el software Rheometer. Se cortaron rodajas de queso de aproximadamente 1,5 cm de grosor y se dejaron reposar por una hora a temperatura ambiente dentro de una bolsa de polietileno para evitar la pérdida de humedad. El método fue realizado mediante la aplicación de una fuerza de compresión dos veces sucesivas en las muestras, con el fin de simular la masticación humana y calcular los parámetros estudiados: máxima fuerza (N), máxima tensión (N/m²), máximo desplazamiento (mm), máxima deformación (%) y máximo tiempo (s)”. (Clemente, G. 2014) como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13*Caracterización textural de quesos.*

Variable	Queso 1	Queso 2	Queso Capa tradicional
Máxima fuerza (N)	11,35 ± 1,52 ^a	22,39 ± 1,52 ^b	22,42 ± 1,61 ^b
Máxima tensión (N/m²)	2,04 ± 0,75 ^a	3,41 ± 0,50 ^b	3,42 ± 0,51 ^b
Máximo desplazamiento (mm)	15,08 ± 0,00 ^a	15,00 ± 0,00 ^a	15,01 ± 0,02 ^b
Máxima deformación (%)	502,83 ± 0,07 ^a	500,04 ± 0,01 ^a	500,18 ± 0,18 ^b
Máximo tiempo (s)	9,07 ± 0,03 ^a	9,00 ± 0,00 ^a	9,00 ± 0,00 ^b

Nota: (Clemente, G. 2014)

Estos resultados proporcionan evidencia sólida de la relación entre el contenido de grasa y la dureza del queso y los efectos del cuajo. Los resultados obtenidos son coherentes con la literatura científica y tienen implicaciones importantes para la producción y el desarrollo de nuevos productos lácteos.

Conclusiones

Las enzimas, tanto de origen animal como microbiano, desempeñan un papel fundamental en la coagulación del queso. Estas biomoléculas catalizan reacciones que modifican las características de las proteínas, y durante el proceso de hidrólisis se integran con las demás macromoléculas, dando lugar a texturas, apariencias, y si estas van acompañadas de algún método de acidificación como con ácidos o cultivos también brinda sabores y aromas característicos de cada tipo de queso.

Las condiciones de proceso, como la temperatura, el pH y cofactores como iones de calcio durante la coagulación influyen directamente en la calidad y seguridad del queso de búfala. Un control riguroso de estos parámetros es esencial para garantizar la formación de una cuajada adecuada, prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos y obtener un producto final con las características deseadas.

Control y Calidad en la Elaboración de Quesos de Búfala

Aspectos de Calidad

Muchas proteinasas pueden coagular la leche bajo condiciones adecuadas, pero muchas son demasiado proteolíticas en relación a su actividad coagulante, lo cual resulta en una hidrólisis del coágulo demasiado rápida, causando una reducción en la producción y/o quesos defectuosos debido a la amargura generada por los péptidos hidrofóbicos liberados en la maduración (Tierra, 2017).

Es importante tener alta calidad en el producto final (queso) por lo que se hace necesario que el cuajo elegido sea el correcto. Un adecuado sustituto debe garantizar altos rendimientos en quesería y productos con características sensoriales aceptables. es decir, debe tener alta capacidad de atacar el enlace peptídico Phe105-Met106 de κ -caseína y una baja actividad proteolítica a pH y temperatura de fabricación del queso, además de poseer una termoestabilidad suficientemente baja para asegurar productos de suero de leche sin restos de coagulante activo.

Por tal motivo el uso y la elección del tipo de cuajo animal, microbiano o vegetal depende de las características sensoriales, fisicoquímicas y nutricionales que se deseen obtener en el producto final. Por ello toma tanta relevancia una investigación que contribuya al desarrollo de nuevos productos lácteos como el queso a partir de leche de búfala con cuajo animal, microbiano o vegetal, satisfaciendo la demanda de productos saludables y diversificando la oferta en el mercado.

Los siguientes resultados muestran la comparación del queso mozzarella elaborado con leche de vaca y leche de búfala (ver Tabla 14).

Tabla 14

Rendimiento en peso de producción de queso Mozzarella a partir de la leche de búfala y de vaca.

Tipo	% de rendimiento		~
	Primera corrida	segunda corrida	\bar{X}
Vaca	16,54	17	16,77
Búfala	20,7	21	20,85

Nota: Robles (2021)

Los resultados de la tabla 14 muestran claramente que el queso de búfala tiene en porcentaje mayor rendimiento que el queso de vaca.

Características Fisicoquímicas y Nutricionales

Según el punto de vista de Hombre et al., la estructura del queso está determinada por la disposición espacial de sus componentes, en especial la caseína, la cual sufre modificaciones durante el proceso con una textura firme, elástica, esponjosa y muestra propiedades viscoelásticas (2017), por ello la elección del cuajo, ya sea animal o microbiano, tiene un impacto significativo en las características sensoriales y nutricionales de los quesos, especialmente en aquellos frescos como los elaborados con leche de búfala. Fresno et al., considera que el proceso de coagulación de la leche es uno de los pasos más importantes para las características finales del queso (2023). Las diferencias en la degradación de la matriz proteica debido al origen de los agentes coagulantes afectan a la textura, el olor, el sabor y el gusto del queso y, en consecuencia, a la preferencia del consumidor. Esta última afirmación es especialmente importante para las decisiones económicas de la empresa lechera.

Por el contrario Liu et al., sostiene que las enzimas de coagulación microbianas tienen las ventajas de una producción menos costosa, una mayor diversidad bioquímica, una

modificación genética más fácil, etc (2021). En particular, algunas de estas enzimas tienen características adecuadas para la producción de queso y se consideran los sustitutos del cuajo de ternera con mayor potencial, una alta relación enzima coagulante/actividad proteolítica conduce a mejores propiedades texturales y sensoriales del queso y a una importante reducción del amargor. También, Pacifico et al., afirma que los coagulantes microbianos similares al cuajo tienen propiedades similares a las del cuajo de ternera; en concreto, son proteasas aspárticas capaces de hidrolizar la κ -caseína bovina en el enlace Phe105-Met106, como el cuajo de ternera, es por ello por lo que “las proteasas animales y vegetales han demostrado ser fuentes de enzimas de acción inespecíficas en la coagulación de la leche, produciendo quesos con sabores amargos y texturas no deseadas (2024). Por lo tanto, la atención se ha centrado en las fuentes microbianas, debido a su especificidad y las ventajas de su producción, tales como períodos cortos de crecimiento de los microorganismos, suministro ilimitado, bajos costos de producción y permite diseñar nuevos sistemas enzimáticos que no son posibles de obtener a partir de fuentes vegetales o animales” (Morillo et al., 2015). Y teniendo en cuenta la opinión de Timón et al., ya que sostiene que el queso elaborado con cuajo animal presenta la mayor descomposición del contenido de riboflavina, tal vez causada por una menor actividad antioxidante de los extractos de este tipo de queso (2019). Los extractos de queso elaborados con cuajo microbiano presentan la mayor actividad antioxidante in vitro. Además, estos extractos contienen la mayor cantidad de fracciones aisladas con gran inhibición de DPPH y actividades quelantes de metales. Igualmente (Aidie, et al., argumenta que Los quesos con coagulantes microbianos, particularmente *R. miehei* y *C. parasítica*, exhibieron redes de proteínas más suaves y atributos sensoriales superiores, incluyendo apariencia, cuerpo, textura y sabor, superando a los elaborados con cuajo de ternera (2024). Estos hallazgos sugieren que los coagulantes microbianos ofrecen potencial

como alternativas efectivas al cuajo de ternera tradicional en la producción de queso, mejorando las cualidades sensoriales y la calidad general del producto final.

Teniendo en cuenta entonces que el tipo de cuajo, ya sea animal o microbiano, influye significativamente en las características sensoriales de los quesos frescos de búfala, (Riebel et al., 2024) sostiene que los niveles altos de cuajo son asociado con el amargor, mientras que los niveles muy bajos pueden resultar en una proteólisis más lenta y (Pacífico et al., 2024) afirma que algunos cuajos se caracterizan por una elevada actividad proteolítica contra las caseínas de la leche, lo que genera péptidos capaces de afectar a la textura del queso y contribuir al desarrollo de un sabor amargo. Júnior et al., también sostiene que idealmente, las enzimas coagulantes de la leche deberían tener alta especificidad y poca actividad proteolítica general para obtener quesos con un alto rendimiento y un sabor amargo mínimo o textura quebradiza (2019).

Sin embargo, Martínez et al., afirma que el contenido de humedad de los quesos frescos elaborados con diferentes cuajos no presenta diferencias significativas (2020). Esta coincidencia pudiera explicarse por la influencia del proceso tecnológico (el desuerado, el prensado y el moldeado del queso). En este sentido, se puede inferir que las enzimas coagulantes que se emplean para obtener el queso no influyen sobre la humedad del producto final. Esta afirmación plantea una interesante contradicción entre la expectativa teórica y los resultados de un estudio específico, lo cual es importante mencionar que se requieren mayores investigaciones al respecto para continuar confirmando estos hallazgos o refutarlos.

Por último es importante destacar que los diferentes desarrollos tecnológicos de la industria pueden ayudar a combatir los problemas sensoriales en la elaboración del producto así lo afirma Feijoo et al., cuando indica que la industria láctea utiliza endoproteasas y exoproteasas microbianas para aplicaciones relativamente nuevas, como el desamargo y la

generación de sabor en queso, la maduración acelerada del queso, la fabricación de hidrolizados de proteínas con propiedades funcionales mejoradas y la producción de quesos modificados con enzimas (2014). Es así como se pueden destacar las diferentes soluciones que ofrece las innovaciones en tecnologías enzimáticas para enfrentar los diferentes desafíos en la elaboración del queso.

Características Microbiológicas

La tabla 15 se muestran los valores exigidos por la NTC 750 de queso de Colombia y los datos obtenidos de análisis de acuerdo con Guzmán, (2022).

Tabla 15

Características microbiológicas del queso de búfala.

Requisitos	Queso fresco		Guzmán, (2022).		Clemente, G. (2014)	
	m	M	Queso Búfala	Queso Vaca	Queso 1	Queso 2
Coliformes, UFC/g (30°C)	1000	5000	240	100	<10	<10
Coliformes, UFC/g (45 °C)	50	100	-	-	<3	<3
Recuento de mohos y levaduras, UFC/g	500	5000	-	-	<10	<10
Recuento de Estafilococos coagulasa positiva, UFC/g	100	1000	-	-	<100	<100
Detección de Salmonella/25 g	0	-	Ausencia	Ausencia	Negativo	negativo
Detección de Listeria monocytogenes /25 g	0	-	-	-	-	-
E. Coli	-	-	Ausencia	Ausencia	-	-
Staphylococcus aureus	-	-	Ausencia	Ausencia	-	-

Nota: Numero de muestras para los análisis Mínimo (3 veces), m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, M: índice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable, número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M (1).
Icontec, 2009; Guzmán, (2022).

La tabla 16 muestra los resultados obtenidos de las características nutricionales del queso mozzarella elaborado con leche de búfala y vaca.

Tabla 16

Características nutricionales del queso mozzarella con leche de búfala y vaca.

Queso Mozzarella			
	Leche de búfala%	Leche de vaca %	Rendimiento %
Agua	41,63	49,38	7,5
Proteína	36,44	33,70	2,74
Grasa	58,37	28,41	29,96

Nota: Robles (2021)

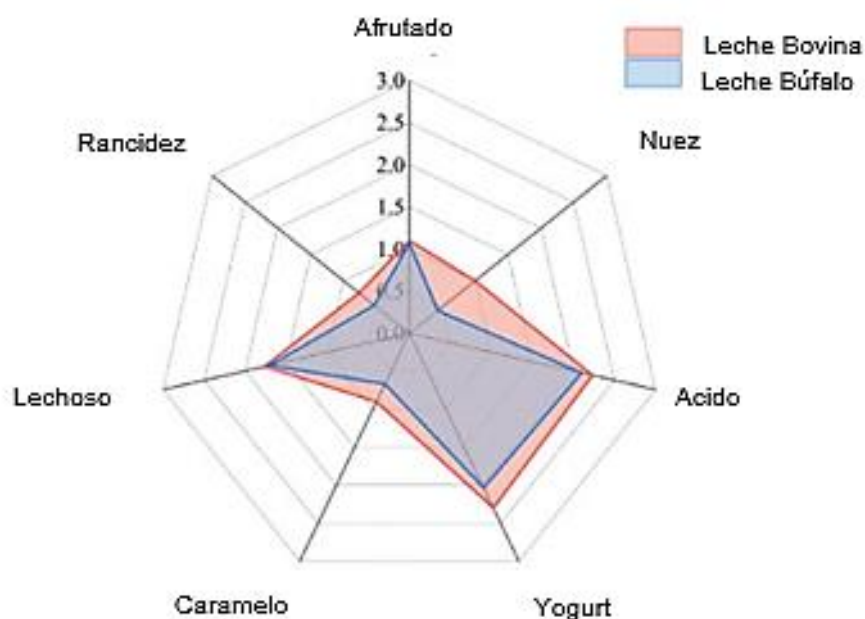
Estos resultados nos muestran que los quesos elaborados con leche de búfala tienen mayores ventajas en comparación con los quesos de leche de vaca, pues los resultados porcentuales de las características nutricionales muestran mejores valores en los quesos de búfala.

Efectos Sensoriales

En la siguiente figura se puede describir como se encuentran los perfiles de sabor tanto de producto con leche de búfala y leche de vaca.

Figura 13

Resultados de perfiles de sabor de queso con leche de búfala y vaca.



Nota: Yang et al, 2025.

Tabla 17

Comparativo de las características sensoriales del queso mozzarella elaborado con leche de búfala y leche de vaca.

Características Sensoriales (Puntos)					Materia Prima
Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad	
4,9	3,9	6,2	6,9	7,8	Leche de búfala
3,63	3,63	4,63	4,38	4,75	Leche de vaca

Nota: Guzmán (2022).

Según los resultados de la tabla anterior se puede confirmar que el queso elaborado con leche de búfala tiene mayor aceptación con sus diferentes características sensoriales que el queso de vaca.

En la tabla 18, se pueden observar los análisis del contenido de grasa, humedad, acidez y cenizas que se realizaron a los quesos capa 1 descremado y queso de capa 2 semidescremado extraduros. Por eso su diferenciación en el % de grasa. El cuajo utilizado para su elaboración fue Marshall M-50 (fuerza 1:50)

Tabla 18

Resultados análisis fisicoquímico del queso de Capa de leche de búfala elaborado con cuajo microbiano.

Análisis	Queso 1	Queso 2	Requisito
Grasa %	6,75 ± 0,35 ^a	22,75 ± 1,06 ^b	0-25
Humedad %	20,22 ± 0,82 ^a	21,12 ± 0,31 ^a	<51
Acidez (% ácido láctico)	0,22 ± 0,007 ^a	0,19 ± 0,05 ^a	N/A
Cenizas %	3,98 ± 0,03 ^b	2,82 ± 0,02 ^a	N/A

Nota: Clemente, G. (2014)

En la tabla 19 se muestran los resultados de la caracterización textural a quesos de capa 1 y 2 con leche de búfala, que se compararon con un queso capa tradicional elaborado a partir de leche de vaca. Los valores de Máximo desplazamiento, la Máxima deformación y el Máximo tiempo fueron mayores para los quesos 1 y 2 ($p < 0,05$), mientras que de Máxima fuerza y Máxima tensión fueron mayores en los quesos 2 y tradicional ($p < 0,05$). Además, se observa que el queso 1 descremado presenta mayor deformación al tener un menor contenido graso.

Tabla 19

Caracterización textural del queso de Capa de leche de búfala elaborado con cuajo microbiano.

Variable	Queso 1	Queso 2	Queso Capa tradicional
Máxima fuerza (N)	11,35 \pm 1,52 ^a	22,39 \pm 1,52 ^b	22,42 \pm 1,61 ^b
Máxima tensión (N/m^2)	2,04 \pm 0,75 ^a	3,41 \pm 0,50 ^b	3,42 \pm 0,51 ^b
Máximo desplazamiento (mm)	15,08 \pm 0,00 ^a	15,00 \pm 0,00 ^a	15,01 \pm 0,02 ^b
Máxima deformación (%)	502,83 \pm 0,07 ^a	500,04 \pm 0,01 ^a	500,18 \pm 0,18 ^b
Máximo tiempo (s)	9,07 \pm 0,03 ^a	9,00 \pm 0,00 ^b	9,00 \pm 0,00 ^b

Nota: Clemente, G. (2014)

Defectos del Queso

Es importante tener en cuenta el papel fundamental que juegan las enzimas en el producto final pues “además de la coagulación, las enzimas pueden desempeñar un papel importante en la proteólisis que se produce durante el almacenamiento/maduración del queso y afectar a las propiedades resultantes del producto final” (Kowalczyk et al., 2024), así mismo lo enfatiza (Ersöz, 2019) al indicar que las enzimas coagulantes de la leche se pueden obtener de muchas fuentes, como plantas, animales y microorganismos. Sin embargo, las enzimas que tienen actividades de coagulación de la leche de plantas y microorganismos pueden conducir a una hidrólisis inespecífica de la caseína, lo que puede convertirse en una formación excesiva de ácido, sabor desfavorable y bajo rendimiento. Igualmente, (Niero et al., 2024) enfatiza que la adopción de coagulantes microbianos puede tener una influencia significativa en el desarrollo de sabores y texturas de quesos buscados. Dicho con palabras de

Mohsin et al., los coagulantes microbianos ofrecen una ventaja en la adherencia a los principios dietéticos kosher, halal y vegetarianos (2024). Sin embargo, presentan desventajas que incluyen baja especificidad, alta estabilidad térmica, menor relación actividad de coagulación de la leche (MCA)/actividad proteolítica (PA) en comparación con el cuajo de ternera y una mayor probabilidad de impartir amargor al queso, así mismo lo afirma Ribeiro et al., cuando sostiene que los coagulantes añadidos a la leche en la etapa de coagulación permanecen en la cuajada del queso, lo que puede causar defectos sensoriales durante la vida útil (2018). Estas enzimas tienen una actividad residual incluso bajo refrigeración y pueden provocar la formación de péptidos hidrófobos cortos a través de la proteólisis, lo que provoca un sabor amargo en el queso. Adicional Aidie et al., enfatiza que la mayor estabilidad térmica de los derivados de *R. miehei* puede dar lugar a una proteólisis excesiva y una maduración más corta (2024).

Figura 14

Ejemplo de defecto de ablandamiento en el queso.



Nota: Saito, 2014.

La fuerte actividad proteolítica de los coagulantes microbianos durante la elaboración del queso puede provocar la pérdida de productos de degradación de las proteínas en el suero, lo que afecta tanto al rendimiento como al sabor del queso y Júnior et al., afirma que la quimosina (quimosina producida por fermentación a partir de un microorganismo modificado genéticamente (OGM)) es la enzima coagulante de la leche con mayor especificidad y la pepsina tiene una alta actividad inespecífica que puede promover cambios indeseables en los quesos frescos (2019).

Conclusiones

La calidad de la leche de búfala es fundamental para obtener un queso de alta calidad, Durante la elaboración del queso, se deben monitorizar variables como la temperatura, el pH, el tiempo de coagulación y la humedad relativa. Estos parámetros influyen directamente en la formación de la cuajada, la sinéresis, la textura y el sabor del queso.

Las características fisicoquímicas y nutricionales del queso de búfala están estrechamente relacionadas con su calidad, El contenido de grasa, proteína, lactosa y minerales influye en el sabor, la textura y el valor nutricional del queso.

No obstante, es importante tener en cuenta la elección del cuajo, ya sea animal o microbiano, tiene un impacto significativo en las propiedades sensoriales del queso de búfala, dado que el cuajo animal generalmente proporciona un sabor más complejo y una textura más firme. Sin embargo, su disponibilidad puede ser limitada y su calidad puede variar, mientras que el cuajo microbiano, ofrece una mayor reproducibilidad y permite obtener quesos con características más uniformes. Además, existen diferentes tipos de cuajo microbiano, cada uno con propiedades específicas que pueden adaptarse a diferentes tipos de queso.

Los resultados de esta investigación indican que tanto los cuajos microbianos como los animales presentan ventajas y desventajas. Los cuajos microbianos ofrecen una mayor flexibilidad en términos de aplicaciones y pueden ser utilizados en la producción de quesos con características específicas. Por otro lado, los cuajos animales, como la quimosina, proporcionan resultados más consistentes y pueden ser preferidos para ciertos tipos de quesos tradicionales. La elección del coagulante óptimo dependerá de un balance entre las características deseadas del producto final y las consideraciones económicas y técnicas. Es por esto por lo que no se puede ingerir cual sería el cuajo óptimo en la elaboración del queso de búfala, pues no es una cuestión del mejor o del no tan bueno, sino de la mejor adaptación a

las características deseadas del producto final y a las condiciones de producción. Adicional se deben considerar aspectos como la textura deseada, el sabor, la velocidad de maduración, el costo del coagulante, la disponibilidad y las regulaciones locales.

Referencias Bibliográficas

- Abdel-Hamid, M., Otte, J., De Gobba, C., Osman, A., y Hamad, E. (2017). *Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and antioxidant capacity of bioactive peptides derived from enzymatic hydrolysis of buffalo milk proteins*. *International Dairy Journal*, 66, 91–98.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.11.006>
- Abdella, M. A. A., Ahmed, S. A., & Ibrahim, O. A. (2023). *Statistical improvement of protease production from a new isolate Bacillus thuringiensis strain-MA8 and its application in the production of enzyme-modified cheese*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 225, 361–375.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.073>
- Aguilar, D. J. G., y Sato, H. H. (2018). *Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates*. *Food Research International*, 103, 253–262.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.044>
- Ahmed, S. A., Wehaidy, H. R., Ibrahim, O. A., Abd El Ghani, S., y El-Hofi, M. A. (2016). *Novel milk-clotting enzyme from Bacillus stearothermophilus as a coagulant in UF-white soft cheese*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7, 241–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.06.011>
- Aidie, S. A. M., Castro-Muñoz, R., Abu-Jdayil, B., & El-Dieb, S. M. (2024). *The role of microbial coagulants on the physicochemical, proteolysis, microstructure and sensory properties of low-fat Edam cheese manufactured from ultrafiltered buffalo milk*. *International Dairy Journal*, 157, 105995.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105995>

- Akarca, G., Atik, A., Atik, İ., & Denizkara, A. J. (2023). *A comparison study on functional and textural properties of mozzarella cheeses made from bovine and buffalo milks using different starter cultures*. *International Dairy Journal*, 141, 105622. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105622>
- Alam, M., Rawat, M., Das, R., Das, D., Kaur, R., y Sharma, P. (2024). *Exploring the impact of processing and compositional factors on the improvement of quality of milk paneer: A comprehensive review*. *International Dairy Journal*, 106038. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106038>
- Amjad, H., Saleem, F., Ahmad, M., Nisar, U., y Arshad Dar, H. (2024). *Comprehensive bioinformatics-based annotation and functional characterization of bovine chymosin protein revealed novel biological insights*. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 8, 100191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochms.2023.100191>
- Anusha Siddiqui, S., Mahmood Salman, S. H., Ali Redha, A., Zannou, O., Chabi, I. B., Oussou, K. F., Bhowmik, S., Nirmal, N. P., y Maqsood, S. (2024). *Physicochemical and nutritional properties of different non-bovine milk and dairy products: A review*. *International Dairy Journal*, 148, 105790. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105790>
- Arboleda, E. T. (2013). *Estudio de mercado de la leche y el queso mozzarella de bufala en Medellín, para colanta*. *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid*, págs. 1-86.
- Arena, S., Salzano, A., Scaloni, A. (2016). *Identification of protein markers for the occurrence of defrosted material in milk through a MALDI-TOF-MS profiling approach*. *Journal of Proteomics*. Vol, 147. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.02.016>.

- Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Olivera-Angel, M. (2019). *Characterization and classification of the compositional quality of milk from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) and cows (*Bos spp.*) in Colombia*. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 43–52. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n1.79401>
- Barrero, J. A., Cruz, C. M., Casallas, J., y Vásquez, J. S. (2021). *Evaluación in silico de péptidos bioactivos derivados de la digestión de proteínas presentes en la leche de bovino (*B. taurus*), oveja (*O. aries*), cabra (*C. hircus*) y búfalo (*B. bubalis*)*. *TecnoLógicas*, 24(50), 126–150. <https://doi.org/10.22430/22565337.1731>
- Basilicata, M. G., Pepe, G., Sommella, E., Ostacolo, C., Manfra, M., Sosto, G., Pagano, G., Novellino, E., & Campiglia, P. (2018). *Peptidome profiles and bioactivity elucidation of buffalo-milk dairy products after gastrointestinal digestion*. *Food Research International*, 105, 1003–1010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.038>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., El-Din A. Bekhit, A., Kumar, S., y Bhat, H. F. (2021). *Processing technologies for improved digestibility of milk proteins*. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.017>
- Bittante, G., Amalfitano, N., Ferragina, A., Lombardi, A., y Tagliapietra, F. (2024). *Interrelationships among physical and chemical traits of cheese: Explanatory latent factors and clustering of 37 categories of cheeses*. *Journal of Dairy Science*, 107(4), 1980–1992. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2023-23538>
- Bonafede, M. (2017). *Coagulantes en la industria láctea artesanal: análisis del cuajo de cabrito en la tecnología quesera del noroeste Argentino*. Trabajo final integrador

presentado como parte de los requisitos de la universidad nacional del litoral para la obtención del grado académico de especialista en ciencia y tecnología de la leche y productos lácteos, 1-156.

Castro, R. J. S., Nishide, T. G., y Sato, H. H. (2014). *Production and biochemical properties of proteases secreted by Aspergillus niger under solid state fermentation in response to different agroindustrial substrates*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(4), 236–245.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.06.001>

Chavez, A. (2022). *Efecto de la presencia de calostro sobre las características y la calidad de la leche de quesería y el queso fresco*. Bellaterra: Universidad Autonoma de Barcelona.

Coolbear, T., Janin, N., Traill, R., & Shingleton, R. (2022). *Heat-induced changes in the sensory properties of milk*. *International Dairy Journal*, 126, 105199.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105199>

Collados, A., Conversa, V., Fombellida, M., Rozas, S., Kim, J. H., Arboleya, J.-C., Román, M., y Perezábad, L. (2020). *Applying food enzymes in the kitchen*. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, 100212.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100212>

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

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.045>

- Clemente, G. (2014). *Elaboración de Queso de Capa a partir de Leche de Búfala del Municipio Carmen de Bolívar (Colombia)*. *Información Tecnológica*, 25, 39–44.
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000600006&lang=es
- Costa, A., Lopez-Villalobos, N., Sneddon, N. W., Shalloo, L., Franzoi, M., De Marchi, M., y Penasa, M. (2019). *Invited review: Milk lactose—Current status and future challenges in dairy cattle*. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5883–5898.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2018-15955>
- Cruz, M. A. (2022). *Características fisicoquímicas de la leche de búfala (Bubalus Bubalis)*. Montecillo, Texcoco, México.
- Dadousis, C., Pegolo, S., Rosa, G. J. M., Gianola, D., Bittante, G., y Cecchinato, A. (2017). *Pathway-based genome-wide association analysis of milk coagulation properties, curd firmness, cheese yield, and curd nutrient recovery in dairy cattle*. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 1223–1231.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-11587>
- Deshmukh, U., Arora, S., Kathuria, D., Singh, A. K., Sharma, V., y Singh, R. (2024). *Influence of calcium depletion and addition on heat stability, buffering capacity, partitioning of minerals and iron binding properties of buffalo milk*. *International Dairy Journal*, 149, 105828.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105828>
- Di Rosa, A. R., Accetta, F., Nicosia, F. D., Litrenta, F., Pino, A., Lopreiato, V., Caggia, C., y Randazzo, C. L. (2024). *Microbiological, chemical, and artificial sensory assessment of Sicilian cheeses made using different milk-clotting enzymes*. *Food Bioscience*, 59, 103917. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103917>

- D’Incecco, P., Hogenboom, J. A., Rosi, V., Cabassi, G., y Pellegrino, L. (2022). *Effects of microbial coagulants from *Rhizomucor miehei* on composition, sensory and textural characteristics of long-ripened hard cheeses*. Food Chemistry, 370, 131043. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131043>
- DSM. (s, f). *Maxiren. Coagulante de alta Calidad, 100% quimosina pura. Boletín Técnico*. DSM Food Specialties B.V. Países Bajos.
- Emakpor, O. L., Edo, G. I., Jikah, A. N., Ikpekoru, V. O., Agbo, J. J., Ainyanbhor, I. E., Essaghah, A. E. A., Ekokotu, H. A., Oghrora, E. E. A., y Akpogheli, P. O. (2024). *Buffalo milk: an essential natural adjuvant*. Discover Food, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00114-7>
- Ersöz, F., y İnan, M. (2019). *Large-scale production of yak (*Bos grunniens*) chymosin A in *Pichia pastoris**. Protein Expression and Purification, 154, 126–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pep.2018.10.007>
- Feijoo-Siota, L., Blasco, L., Rodríguez-Rama, J. L., Barros-Velázquez, J., Miguel, T. D., Sánchez-Pérez, A., y Villa, T. G. (2014). *Recent patents on microbial proteases for the dairy industry*. Recent Advances in DNA and Gene Sequences, 8(1), 44–55. <https://doi.org/10.2174/2352092208666141013231720>
- Ferrandini, E., Castillo, M., López, M. B. y Laencina, J. 2008. *Modelos estructurales de la micela de caseína*. Anales de veterinaria de Murcia, 22, 5-18. <https://revistas.um.es/analesvet/article/view/771>
- Fontenele, M. A., do S.R. Bastos, M., dos Santos, K. M. O., Bemquerer, M. P., y do Egito, A. S. (2017). *Peptide profile of Coalho cheese: A contribution for Protected Designation of Origin (PDO)*. Food Chemistry, 219, 382–390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.171>

- Franzoi, M., Costa, A., Vigolo, V., Penasa, M., y De Marchi, M. (2022). *Effect of pasteurization on coagulation properties of bovine milk and the role of major composition traits and protein fractions*. Journal of Food Composition and Analysis, 114, 104808. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104808>
- Fresno, M., Argüello, A., Torres, A., Castro, N., Álvarez, S., y Sepe, L. (2023). *Invited review. Milk clotting enzymes: A transcendental decision in goat's milk cheese quality*. Small Ruminant Research, 229, 107147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107147>
- Gajendragadkar, C. N., y Gogate, P. R. (2016). *Intensified recovery of valuable products from whey by use of ultrasound in processing steps – A review*. Ultrasonics Sonochemistry, 32, 102–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.023>
- García, V., Rovira, S., Teruel, R., Roa, I., y amp; López, M. (2011). *Empleo de coagulantes vegetales en leche de cabra Murciano-Granadina*. AN. VET. (MURCIA) 27, 73-84.
- Genis, D. Sezer, B. Gonca, S. Durna, S.Boyaci, I. (2020). *Development of synchronous fluorescence method for identification of cow, goat, ewe and buffalo milk species*. Vol, 108. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106808>
- Gonzalez Cócaro, I. R., Rabaquino Sarti, L., y amp; Rodriguez Muniz, G. (2017). *Uso de optigraph para estimar capacidad coagulativa de leche de vaca en un rodeo comercial*. Montevideo.
- González S., D. (2019). *Optimización del proceso productivo del queso fresco de cabra a nivel artesanal en la región semiárida del estado Lara*. Caracas.

- González González, F., Margolles, A., y amp; Rúas Madiedo, P. (2020). *Suero lácteo, un subproducto de quesería para aplicaciones biotecnológicas*. Dialnet, 313-328.
- Gu, M., Cosenza, G., Nicolae, I., Bota, A., Guo, Y., Di Stasio, L., y Pauciullo, A. (2017). *Transcript analysis at DGAT1 reveals different mRNA profiles in river buffaloes with extreme phenotypes for milk fat*. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8265–8276. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-12771>
- Gu, M., Cosenza, G., Gaspa, G., Iannaccone, M., Macciotta, N. P. P., Chemello, G., Di Stasio, L., y Pauciullo, A. (2020). *Sequencing of lipoprotein lipase gene in the Mediterranean river buffalo identified novel variants affecting gene expression*. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6374–6382. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-17968>
- Guevara-Garay, L. A., Cuartas-Castaño, D. A., y Llano-Naranjo, F. (2014). *Kappa caseína de la leche: aspectos bioquímicos, moleculares, productivos y nutricionales*. *Revista Médica de Risaralda*, 20(1), 29–33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-06672014000100007&lang=es
- Guzmán, J. (2022). *Evaluación de queso mozzarella elaborado a partir de tres tipos de leche de mamíferas domésticas*. [Proyecto de investigación. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Ciencias Pecuarias]. Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19080>.
- Guerra, A. (2011). *Comparación química y sensorial de quesos frescos elaborados a base de leche entera de vaca y leche entera de búfala*. Tesis, 1-42.
- Hayaloglu, A. A., Karatekin, B., y Gurkan, H. (2014). *Thermal stability of chymosin or microbial coagulant in the manufacture of Malatya, a Halloumi type cheese*:

- Proteolysis, microstructure and functional properties*. International Dairy Journal, 38(2), 136–144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.04.001>
- Hernandez, M. B. (2016). *Características fisicoquímicas y texturales de un queso semi madurado elaborado a partir de leche de cabra*. Pamplona.
- Hombre, r., alvis-bermudez, a., y garcía-mogollon, c. (2017). *Propiedades mecánicas y viscoelásticas de queso fresco elaborado con leche de búfala y vaca*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 15(1), 138–143. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)138-143](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)138-143)
- ICA. (2024). *Censos pecuarios nacional*. Instituto Colombiano Agropecuario. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>.
- Icontec. Norma Técnica colombiana. NTC 750 de 2009. *Productos lácteos. Queso*. I.C.S.: 67.100.30.
- Jiménez Pérez, S., y amp; Sarmiento Pérez, P. (S.f). *Módulo 3 derivados lácteos*. Paseo de la Castellana: IMC.
- Júnior, B. R. de C., Tribst, A. A. L., y Cristianini, M. (2017). *The effect of high pressure processing on recombinant chymosin, bovine rennet and porcine pepsin: Influence on the proteolytic and milk-clotting activities and on milk-clotting characteristics*. LWT - Food Science and Technology, 76, 351–360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.018>
- Júnior, B. R. de C., Tribst, A. A. L., Ribeiro, L. R., y Cristianini, M. (2019). *High pressure processing impacts on the hydrolytic profile of milk coagulants*. Food Bioscience, 31, 100449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100449>

Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., y Jaspal, M. H. (2019).

Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*, 18(1).

<https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>

Khan, U. Sameen, A. Decker, E. Shabbir, M. Hussain, S. Latif, A. Abdi, G. Aadil, R.

(2024). *Implementation of plant extracts for cheddar-type cheese production in conjunction with FTIR and Raman spectroscopy comparison.* *Química de Alimentos: X. V.22.*

<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101256>

Khattab, A. R., Guirguis, H. A., Tawfik, S. M., y Farag, M. A. (2019). *Cheese ripening:*

A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trends in Food Science &*

Technology, 88, 343–360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.009>

Kishore, A., Mukesh, M., Sobti, R. C., Kataria, R. S., Mishra, B. P., y Sodhi, M. (2014).

*Analysis of genetic variations across regulatory and coding regions of kappa-casein gene of Indian native cattle (*Bos indicus*) and buffalo (*Bubalus bubalis*).*

Meta Gene, 2, 769–781.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mgene.2014.10.001>

Koirala, P., Malav, O. P., Rai, S., Palanisamy, G., Agrawal, A., Dhar, B. K., Bekhit, A.-

D. A., Deokar, G. S., y Nirmal, N. (2024). *Impact of non-bovine milks and milk products on human gut microbiota: A perspective towards sustainable healthy food*

production. *Trends in Food Science & Technology*, 151, 104642.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104642>

Kowalczyk, M., Kotowska, N., Tarapata, J., y Zulewska, J. (2024). *The effect of*

coagulant type and refrigerated storage on texture and functional properties of

- low-moisture mozzarella cheese and pizza cheese analogues*. International Dairy Journal, 155, 105974. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105974>
- Latorre, J. D. (2018). *Lechería e industria quesera en la república del ecuador*. Santa Fé.
- Lázaro, S. F., Tonhati, H., Oliveira, H. R., Silva, A. A., Nascimento, A. V, Santos, D. J. A., Stefani, G., y Brito, L. F. (2021). *Genomic studies of milk-related traits in water buffalo (Bubalus bubalis) based on single-step genomic best linear unbiased prediction and random regression models*. Journal of Dairy Science, 104(5), 5768–5793. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2020-19534>
- Lemes, A. C., Pavón, Y., Lazzaroni, S., Rozycki, S., Brandelli, A., y Kalil, S. J. (2016). *A new milk-clotting enzyme produced by Bacillus sp. P45 applied in cream cheese development*. LWT - Food Science and Technology, 66, 217–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.038>
- Levante A, Bertani G, Marrella M, Mucchetti G, Bernini V, Lazzi C y Neviani E (2023). *La microbiota del queso Mozzarella di Bufala Campana DOP: un estudio sobre el proceso de fabricación*. Frente. Microbiol. 14:1196879. doi: 10.3389/fmicb.2023.1196879
- Lima de Paula, I., Scaldini Teixeira, E. B., d’Almeida Francisquini, J., Stephani, R., Perrone, Í. T., Fernandes de Carvalho, A., y Cappa de Oliveira, L. F. (2021). *Buffalo powder dairy products with and without lactose hydrolysis: Physical-chemical and technical-functional characterizations*. LWT, 151, 112124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112124>
- Liu, X., Wu, Y., Guan, R., Jia, G., Ma, Y., y Zhang, Y. (2021). *Advances in research on calf rennet substitutes and their effects on cheese quality*. Food Research

International, 149, 110704.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110704>

Liu, X., Wu, Y., Guan, R., Jia, G., Ma, Y., & Zhang, Y. (2021). *Advances in research on calf rennet substitutes and their effects on cheese quality*. Food Research International, 149. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110704>

Logan, A., Leis, A., Day, L., Øiseth, S. K., Puvanenthiran, A., y Augustin, M. A. (2015). *Rennet gelation properties of milk: Influence of natural variation in milk fat globule size and casein micelle size*. International Dairy Journal, 46, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.08.005>

López, J., Ochoa Manzo , G., & amp; Zamora Vega, R. (2023). *El queso y sus variedades*. Facultad de Químico Farmacobiología, 1-5.

Manuelian, C. L., Boselli, C., Vigolo, V., Giangolini, G., y De Marchi, M. (2020). *Effects of animal versus vegetal rennet on milk coagulation traits in Mediterranean buffalo bulk milk*. Journal of Dairy Science, 103(6), 4958–4964. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-17208>

Martinez Alvarez, M., Remón Díaz, D., Ribot Enríquez, A., Riverón Alemán, Y., Capdevila Varela, J., Hernández Monzón, A., Martínez Vasallo, A. (2020). *Evaluación de coagulante lácteo porcino en la elaboración de queso fresco artesanal*. Revista de Salud Animal, Vol. 42, No. 2, 1-11.

Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknyté, M., y De Noni, I. (2017). *Technological tools to include whey proteins in cheese: Current status and perspectives*. Trends in Food Science & Technology, 64, 102–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.007>

- Mejares, C. T., Huppertz, T., y Chandrapala, J. (2022). *Thermal processing of buffalo milk – A review*. International Dairy Journal, 129, 105311.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105311>
- Mohsin, A. Z., Norsah, E., Marzlan, A. A., Abd Rahim, M. H., y Meor Hussin, A. S. (2024). *Exploring the applications of plant-based coagulants in cheese production: A review*. International Dairy Journal, 148, 105792.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105792>
- Moran, J. P. (2017). *Construcción de vectores para la expresión de un gen sintético de proquimosina de búfalo (Bubalus bubalis) por Aspergillus niger*. [Tesis de grado de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1381>
- Morillo Piña, O. T., García Lugo, P. J., Ruizdael Guerrero Cardena, B., Torres Vielma, Y., Castañeda Ruiz, R. F., Morillo Piña, O. T., García Lugo, P. J., Ruizdael Guerrero Cardena, B., Torres Vielma, Y., y Castañeda Ruiz, R. F. (2015). *Evaluación de la producción experimental de enzimas coagulantes de leche utilizando cepas de Rhizomucor spp*. Revista Colombiana de Biotecnología, 17(1), 54–60. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.BIOTE.V17N1.50701>
- Nguyen, H. T. H., Ong, L., Beaucher, E., Madec, M.-N., Kentish, S. E., Gras, S. L., y Lopez, C. (2015). *Buffalo milk fat globules and their biological membrane: in situ structural investigations*. Food Research International, 67, 35–43.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.022>
- Niero, G., Chiarin, E., Cassandro, M., De Marchi, M., y Penasa, M. (2024). *Effects of calf rennet, and microbial and plant coagulants on rheological properties of milk*

- for Grana Padano PDO cheese production*. International Dairy Journal, 149, 105820. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105820>
- Nosedá, D. G., Recúpero, M., Blasco, M., Bozzo, J., y Galvagno, M. Á. (2016). *Production in stirred-tank bioreactor of recombinant bovine chymosin B by a high-level expression transformant clone of Pichia pastoris*. Protein Expression and Purification, 123, 112–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pep.2016.03.008>
- Ocampo, R., Gomez, C., Restrepo, D., y amp; Cardona, H. (2016). *Estudio comparativo de parámetros composicionales y nutricionales en leche de vaca, cabra y bufala*, Antioquia, Colombia. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 180-181.
- Pacifico, S., Caputo, E., Piccolella, S., y Mandrich, L. (2024). *Exploring New Fruit- and Vegetable-Derived Rennet for Cheese Making*. Applied Sciences (Switzerland), 14(6). <https://doi.org/10.3390/app14062257>
- Panthi, R. R., Kelly, A. L., Sheehan, J. J., Bulbul, K., Vollmer, A. H., y McMahon, D. J. (2019). *Influence of protein concentration and coagulation temperature on rennet-induced gelation characteristics and curd microstructure*. Journal of Dairy Science, 102(1), 177–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2018-15039>
- Pérez, I. (2016). *Efecto de la temperatura de cuajado de la leche sobre el rendimiento quesero, composición química y la valoración sensorial de quesos frescos de cabra*. Valencia.
- Petrella, G., Pati, S., Gagliardi, R., Rizzuti, A., Mastroianni, P., la Gatta, B., y Di Luccia, A. (2015). *Study of proteolysis in river buffalo mozzarella cheese using a proteomics approach*. Journal of Dairy Science, 98(11), 7560–7572. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9732>

- Pino, J. B. (2014). *Evaluación de dos métodos de determinación de acidez de la leche para elaborar quesos frescos y mozzarella, en la finca experimental punzara de la universidad nacional de loja*. Loja.
- Reina, M. (2021). “*Comparación del rendimiento y características fisicoquímicas y sensoriales de productos lácteos elaborados a partir de leche de búfala y de vaca*”. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Resolución 2310 de 1986. *Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos*. 24 de febrero de 1986.
- Resolución 1804 de 1989. *Por la cual se modifica la Resolución No 02310 de 1986, (24 de febrero) que reglamenta parcialmente el título V de la Ley 09 de 1979*. 3 de febrero de 1989.
- Ribeiro, L. R., Leite Júnior, B. R. de C., y Cristianini, M. (2018). *Effect of high-pressure processing on the characteristics of cheese made from ultrafiltered milk: Influence of the kind of rennet*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 57–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.012>
- Riebel, B., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., y Lucey, J. A. (2024). *Functionality of process cheese made from Cheddar cheese with various rennet levels and high-pressure processing treatments*. *Journal of Dairy Science*, 107(1), 74–90. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23825>
- Robles, M., (2021). *Comparación del rendimiento y características fisicoquímicas y sensoriales de productos lácteos elaborados a partir de leche de búfala y de vaca*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/17310>

- Romero, J. (23 de febrero de 2024). *Estos son los productos con leche de búfala que Colombia exporta ahora a Estados Unidos y Chile*. Infobae.
<https://www.infobae.com/colombia/2024/02/23/productos-de-leche-de-bufala-del-departamento-de-cordoba-calidad-de-exportacion-que-brilla-en-mercados-de-estados-unidos-y-chile/>
- Roy, D., Ye, A., Moughan, P. J., y Singh, H. (2020). *Gelation of milks of different species (dairy cattle, goat, sheep, red deer, and water buffalo) using glucono- δ -lactone and pepsin*. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 5844–5862.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-17571>
- Sáez, B. L. (s.f.). *Caracterización fisicoquímica y composicional de la leche de búfala*. Planeta Rica: Revista Colanta Pecuaria edición 55.
- Saito, M. (2014). *Defectos mas comunes en los quesos*. Crh Hansen. Tecnolacteoscarnicos. <https://www.tecnolacteoscarnicos.com/resumen/2014/p3.pdf>
- Sales, D. C., Rangel, A. H. N., Urbano, S. A., Freitas, A. R., Tonhati, H., Novaes, L. P., Pereira, M. I. B., y Borba, L. H. F. (2017). *Relationship between mozzarella yield and milk composition, processing factors, and recovery of whey constituents*. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4308–4321.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-12392>
- Salinas, L. E. (2023). *Problemas derivados de la fabricación de quesos en la empresa puragro s.a.c*. Lima.
- Sarkar, D., y Naha, S. (2024). *Advancement in species specific adulteration identification in camel milk*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 130, 106168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106168>

- Shakerian, M., Kiani, H., y Ehsani, M.-R. (2016). *Effect of buffalo milk on the yield and composition of buffalo feta cheese at various processing parameters*. Food Bioscience, 15, 110–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.06.002>
- Silva, B. L., Geraldés, F. M., Murari, C. S., Gomes, E., y Da-Silva, R. (2014). *Production and characterization of a milk-clotting protease produced in submerged fermentation by the thermophilic fungus Thermomucor indicae-seudaticae N31*. Applied Biochemistry and Biotechnology, 172(4), 1999–2011. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0655-7>
- Sigcha, N. M. (2021). *Efecto de técnicas de coagulación ácido enzimática sobre las características funcionales y rendimiento de queso tipo mozzarella*. Ibarra-Ecuador: Universidad Técnica del Norte-Biblioteca Universitaria.
- Siti Roha, A. M., Najihah, M. N., Muhammad Yazid, A. H., Noorlaila, A., Siti Aimi Sarah, Z. A., y Adi, M. S. (2022). *Optimisation of soft cheese production conditions using papain as a plant-based enzyme by response surface methodology (RSM)*. Food Research, 6, 9–18. [https://doi.org/10.26656/FR.2017.6\(S4\).002](https://doi.org/10.26656/FR.2017.6(S4).002)
- Soledad, N. (2024). *Queso de búfala, un tesoro culinario*. Edairynews. <https://es.edairynews.com/queso-de-bufala-un-tesoro-culinario/>
- Sturaro, A., Penasa, M., Cassandro, M., Varotto, A., y De Marchi, M. (2014). *Effect of microparticulated whey proteins on milk coagulation properties*. Journal of Dairy Science, 97(11), 6729–6736. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2014-8157>
- Stocco, G., Cipolat-Gotet, C., Bonfatti, V., Schiavon, S., Bittante, G., y Cecchinato, A. (2016). *Short communication: Variations in major mineral contents of Mediterranean buffalo milk and application of Fourier-transform infrared*

- spectroscopy for their prediction*. Journal of Dairy Science, 99(11), 8680–8686.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-11303>
- Tierra, M. (2017). *Evaluación de enzimas coagulantes del estómago de conejo en la elaboración de queso fresco*. Riobamba.
- Timón, M. L., Andrés, A. I., Otte, J., y Petró, M. J. (2019). *Antioxidant peptides (<3 kDa) identified on hard cow milk cheese with rennet from different origin*. Food Research International, 120, 643–649.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.019>
- Tituaña, R. (2015). *Influencia de la temperatura de pasteurización, coagulación y de cloruro de calcio en el rendimiento de queso fresco elaborado a partir de leche de vaca*. Ibarra.
- Tonanzin, M., y García Gómez, C. (2017). *Efecto de tres agentes coagulantes (microbiano, vegetal y animal) sobre la características físicoquímicas, texturales y aceptación de un queso de pasta dura*. Tesis, 1-87.
- Troncoso, H. (2014). *Producción de leche y biosíntesis*. Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica, FMVZ, UNAM. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/59-Produccion_Leche_y_Biosintesis.pdf
- Tyagi, A., Kumar, A., Mohanty, A. K., Kaushik, J. K., Grover, S., y Batish, V. K. (2017). *Expression of buffalo chymosin in Pichia pastoris for application in mozzarella cheese*. LWT, 84, 733–739.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.033>

- Tyagi, A., Kumar, A., Yadav, A. K., Chandola Saklani, A., Grover, S., y Batish, V. K. (2016). *Functional expression of recombinant goat chymosin in Pichia pastoris bioreactor cultures: A commercially viable alternate*. LWT - Food Science and Technology, 69, 217–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.015>
- Usgame-fagua, G., Angélica, M., Rojas, M., y Medina, V. (2022). *Influencia de las enzimas coagulantes de la leche sobre la composición lipídica y propiedades organolépticas de quesos semi-madurados*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 20(1), 97–112. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1827>
- Vásquez, J., Novoa, C., y amp; Carulla, J. (2014). *Efecto del recuento de células somáticas sobre la aptitud quesera de la leche y en la calidad fisicoquímica y sensorial del queso campesino [Somatic cell count effect on cheese yield and quality of fresh cheese]*. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 171-185.
- Verma, S. K., Sood, S. K., Saini, R. K., y Saini, N. (2017). *Pediocin PA-1 containing fermented cheese whey reduces total viable count of raw buffalo (Bubalis bubalus) milk*. LWT - Food Science and Technology, 83, 193–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.031>
- Warakaulle, S., Mohamed, H., Ranasinghe, M., Shah, I., Yanyang, X., Chen, G., Ayyash, M. M., Vincent, D., y Kamal-Eldin, A. (2024). *Advancement of milk protein analysis: From determination of total proteins to their identification and quantification by proteomic approaches*. Journal of Food Composition and Analysis, 126, 105854. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105854>

- Wehaidy, H. R., Abdel-Naby, M. A., Kholif, A. M. M., Elaaser, M., Bahgaat, W. K., y Wahab, W. A. A. (2023). *The catalytic and kinetic characterization of Bacillus subtilis MK775302 milk clotting enzyme: comparison with calf rennet as a coagulant in white soft cheese manufacture*. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 21(1), 61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s43141-023-00513-w>
- Wittwer, A. E., Lee, S. G., y Ranadheera, C. S. (2023). *Potential associations between organic dairy products, gut microbiome, and gut health: A review*. Food Research International, 172, 113195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113195>
- Yang, Z., Wang, J., Wang, B., Cao, Y. (2025). *Characterization of Volatile Compounds in Mozzarella Cheeses Made from Bovine and Buffalo Milk by SPME-GC×GC-O-TOFMS, SPME-Arrow-GC-MS and GC-IMS*. Journal of dairy science. DOI: 10.3168/jds.2024-25705
- Zhang, Y., Xia, Y., Ding, Z., H. Lai, P. F., Wang, G., Xiong, Z., Liu, X., y Ai, L. (2019). *Purification and characteristics of a new milk-clotting enzyme from Bacillus licheniformis BL312*. LWT, 113, 108276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108276>
- Zhang, J., Wei, L., Miao, J., Yu, Y., Yu, N., Hu, Q., Chen, H., y Chen, Y. (2024). *Authenticity identification of animal species in characteristic milk by integration of shotgun proteomics and scheduled multiple reaction monitoring (MRM) based on tandem mass spectrometry*. Food Chemistry, 436, 137736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137736>

- Zhao, Q., Shi, Y., Wang, X., y Huang, A. (2020). *Characterization of a novel antimicrobial peptide from buffalo casein hydrolysate based on live bacteria adsorption*. Journal of Dairy Science, 103(12), 11116–11128.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2020-18577>
- Zhao, Q., Zheng, W., Yuan, Z., Wang, X., y Huang, A. (2023). *Anti-inflammatory effect of two novel peptides derived from Binglangjiang buffalo whey protein in lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 macrophages*. Food Chemistry, 429, 136804. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136804>
- Zicarelli, L., Di Palo, R., Napolano, R., Tonhati, H., De Carlo, E., Gagliardi, R., Di Luccia, A., y la Gatta, B. (2020). *Influence of $\alpha S1$ -casein and κ -casein polymorphism on the curd yield of Italian Mediterranean buffalo (*Bubalus bubalis* L.) milk*. International Dairy Journal, 100, 104559.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104559>

Tabla 20

Formato para revisión de artículos RAE.

1. IDENTIFICACIÓN DEL ARTÍCULO
Tema: Efectos del cuajo animal y microbiano
Título: Estudio sobre los efectos del cuajo animal y microbiano en el proceso de elaboración de quesos con leche de búfala, mediante exploración bibliográfica
Autores: Heidy Johana Palacio Sánchez y Juan Camilo Jaramillo Ayala
Directora: Diana Edith Molina Soler
Año: 2025
Programa: Ingeniería de alimentos

2. RESUMEN
<p>La leche de búfala tiene un alto valor nutricional y características sensoriales óptimas para la producción de quesos. Su alto contenido proteico y graso permite elaborar quesos de textura suave y sabor distintivo. Estos atributos dependen de factores como la genética, raza, edad, alimentación y condiciones ambientales que tenga el animal, así como del tipo de coagulante y del proceso productivo utilizado. Esta monografía presenta una revisión bibliográfica de artículos publicados en los últimos 10 años, con el objeto de explorar el uso del coagulante animal o microbiano en la elaboración de quesos de leche de búfala, optimizando su calidad y productividad. No se encontraron diferencias significativas en la funcionalidad del cuajo animal o microbiano. Aunque el coagulante animal, tiene una menor agresividad en la actividad sobre la caseína, lo que potencia el fenómeno de coagulación y mejora su percepción sensorial. Sin embargo, su disponibilidad es limitada y su uso no es aceptado por vegetarianos. Por su parte, el cuajo microbiano funciona como opción homologa, con mayor beneficio de abastecimiento, pero genera un menor</p>

rendimiento por su hidrólisis inespecífica y un sabor residual. Adicionalmente, se ha reportado que alrededor del 35% de la proteasa de *R. miehei* sigue activa después de un tratamiento térmico a 80 °C durante 10 min, mientras que el cuajo de ternera se inactiva a los 62 °C. Con esta revisión, se espera contribuir al conocimiento sobre la elección del coagulante y al desarrollo de nuevos quesos que aprovechen al máximo las cualidades de la leche de búfala.

3. PALABRAS CLAVE

Cuajo animal, leche de búfala, rendimiento, enzimas, caseína, nutrición.

4. CONTENIDO

Tabla de contenido

Introducción

Planteamiento del problema

Justificación

Objetivos

Objetivo general

Objetivos Específicos

Análisis bibliométrico

Definición de los términos de búsqueda.

Capítulo I: leche de búfala

Concepto de leche de búfala.

Biosíntesis de la leche.

Composición nutricional.

Características fisicoquímicas.

Microbiología de la leche cruda.

Comparación económica y nutricional de la leche de búfala frente a la leche de vaca.

Producción de leche de Búfala en el mundo y en Colombia.

Subproductos que se pueden obtener a partir de la leche de Búfala.

Consumo de leche de Búfala y sus derivados

Conclusiones

Capítulo II: introducción a la fabricación de quesos de búfala.

Historia del queso.

Definición del queso.

Variedades de queso de Búfala.

Procedimiento de elaboración.

Operaciones básicas del proceso.

Equipos utilizados para el proceso de elaboración de quesos de Búfala.

Estandarización de la leche.

Subproductos.

Conclusiones

Capítulo III: condiciones de proceso y formulación al utilizar cuajo animal o microbiano.

Formulación de quesos.

Coagulantes y precipitantes.

Coagulación ácida.

Coagulación enzimática

Coagulación mixta

Enzimas coagulantes.

Cuajo animal.

Quimosina recombinante.

Cuajos microbianos.

Incidencia del pH sobre el queso.

Reguladores de acidez.

Uso legal de aditivos.

Condiciones de proceso y factores que influyen en la coagulación, calidad y rendimiento del queso de acuerdo con el tipo de cuajo utilizado para la producción de queso de Búfala.

Calidad y rendimiento en la producción del queso de búfala.

Conclusiones

Capítulo IV: Control y calidad en la elaboración de quesos de búfala.

Aspectos de calidad.

Características fisicoquímicas y nutricionales.

Características microbiológicas

Efectos sensoriales

Defectos del queso

Conclusiones

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye el tipo de cuajo, animal o microbiano, en las características productivas, sensoriales y nutricionales del queso fresco elaborado a partir de leche de búfala?

5. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar el efecto productivo, sensorial y nutricional de utilizar cuajo de origen animal y

microbiano para la elaboración de quesos frescos a partir de leche de búfala, mediante revisión bibliográfica.

Objetivos Específicos

Identificar el estado de arte en cuanto las características, composición nutricional, sistema de producción, manejo sanitario y subproductos que se pueden obtener a partir de la leche de Búfala, con el fin de comprender su idoneidad en la producción de quesos en Colombia.

Examinar las condiciones de proceso al utilizar cuajo animal y microbiano en la fabricación de quesos de búfala para garantizar su calidad, rendimiento y producción, mediante revisión y análisis crítico de la bibliografía registrada en los últimos 10 años (2014 - 2024).

Comparar los efectos productivos, sensoriales y nutricionales del uso de cuajo animal o microbiano en la elaboración de quesos frescos de búfala, que facilite conocer su viabilidad funcional.

6. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Se basó en un riguroso análisis bibliométrico. Seleccionando y evaluando las fuentes de información más relevantes y de alta calidad, las fuentes bibliográficas consultadas se obtuvieron mediante el ingreso a la biblioteca de la UNAD, donde se consultaron diversas bases de datos, tales como Scopus, ScienceDirect, DOAJ, EBSCO y Scielo, que proporcionaron información importante sobre el tema seleccionado.

Para optimizar el proceso de búsqueda y no dejar tan amplia la gama de resultados que se pudieran obtener de la investigación y recolección de documentos, se aplicaron filtros

en las bases de datos que acortaron el margen de búsqueda al tema objetivo. Esto permitió ser más específicos con la propuesta analizada y obtener resultados más claros y precisos. Se identificaron palabras clave y descriptores específicos y para obtener información relevante y de calidad, se emplearon las siguientes ecuaciones de búsqueda: "Cheese Buffalo AND protein AND Enzymes AND casein AND NOT vegetable AND NOT ripened cheese", "Casein AND fresh cheese AND Buffalo milk AND proteolysis AND NOT lactic cultures", "Animal rennet AND microbial rennet AND NOT vegetable rennet AND buffalo milk AND buffalo cheese", "Sensory quality AND nutritional quality AND buffalo milk AND coagulant AND NOT fermented milk AND cheese yield", "Rennet functionality AND NOT vegans AND buffalo milk AND enzymes AND peptides AND hydrolysis AND fresh buffalo cheese", "Animal rennet OR microbial rennet AND buffalo cheese AND cheese production AND NOT lactic culture AND NOT antioxidant AND buffalo milk".

8. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Para la construcción de esta monografía se emplearon procesadores de texto, como Word Excel y OneDrive; Gestores de referencias bibliográficas como Mendeley; Herramientas de búsqueda académica entre ellas Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, DOAJ, EBSCO y dispositivos tecnológicos: Computadora Portátil y Smartphone.

9. RESULTADOS

La composición nutricional de la leche de búfala la convierte en una excelente materia prima para la elaboración de quesos de alta calidad ya que su contenido de grasa es 122% más alta que la de vaca y la cantidad de proteína 22% más. Sin embargo, es fundamental optimizar cada etapa del proceso de elaboración del queso para obtener un

producto de alta calidad y consistente, controlando las variables influyentes como lo son el pH, la temperatura, los iones de calcio, el tiempo y la acidez. Adicional cómo resultado final se encuentra que el cuajo, ya sea animal o microbiano, juega un papel fundamental en la determinación de las características sensoriales y texturales del queso de búfala, sin embargo no se logra determinar una diferencia significativa en el uso de estos, ya que la información en la literatura sobre este tema actualmente es muy limitada.

10. CONCLUSIONES

Colombia cuenta con un número significativo de búfalas, lo que representa una base sólida para la producción de leche y sus derivados. Sin embargo, este potencial aún no se ha explotado al máximo. Existe un amplio margen de crecimiento en la producción y comercialización de leche de búfala y sus productos derivados, lo que representa una oportunidad para diversificar la producción láctea nacional y agregar valor a la cadena productiva. Adicionalmente se puede concluir que la leche de búfala posee características únicas que la hacen altamente valorada en el mercado, como un mayor contenido de grasa y proteínas, lo que la convierte en una materia prima ideal para la elaboración de quesos de alta calidad y otros productos lácteos. Además, la crianza de búfalas se adapta bien a diversas condiciones climáticas y geográficas de Colombia, lo que facilita su producción en diferentes regiones del país.

A lo largo de la historia, los métodos de elaboración han evolucionado las técnicas artesanales transmitidas de generación en generación a procesos más industrializados que buscan optimizar la producción y garantizar la calidad. La incorporación de operaciones unitarias precisas, como la pasteurización, la coagulación, el corte de la cuajada, el desuerado y el salado, ha permitido obtener productos más seguros y con

características organolépticas más consistentes.

Se puede inferir entonces que la leche de búfala es una materia prima única que confiere al queso características organolépticas especiales, como un sabor más intenso, una textura más cremosa y un mayor contenido de grasa. Su composición química, rica en caseínas y grasas de cadena media, favorece la formación de una pasta más elástica y compacta. Además, la leche de búfala contiene una mayor cantidad de minerales, lo que contribuye a un sabor más complejo y a una mejor conservación del queso. La calidad de la leche de búfala es un factor determinante en la calidad final del queso, por lo que es fundamental garantizar una correcta alimentación y manejo de los animales.

Las enzimas, tanto de origen animal como microbiano, desempeñan un papel fundamental en la coagulación del queso. Estas biomoléculas catalizan reacciones que modifican las características de las proteínas, y durante el proceso de hidrólisis se integran con las demás macromoléculas, dando lugar a texturas, apariencias, y si estas van acompañadas de algún método de acidificación como con ácidos o cultivos también brinda sabores y aromas característicos de cada tipo de queso. Las condiciones de proceso, como la temperatura, el pH y cofactores como iones de calcio durante la coagulación influyen directamente en la calidad y seguridad del queso de búfala. Un control riguroso de estos parámetros es esencial para garantizar la formación de una cuajada adecuada, prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos y obtener un producto final con las características deseadas.

La calidad de la leche de búfala es fundamental para obtener un queso de alta calidad, Durante la elaboración del queso, se deben monitorizar variables como la temperatura, el pH, el tiempo de coagulación y la humedad relativa. Estos parámetros influyen

directamente en la formación de la cuajada, la sinéresis, la textura y el sabor del queso. Las características fisicoquímicas y nutricionales del queso de búfala están estrechamente relacionadas con su calidad, El contenido de grasa, proteína, lactosa y minerales influye en el sabor, la textura y el valor nutricional del queso.

No obstante, es importante tener en cuenta la elección del cuajo, ya sea animal o microbiano, tiene un impacto significativo en las propiedades sensoriales del queso de búfala, dado que el cuajo animal generalmente proporciona un sabor más complejo y una textura más firme. Sin embargo, su disponibilidad puede ser limitada y su calidad puede variar, mientras que el cuajo microbiano, ofrece una mayor reproducibilidad y permite obtener quesos con características más uniformes. Además, existen diferentes tipos de cuajo microbiano, cada uno con propiedades específicas que pueden adaptarse a diferentes tipos de queso. Los resultados de esta investigación indican que tanto los cuajos microbianos como los animales presentan ventajas y desventajas. Los cuajos microbianos ofrecen una mayor flexibilidad en términos de aplicaciones y pueden ser utilizados en la producción de quesos con características específicas. Por otro lado, los cuajos animales, como la quimosina, proporcionan resultados más consistentes y pueden ser preferidos para ciertos tipos de quesos tradicionales. La elección del coagulante óptimo dependerá de un balance entre las características deseadas del producto final y las consideraciones económicas y técnicas. Es por esto que no se puede ingerir cual sería el cuajo óptimo en la elaboración del queso de búfala, pues no es una cuestión del mejor o del no tan bueno, sino de la mejor adaptación a las características deseadas del producto final y a las condiciones de producción. Adicional se deben considerar aspectos como la textura deseada, el sabor, la velocidad de maduración, el costo del coagulante, la disponibilidad y las regulaciones locales.

11.	REFERENTES	TEÓRICOS RELEVANTES	UTILIZADOS	POR
EL INVESTIGADOR				
<p>Arboleda, E. T. (2013). <i>Estudio de mercado de la leche y el queso mozzarella de bufala en Medellín, para colanta</i>. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, págs. 1-86</p>				
<p>DSM. (s, f). <i>Maxiren. Coagulante de alta Calidad, 100% quimosina pura</i>. Boletín Técnico. DSM Food Specialties B.V. Países Bajos.</p>				
<p>Fresno, M., Argüello, A., Torres, A., Castro, N., Álvarez, S., & Sepe, L. (2023). <i>Invited review. Milk clotting enzymes: A transcendental decision in goat's milk cheese quality</i>. <i>Small Ruminant Research</i>, 229, 107147. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107147</p>				
<p>Levante A, Bertani G, Marrella M, Mucchetti G, Bernini V, Lazzi C y Neviani E (2023). <i>La microbiota del queso Mozzarella di Bufala Campana DOP: un estudio sobre el proceso de fabricación</i>. <i>Frente. Microbiol.</i> 14:1196879. doi: 10.3389/fmicb.2023.1196879</p>				
<p>Shakerian, M., Kiani, H., & Ehsani, M.-R. (2016). <i>Effect of buffalo milk on the yield and composition of buffalo feta cheese at various processing parameters</i>. <i>Food Bioscience</i>, 15, 110–117. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.06.002</p>				