

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano



Edwin Causado Rodríguez
Andrés Felipe Alvarado Reyes
Isaac Manuel Romero Borja

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

**Edwin Causado Rodríguez
Andrés Felipe Alvarado Reyes
Isaac Manuel Romero Borja**

Causado Rodríguez, Edwin, autor.

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano / Edwin Causado Rodríguez, Andrés Felipe Alvarado Reyes e Isaac Manuel Romero Borja. -- Primera edición. -- Santa Marta, Colombia : Editorial Unimagdalen, 2026.

1 recurso en línea : archivo de texto: PDF.

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-628-7904-26-2 (pdf) -- 978-628-7904-25-5 (epub) -- 978-628-7904-24-8 (IBD)

1. Leche -- Análisis de laboratorio -- Colombia. 2. Queso costeño -- Análisis de laboratorio -- Colombia. 3. Inocuidad alimentaria -- Colombia. 4. Logística de laboratorio. 5. Seguridad alimentaria -- Colombia. 6. Productos lácteos -- Control de calidad -- Colombia. 7. Microbiología de alimentos. I. Alvarado Reyes, Andrés Felipe, autor. II. Romero Borja, Isaac Manuel, autor. III. Universidad del Magdalena. Editorial Unimagdalen. IV. Título.

CDD: 664.07

Primera edición, abril de 2026

2026 © Universidad del Magdalena. Derechos Reservados.

Editorial Unimagdalen

Calle 29H3 n.º 22-01

Edificio de Innovación y Emprendimiento

(57 - 605) 4381000 Ext. 1888

Santa Marta D.T.C.H. - Colombia

editorial@unimagdalen.edu.co

<https://editorial.unimagdalen.edu.co/>

Rector: Pablo Vera Salazar

Vicerrector de Investigación: Jorge Enrique Elías-Caro

Coordinadora de Publicaciones y Fomento Editorial: Angélica María Cortes Martínez

Diseño editorial: Luis Felipe Márquez Lora

Diagramación: Eduard Hernández Rodríguez

Diseño de portada: Luis Felipe Márquez Lora

Corrección de estilo: Juan Diego Mican González

Santa Marta, Colombia, 2026

ISBN: 978-628-7904-26-2 (pdf)

ISBN: 978-628-7904-25-5 (epub)

ISBN: 978-628-7904-24-8 (IBD)

DOI: <https://doi.org/10.21676/9786287904262>

Hecho en Colombia - Made in Colombia

La UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, en su calidad de editora y titular de derechos patrimoniales de autor, y en su propósito de contribuir con la difusión y divulgación del conocimiento, la producción intelectual y la educación, dispone autorizar la reproducción impresa así como su distribución, reproducción digital y puesta a disposición de la totalidad o parte del presente libro de manera libre y gratuita, en tanto se mantenga la integridad del texto y se dé la correspondiente cita a sus autores y mención institucional. No se autoriza la realización de versiones derivadas ni traducciones o adaptaciones. Queda prohibida la comercialización o venta a cualquier título de este material.



Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad de los autores y no comprometen al pensamiento institucional de la Universidad del Magdalena, ni generan responsabilidad frente a terceros.

Tabla de contenido

Presentación	12
Introducción.....	16
1. Calidad, inocuidad y seguridad para el consumo de los alimentos	20
1.1. Calidad y la necesidad de estandarizar los procesos logísticos de laboratorio de análisis de productos agroalimentarios.....	20
1.2. La inocuidad en los alimentos.....	23
1.3. Seguridad en el consumo de los alimentos.....	27
2. Planeación logística para el control de la calidad de los alimentos mediante análisis de laboratorio: fase preanalítica	32
2.1. Revisión de antecedentes	32
2.2. Inocuidad	33
2.3. Muestreo.....	36
2.4. Normativa	49
3. Procesos logísticos de toma de muestras de leche y queso costeño: fase preanalítica	54
3.1. El circuito de la calidad	54
3.2. Planeación de la gestión del muestreo en laboratorio.....	57
3.3. Salida de campo y toma de muestras de leche y de queso costeño.....	59
3.4. Personal y procedimientos para la toma de muestras.....	63
3.5. Consideraciones respecto a las muestras	64
3.6. Tamaño de la muestra	65

3.7. Preservación, almacenamiento y transporte de la muestra...	67
3.8. Aspectos logísticos adicionales en el proceso de muestreo...	68
4. Procesos logísticos de laboratorio para muestras de leche y queso costeño del Caribe colombiano: fases analítica y postanalítica.....	72
4.1. Fase analítica.....	72
4.2. Fase postanalítica	91
4.3. Indicadores clave de desempeño.....	96
5. Ejemplo de informes de laboratorio de muestras de leche y queso costeño del Caribe colombiano: fase postanalítica ...	99
5.1. Descripción de los informes de resultados.....	99
Anotaciones finales	149
Referencias bibliográficas	152
Anexos	163
Acerca de los autores	168

Listado de tablas

Tabla 1. Aspectos fundamentales que justifican la estandarización de los procesos logísticos de laboratorios.....	21
Tabla 2. Normativa nacional para el cumplimiento de la garantía de la inocuidad	34
Tabla 3. Normativa internacional para el cumplimiento de la garantía de la inocuidad	35
Tabla 4. Ejemplo de identificación de actor y de área de estudio dentro de la cadena de suministro de queso costeño	38

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de las TIC en campo	41
Tabla 6. Estudios y avances en la implementación de los análisis bromatológico y microbiológico en la leche y el queso....	42
Tabla 7. Matriz de recursos logísticos de insumos y equipamiento requeridos para el análisis microbiológico y bromatológico del queso costeño	44
Tabla 8. Requisitos microbiológicos para el queso fresco de acuerdo con la NTC 750 de 2009 (queso fresco/queso costeño)	46
Tabla 9. Requisitos microbiológicos para la leche cruda tomada en hato establecidos por la NTC 399 de 2002	46
Tabla 10. Requisitos bromatológicos para el queso fresco	47
Tabla 11. Límites máximos de contaminantes en quesos.....	48
Tabla 12. Requisitos bromatológicos para la leche cruda tomada en hato establecidos por la NTC 399 de 2002	48
Tabla 13. Normas relacionadas con el procesamiento, la composición, los requisitos, el transporte y la comercialización de derivados lácteos y su toma de muestra en Colombia.....	50
Tabla 14. Diagrama de flujo Sipoc para llevar a cabo el análisis microbiológico de queso costeño en laboratorio	52
Tabla 15. Diagrama de flujo Sipoc para llevar a cabo el análisis bromatológico de queso costeño en laboratorio	53
Tabla 16. Matriz de recursos logísticos (implementos y equipos sanitarios) necesarios para la toma de muestras con NIR.....	66
Tabla 17. Matriz de recursos logísticos para toma de muestras...	73
Tabla 18. Resumen de valoración por criterios	93
Tabla 19. Concepto final del resumen de la valoración de estándares de calidad y trazabilidad en salud pública para laboratorios	93
Tabla 20. Medidas sancionatorias de la valoración de estándares de calidad y trazabilidad en salud pública para laboratorios	94

Tabla 21. Estándares de calidad aplicados a la logística del transporte externo en laboratorios.....	95
Tabla 22. Indicadores clave de desempeño en laboratorio de análisis de muestras agroalimentarias	96
Tabla 23. Listado preliminar de productores que proporcionaron muestras de leche y queso costeño en la subregión sur del departamento del Magdalena	101
Tabla 24. Cantidad de muestras recolectadas por municipios en la subregión sur del departamento del Magdalena.....	103
Tabla 25. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio El Banco.....	108
Tabla 26. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio Guamal	111
Tabla 27. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio Guamal	113
Tabla 28. Recopilación de los resultados de toma de muestra de leche en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana	114
Tabla 29. Recopilación de los resultados de toma de muestra de queso en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	116
Tabla 30. Resultados de los análisis de variables <i>in situ</i> de la leche muestreada en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	117
Tabla 31. Parámetros bromatológicos <i>in situ</i> del queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana: pH y temperatura	122
Tabla 32. Composición bromatológica de las muestras de queso costeño recolectadas en municipios El Banco, Guamal y Santa Ana: grasa, humedad, sal, proteína y sólidos totales.....	124
Tabla 33. Designación de quesos costeños de la subregión sur del Magdalena según su contenido de humedad sin materia grasa	131
Tabla 34. Designación de quesos costeños de la subregión sur del Magdalena según contenido de materia grasa en extracto seco.....	133

Tabla 35. Resultados microbiológicos de la leche cruda en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	134
Tabla 36. Resultados microbiológicos de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	137

Listado de figuras

Figura 1. Mapa de procesos logísticos de laboratorio para análisis de inocuidad de muestras de leche y queso costeño.....	22
Figura 2. Ruta de la salida preliminar	39
Figura 3. Herramienta digital para la ubicación del punto de georreferencia	40
Figura 4. Uso de SurveyCam – Cámara GPS para la ubicación del punto de georreferencia.....	40
Figura 5. Trazabilidad de operaciones logísticas por fases para aplicación de análisis bromatológico y microbiológico de muestras de leche y queso costeño en laboratorio.....	56
Figura 6. Cronograma típico de procedimientos logísticos para el muestreo en laboratorio.....	57
Figura 7. Diagrama de procesos logísticos de toma de muestras.....	59
Figura 8. Diagrama de recorrido y de procesos logísticos de toma de muestras de leche y queso costeño.....	63
Figura 9. Resumen de proceso logístico para la toma de muestras.....	70
Figura 10. Preparación de diluciones seriadas con muestra de queso costeño o leche	77

Figura 11. Determinación de coliformes totales y <i>E. coli</i> con agar EMB.....	78
Figura 12. Determinación de mohos y levaduras en agar PDA	78
Figura 13. Determinación de <i>S. aureus</i> en agar BP.....	79
Figura 14. Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> en muestra de queso costeño	80
Figura 15. Determinación de <i>L. monocytogenes</i> en muestra de queso costeño.....	81
Figura 16. Mapa de toma de muestras en el municipio El Banco.....	104
Figura 17. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Lácteos del M.....	104
Figura 18. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera C.....	105
Figura 19. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera Z y R	106
Figura 20. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M.....	107
Figura 21. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Lácteos M.....	108
Figura 22. Mapa de toma de muestras en el municipio Guamal.....	109
Figura 23. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Finca V.....	110
Figura 24. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M.....	110
Figura 25. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Asogran	111
Figura 26. Mapa de toma de muestras en el municipio Santa Ana	112
Figura 27. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M.....	113
Figura 28. Valores de densidad en las muestras de leche de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	118

Figura 29. Resultados <i>in situ</i> de pH de las muestras de leche recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana ...	120
Figura 30. Resultados <i>in situ</i> de temperatura de las muestras de leche tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	121
Figura 31. Resultados <i>in situ</i> de temperatura de las muestras de queso tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	123
Figura 32. Resultados <i>in situ</i> de pH de las muestras de queso tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	124
Figura 33. Contenido de grasa de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	125
Figura 34. Contenido de humedad de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	126
Figura 35. Contenido de sal de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana	127
Figura 36. Contenido de proteína de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	129
Figura 37. Contenido de sólidos totales de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	130
Figura 38. Distribución porcentual del contenido de humedad sin materia grasa en las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana	132
Figura 39. Distribución porcentual de materia grasa en extracto seco en las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	134
Figura 40. Resultados de mesófilos aeróbicos de las muestras de leche de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana	135
Figura 41. Recuento en escala logarítmica de coliformes totales en las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	137
Figura 42. Recuento en UFC/g de coliformes totales en las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	138

Figura 43. Recuento en escala logarítmica de <i>E. Coli</i> de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	139
Figura 44. Recuento en UFC/g de <i>E. Coli</i> de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	140
Figura 45. Recuento en UFC/g de mohos y levaduras de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	141
Figura 46. Recuento en escala logarítmica de <i>S. aureus</i> de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	143
Figura 47. Recuento en UFC/g de <i>S. aureus</i> de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana.....	143
Figura 48. Distribución porcentual de los resultados de presencia de <i>Salmonella</i> en las muestras de queso costeño de la subregión sur del Magdalena.....	145
Figura 49. Distribución porcentual de los resultados de la presencia de <i>Listeria</i> de las muestras de queso costeño de la subregión sur del Magdalena.....	147

Presentación

Las enfermedades originadas por el consumo de alimentos contaminados siempre han estado presentes a lo largo de la evolución humana, ya sea por desconocimiento, por mala manipulación o por una ingesta de productos en estado de descomposición. En la historia moderna, durante ciertos periodos llamados «ciclos» o «estacionalidades en el tiempo», se han presentado enfermedades masivas a gran escala, denominadas pandemias, debido sobre todo a las malas prácticas higiénicas de los seres humanos en su conexión con su hábitat, además del uso impropio de los recursos naturales. El evento más reciente de esta índole fue el de COVID-19, causado por el virus SARS-CoV-2.

Desde esta perspectiva, la aparición de enfermedades derivadas de la manipulación incorrecta y el consumo inadecuado de alimentos ha despertado una alerta constante en la sociedad. Así, en gran parte del mundo se han implementado medidas preventivas con el fin de evitar o minimizar cualquier riesgo a la salud debido a la alimentación. Estas regulaciones, a su vez, han llevado a los consumidores a aumentar sus exigencias en la producción de alimentos, demandando garantías de inocuidad tanto en su elaboración como en su consumo.

Una herramienta fundamental para prevenir la proliferación de enfermedades transmitidas por alimentos, especialmente en el sector lácteo, son los análisis de laboratorio, como los bromatológicos y los microbiológicos. De hecho, estas pruebas también contribuyen a reducir los impactos ambientales y a optimizar los procesos productivos. Por lo tanto, es clave que, al incorporar y manejar estos estudios dentro del aparato productivo alimentario, se articulen con

los procesos logísticos de manera que su examen abarque desde las materias primas hasta los productos en elaboración y terminados. Asimismo, conviene definir claramente su uso mediante operaciones estandarizadas.

Mediante un riguroso proceso de laboratorio que contemple toma de muestras, análisis y entrega de informes, cualquier organización de transformación de alimentos podrá conocer la calidad, la higiene y la inocuidad de sus productos a lo largo de la cadena productiva: desde la manipulación de los insumos, el equipamiento y la mano de obra hasta el empaque y el transporte. En el caso concreto de la industria de los lácteos (leche, queso fresco, queso costeño), la implementación de estas herramientas resulta indispensable para garantizar que sus productos sean más seguros para el consumo humano.

En particular, la cadena de suministro del queso costeño en el Caribe colombiano requiere una transformación de su cultura empresarial de manera que la lógica de la inocuidad y la higiene alimentaria se incorpore en todos sus eslabones. Esta premisa debe regir los procesos de elaboración del producto, incluyendo espacios de manipulación y equipamiento, así como al personal en contacto con este en cada estación y fase.

De igual forma, el sector de transformación de alimentos, y en especial el productivo artesanal, demandan una conciencia socio-productiva por parte de la institucionalidad que les proporcione apoyo y acompañamiento efectivo. En esa medida, otro elemento clave para fortalecer este renglón de la economía es conocer sus actores, la cantidad de estos, su ubicación en el territorio, sus roles, estacionalidades y capacidades distintivas, entre otras características.

La información sobre el sector de transformación de alimentos es útil para implementar acciones estratégicas que articulen esfuerzos y faciliten dinámicas de inclusión y asociatividad. Los datos pueden orientar, por ejemplo, el establecimiento de laboratorios regionales y sectoriales para determinar la calidad y la inocuidad requeridas por mercados especializados, especialmente los de exportación,

para alimentos producidos de manera local y artesanal. De esta manera, se podrá contar con lineamientos que permitan cumplir las exigencias fitosanitarias inherentes a esta actividad productiva tanto a nivel nacional como al internacional.

En este orden de ideas, el presente libro propone una serie de principios básicos para los procesos logísticos de laboratorio y un conjunto de reglas generales de higiene e inocuidad para la manipulación de insumos y alimentos. Estas orientaciones se enmarcan en la cadena productiva del queso costeño artesanal y sus subproductos, a fin de garantizar el consumo humano de dichos bienes mediante la implementación de directrices concretas para la manipulación, la preparación, el almacenamiento, el empaque, el etiquetado, el transporte y la distribución de manera adecuada.

Ahora bien, vale la pena destacar que el punto de partida de esta propuesta son los análisis de laboratorio, cuyos hallazgos, en definitiva, son los que indican qué acciones es preciso priorizar dentro del proceso productivo. El objetivo es garantizar que los alimentos sean elaborados bajo las mejores condiciones de asepsia, reduciendo el riesgo de afectar la salud de los consumidores, disminuyendo las pérdidas por contaminación o reprocesamiento y facilitando el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por la normativa institucional y el mercado.

Mediante este libro se reitera el interés del proyecto de investigación «*Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del queso costeño en las subregiones del Caribe colombiano: departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira*», financiado por el Fondo Nacional de Regalías (FNR) en conjunto con las universidades del Magdalena, Córdoba y La Guajira. Con la información que facilita este texto, se espera incidir en la mejora de las condiciones de producción y manipulación por parte de cada uno de los actores que componen esta actividad: desde el abastecimiento de la leche como materia prima y su manejo adecuado durante el transporte hacia el sitio de elaboración del queso, pasando

por la gestión del resto de insumos, la producción del alimento, su almacenamiento y empaque, hasta su comercialización y distribución con garantía de calidad e inocuidad al consumidor final.

Edwin Causado Rodríguez, PhD.

Director del proyecto Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del queso costeño en las subregiones del Caribe colombiano: departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira.

Introducción

La gestión logística de los procesos de laboratorio para evaluar la calidad de los alimentos integra aspectos filosóficos y principios básicos de operatividad organizacional. Conocer estos elementos es fundamental para los profesionales encargados de garantizar la inocuidad de los productos de consumo humano y el acceso seguro de estos al mercado.

El presente libro está orientado a describir, de manera organizada, los procesos necesarios para practicar análisis microbiológicos y bromatológicos a los productos alimenticios en un laboratorio. El propósito es evidenciar cómo se puede garantizar la calidad de estos bienes y, a la vez, lograr que su manipulación y transformación sean eficientes y seguras.

Esta gestión debe integrarse con la cadena de suministros, tanto interna como externa al laboratorio, así como con los procesos logísticos empresariales, abarcando áreas clave como el control operacional, el flujo y la estandarización de procesos, la calidad del servicio y la manipulación de mezclas complejas, como los reactivos, que deben aplicarse en tiempos específicos. Estos análisis permiten determinar el estado del producto en cualquier fase de la producción y establecer en cada caso si un alimento está apto para continuar, si debe reprocesarse o desecharse y, finalmente, si se puede ofrecer de forma segura para el consumo humano.

En este ámbito, el propósito de los laboratorios reside en comprobar que una instalación productiva cuenta con buenas prácticas de manipulación y de manufactura. De este modo, los productores se aseguran de poder distribuir sus alimentos como productos terminados conforme a las exigencias sanitarias establecidas por las autoridades competentes.

La importancia de los análisis de laboratorio dentro de la industria alimentaria radica en que permiten prevenir infecciones e intoxicaciones derivadas del consumo de productos no aptos para el consumo humano. Por lo tanto, estas pruebas se han convertido en un requisito obligatorio para la obtención de registros o permisos sanitarios que certifiquen la composición del alimento, prevengan intolerancias derivadas de una manipulación inadecuada y garanticen su distribución segura en la sociedad.

Existe una diversidad de procedimientos de laboratorio que permiten determinar la calidad y la inocuidad de los alimentos destinados al consumo humano. Su elección dependerá del interés del tomador de decisiones, del objetivo del proceso, del nivel de detalle requerido, del tipo de producto alimenticio, entre otros factores. Algunos de los principales análisis de esta clase son el sensorial, el bromatológico, y el microbiológico, entre otros.

Por una parte, el análisis sensorial, también conocido como examen organoléptico, se refiere a la evaluación de la apariencia del alimento y de propiedades como su olor, aroma, textura y sabor. Esta clase de observación no se abordará en esta publicación, sino que se enunciará de forma general.

Por otra parte, el análisis bromatológico corresponde al estudio de los aspectos fisicoquímicos del alimento. Este proceso, sobre el cual profundiza la presente obra, proporciona una serie de indicadores que reflejan con precisión la calidad del producto, su balance nutricional y sus condiciones primarias, tales como temperatura, densidad, pH, entre otras. Algunas de las principales variables que se examinan por esta vía son: el porcentaje de agua contenido frente a la materia seca, las proporciones de proteína cruda y de proteína total, los niveles y los porcentajes de grasa, la fibra cruda total, los carbohidratos estructurales, los carbohidratos solubles o libres de nitrógeno, las trazas de minerales y vitaminas disponibles, y el contenido de sal o cloruro de sodio.

Este libro también aborda en profundidad el análisis microbiológico. Dicho proceso detecta microorganismos, patógenos o bacterias

presentes de forma natural en el alimento, o incorporados a través de ciertos ingredientes o durante una inadecuada manipulación de la materia prima. Por lo general, esta labor se concentra en evaluar la presencia o la ausencia de agentes como *Listeria*, *Salmonella* o *Escherichia coli*, así como en el recuento de coliformes, unidades formadoras de colonias (UFC), mohos, levaduras, mesófilos y células somáticas, entre otros. Este examen es de especial interés en etapas tempranas de la producción, antes de que el alimento llegue al consumidor, pero también puede llevarse a cabo en cualquiera de los otros eslabones de la cadena productiva, como en la comercialización y el transporte.

El tipo de examen practicado por el laboratorio para determinar la calidad de los alimentos determina el proceso logístico que se debe implementar dado que cada caso requiere condiciones específicas en términos de insumos, técnicas, mano de obra y tiempos para obtener información precisa. Sin embargo, a nivel general se pueden mencionar algunas actividades comunes para estos estudios, tales como: disposición de equipos para la toma y el análisis de muestras, esterilización del instrumental, preparación de medios de cultivo, toma y traslado de muestras, recepción y almacenamiento, procesamiento, tabulación de información, y análisis y entrega de resultados en informes de seguimiento. Estas labores se agrupan, por lo general, en dos grandes fases de trabajo: la de campo y la de laboratorio.

El presente libro está conformado por cinco capítulos, además de la presentación, la introducción, las anotaciones finales, las referencias bibliográficas y los anexos correspondientes. Inicialmente, el capítulo 1 aborda los aspectos relacionados con la calidad, la inocuidad y la seguridad para el consumo de los alimentos. Luego, el capítulo 2 se centra en la planeación logística con miras al control de calidad mediante la aplicación de análisis de laboratorio; concretamente, a muestras de leche y queso costeño. En dicho apartado se revisan los antecedentes, la conformación de la base de datos y la delimitación del área de estudio. Además, se detallan los materiales

utilizados, los parámetros de interés por evaluar y la normativa que respalda las exigencias de este tipo de evaluaciones.

Más adelante, el capítulo 3 se enfoca en los procesos logísticos de toma de muestras de leche y queso costeño teniendo en cuenta tres momentos clave: antes, durante y después de la salida de campo. Asimismo, se describen los insumos y el equipamiento necesarios para los análisis propuestos. El capítulo 4, por su parte, aborda las pruebas de laboratorio recomendadas para fortalecer el sistema de inocuidad alimentaria, incluyendo los materiales requeridos, la preparación de cultivos y la elaboración de medios de cultivo como agares EMB, PDA, SMRE, SS y BL, entre otros, para llevar a cabo cada uno de los estudios establecidos en las normas 399 de 2002 y 750 de 2009.

Por último, el capítulo 5 presenta de forma detallada un ejemplo de informe de laboratorio con los resultados de los análisis bromatológicos y microbiológicos aplicados a la leche y al queso costeño en el marco de la ejecución del proyecto de investigación que da origen a este libro. En esta parte se incluyen las anotaciones finales, las cuales destacan los beneficios que este tipo de estudios representan para el sector productivo y para los actores que conforman la cadena de suministro. Además, se señalan los retos que deben afrontarse y superarse para mantener la competitividad en el mercado actual y proyectarse hacia nuevos escenarios de carácter internacional, con una mayor articulación entre la institucionalidad gubernamental (local, regional y nacional), la academia, el sector productivo y las comunidades de los territorios vinculados a este producto reconocido como símbolo de identidad regional y nacional.

1. Calidad, inocuidad y seguridad para el consumo de los alimentos

1.1. Calidad y la necesidad de estandarizar los procesos logísticos de laboratorio de análisis de productos agroalimentarios

Una estrategia clave para determinar la calidad a lo largo de toda la cadena productiva de los alimentos es estandarizar los procesos logísticos de laboratorio, desde la toma de muestras y su transporte hasta el análisis y la obtención de resultados. De este modo es posible garantizar la seguridad, la veracidad y la precisión de estos estudios a la vez que se reduce la variabilidad en el flujo de trabajo, se evita el manejo inadecuado de recursos y, sobre todo, se incrementan los niveles de confianza en el producto por parte del consumidor y del mercado gracias al cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales.

De acuerdo con autores como Xue y Marco (2022), Fan *et al.* (2024), Campos-Salas *et al.* (2019), Morenas *et al.* (2014), Burke *et al.* (2018), Pu *et al.* (2020), Martelli *et al.* (2025) y Dean *et al.* (2022), existen cuatro aspectos fundamentales que justifican la estandarización de los procesos de toma y análisis de muestras agroalimentarias en laboratorios de ensayo y calibración (según la terminología empleada en la Norma ISO/IEC 17025). Estos principios se describen en la tabla 1.

En este punto resulta importante anotar que dentro del sector en estudio se consideran tres grandes fases para los procesos de laboratorio, cada una de las cuales requiere precisión logística: la preanalítica, la analítica y la postanalítica (figura 1). La primera enmarca

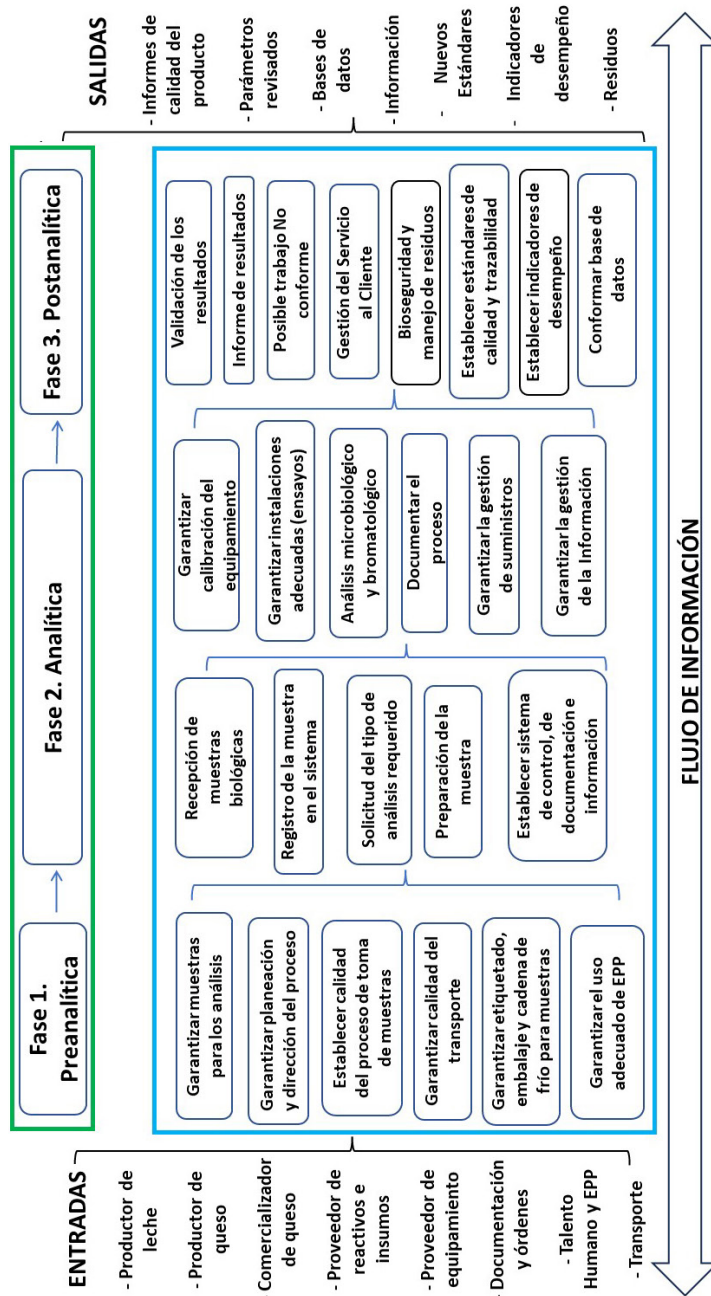
la planeación (definición de protocolo y métodos por implementar, tiempos de ejecución y recursos requeridos), la preparación de recursos (equipamiento, talento humano, reactivos, consumibles, etc.) y la toma y el transporte de muestras (selección de las muestras, plan de muestreo, preparación y tratamiento de las muestras y de las condiciones ambientales de transporte, entre otros).

Tabla 1. Aspectos fundamentales que justifican la estandarización de los procesos logísticos de laboratorios

Aspecto fundamental	Justificación
Precisión y repetibilidad	La estandarización de los procesos logísticos de laboratorio desemboca en resultados precisos y repetibles porque determina un accionar concreto y preciso, lo cual disminuye errores de ejecución.
Trazabilidad y rastreabilidad	Este aspecto es fundamental para garantizar la integridad de los resultados dado que aporta información concreta del origen de estos datos y brinda certezas sobre su recorrido al documentarlo. Asimismo, facilita la toma de medidas de control y la implementación de mejoras de manera precisa.
Optimización y eficiencia	Esta optimización se logra debido a la integración de recursos de manera eficiente y en el tiempo preciso durante el desarrollo de los procesos logísticos de laboratorio.
Disminución de errores	El uso eficiente de recursos desemboca en la disminución de errores y costos, además de que determina una ruta de acción concreta sin ambigüedades y garantiza la imparcialidad de los resultados.

Fuente: elaboración propia basada en Burke *et al.* (2018), Dean *et al.* (2022), Fan *et al.* (2024), Martelli *et al.* (2025), Campos-Salas *et al.* (2019), Morenas *et al.* (2014), Pu *et al.* (2020) y Xue y Marco (2022).

Figura 1. Mapa de procesos logísticos de laboratorio para análisis de inocuidad de muestras de leche y queso costeño



La fase analítica comprende la recepción de la muestra por parte del equipo de trabajo del laboratorio. Los procesos que corresponden a esta etapa son la revisión del etiquetado, del embalaje y de la temperatura adecuada en este momento de la logística, la asignación el tipo de análisis, tratamiento o método por aplicar, la preparación de la muestra para estos distintos estudios, los resultados preliminares, la documentación del proceso, entre otros. Finalmente, en la fase postanalítica se incluyen actividades como la validación de los resultados, la generación del informe, la recepción de los posibles comentarios del cliente, el manejo de los desechos generados en el proceso, la validación del reporte final y el establecimiento de la gestión del servicio al usuario, entre otros.

Para estandarizar y mejorar todos estos procesos de laboratorio, existen diversas herramientas logísticas, entre las cuales se destacan los mapas de procesos, los cronogramas, los diagramas Sipoc (*Supplier-Input-Process-Output-Customer*), los estándares de calidad y trazabilidad, los indicadores clave de desempeño (KPI por su sigla en inglés), las matrices de recursos, los diagramas causa-efecto y de Pareto, y las cartas estadísticas de control. También es recomendable tener en cuenta normativas institucionales y sectoriales (por ejemplo, la ISO 17025 de 2017) y las directrices de entidades como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec), el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Salud y Protección Social, entre otros.

1.2. La inocuidad en los alimentos

El propósito de alcanzar la inocuidad en los alimentos es asegurar que un bien comestible fue producido de manera higiénica y puede ser consumido sin restricciones por el ser humano. De igual forma,

este atributo puede diferenciar al producto y facilitar su acceso a mercados de mayor valor. Ahora bien, esta garantía representa un gigantesco desafío, especialmente para los países en vías de desarrollo debido a sus dificultades en el acceso a equipamiento tecnológico y en la interiorización cultural de prácticas orientadas a la calidad dentro de los modelos de producción artesanal tradicional.

Diferentes contextos nacionales y regionales han expuesto la circulación de alimentos en condiciones no aptas para el consumo, en especial productos lácteos, lo que genera riesgos significativos para la salud pública y dificulta el desarrollo de cadenas de suministro con garantías de inocuidad. Por lo tanto, es necesario progresar en los sistemas de calidad para disminuir o eliminar enfermedades transmitidas por comestibles que no han sido adecuadamente tratados durante sus procesos de transformación.

Los factores de riesgo de los productos alimenticios pueden clasificarse en biológicos, químicos o físicos. Para controlarlos, es preciso familiarizarse con los procesos logísticos de análisis de laboratorio y establecer parámetros de evaluación específicos que mejoren la obtención de estos bienes de consumo. Estos principios pueden ser la base para diseñar un sistema de inocuidad que permita aplicar estrategias de control preventivo, más que reactivo, en la producción higiénica de alimentos (FAO, 2007).

La calidad higiénico-sanitaria de un alimento se puede determinar evaluando la presencia de bacterias indicadoras de contaminación y otra microbiota altamente patógena para el ser humano por su vinculación con enfermedades de carácter agudo o crónico. Estos microorganismos suelen encontrarse en productos que no han recibido un tratamiento adecuado en alguna de las etapas de abastecimiento, transformación o distribución, o que han sido manipulados con equipamiento deficiente en higiene, facilitando la contaminación cruzada.

Un sistema de inocuidad puede emplear ciertas estrategias para asegurar que todo alimento destinado al consumo humano se encuentre en condiciones óptimas y libre de microorganismos y sustancias nocivas; entre estos métodos, cabe mencionar las buenas prácticas

de manufactura, las medidas de higiene y el control de trazabilidad. Ahora bien, es importante que este monitoreo abarque todas las etapas de producción, de forma que se asegure que los bienes ofrecidos al mercado sean aptos para el consumo seguro (Luna, 2020).

El queso costeño, en particular, es un producto originario de los departamentos que conforman la costa Caribe colombiana, una región con alta producción lechera de ganado bovino (alrededor del 60 % del total del país) dada su estructura productiva. La elaboración de este alimento se caracteriza por una técnica artesanal de origen tradicional y con particularidades propias del territorio, así como por una presentación final distintiva, fácilmente reconocible por los consumidores y asociada de manera directa a su medio geográfico de origen. Este lácteo se diferencia por propiedades concretas como su frescura (no madurado), su textura suave, su falta de acidez y un punto de sal entre moderado y fuerte.

Por tratarse de un alimento fresco, el queso costeño requiere condiciones especiales de conservación que eviten su contaminación (Causado, Romero *et al.*, 2023; García, 2015; Rincón-Peña, 2018). En ese sentido, conviene hacer algunas precisiones con respecto a su ingrediente base: la leche cruda, es decir, aquella «que no ha sido sometida a ningún tipo de terminación ni de higienización» (Decreto 1880 de 2011) y, por lo tanto, cuenta con un contenido de nutrientes y una serie de propiedades fisicoquímicas que constituyen un medio propicio para la presencia de microorganismos nocivos que pueden afectar la salud humana al ser ingeridos.

Algunos de los contaminantes de carácter fisicoquímico y microbiológico que se encuentran en la leche cruda tienen un origen externo. Así, es posible detectar material nocivo proveniente de los desechos de orina y materia fecal del animal, así como del ambiente en el que se realiza el ordeño (generalmente, en los potreros) o del equipamiento utilizado para dicho proceso. Otras fuentes de contaminación son aquellos espacios en los que no se sigue la cadena de frío, como los de almacenamiento, transporte e incluso comercialización. También cabe considerar la transmisión de microorganismos

patógenos a través del personal encargado de las labores de alimentación del ganado y del uso de agua no tratada en las labores de lavado, aseo y desinfección.

De igual forma, la contaminación puede tener un origen interno cuando se ordeñan animales que presentan enfermedades. En estos casos, los productos derivados de la leche, entre ellos el queso, también pueden contener microorganismos patógenos perjudiciales para la salud humana tales como *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Campylobacter jejuni*, *Bacillus cereus*, *Yersinia enterocolitica*, entre otros (Instituto Nacional de Salud [INS], 2011a, 2011b, 2020, 2025).

En Colombia, la producción nacional de leche se encuentra cercana a los 7 millones de litros por año, de los cuales el 68 % se presenta en el trópico bajo. Del total de leche, el 45 % (alrededor de 3.187 millones de litros) se encuentra en el comercio informal, y el 50 % de esta cantidad (1.593 millones de litros de leche) se destina a la producción de queso artesanal, mientras que el 38 % se emplea para producción de otros derivados lácteos, y el 12 %, al consumo directo (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2020). Si se considera que para producir un kilogramo de queso se necesitan aproximadamente 10 litros de leche (Gutiérrez *et al.*, 2024), podría estimarse que cerca de 159 millones de kilogramos de queso son elaborados por productores que no cuentan con registro en cámara de comercio o un registro Invima que garantice la inocuidad del producto y la seguridad alimentaria de los consumidores.

Tomando como referencia datos reportados por el INS, a la semana 23 del año 2025, correspondiente a los días entre el 1 y el 7 de julio, se habían presentado 48 muertes probables en menores de 5 años por enfermedad diarreica aguda. De estos fallecimientos, se confirmaron dos por laboratorio al identificar agentes etiológicos (*E. coli* y norovirus) y 23 por clínica, mientras que los restantes 23 se encuentran en estudio (INS, 2025). En 2024, el número de casos confirmados para el mismo periodo fue de 84, lo que representó una tasa de mortalidad de 2,3 por cada 100.000 menores de 5 años.

1.3. Seguridad en el consumo de los alimentos

Los alimentos de procesamiento artesanal, como el queso costeño, muestran directamente las tradiciones ancestrales de la población donde se producen; en este caso, el Caribe colombiano. Dicho producto incorpora técnicas, ingredientes, utensilios y sabores característicos transmitidos generacionalmente, con el propósito de preservar dicho legado cultural. Este lácteo, elaborado en diferentes municipios de la región por pequeños productores y familias dedicadas al trabajo agropecuario, goza de gran aceptación en los mercados locales, formando parte de la canasta básica de muchos colombianos (INS, 2020). No obstante, a la vez que se conservan los métodos tradicionales, es necesario garantizar la inocuidad y la calidad de estos bienes de consumo para así contribuir efectivamente a la seguridad alimentaria de la región.

Revisar el término «seguridad alimentaria» desde un punto de vista conceptual puede resultar confuso dado que su definición ha estado sujeta a varios cambios desde su surgimiento a finales de los años ochenta. Asimismo, estudiarlo desde una metodología o enfoque teórico específico conlleva el riesgo de reducir su importancia, limitando su significado a una interpretación puntual (Ramírez y Vargas, 2020).

La postura de la FAO (1996, como se citó en Ramírez y Vargas, 2020) es que la seguridad alimentaria se alcanza cuando las personas en un territorio pueden conseguir alimentos de manera fácil, suficiente, segura y continua, con el fin de satisfacer sus necesidades nutricionales de forma estable en el tiempo y acorde con sus preferencias, permitiendo así una vida saludable y activa. La misma organización identifica cuatro dimensiones que garantizan este principio: el acceso físico y económico a los alimentos, la disponibilidad concreta de estos, la diversidad en su uso y la estabilidad de estas tres condiciones en el largo plazo (FAO, 2007).

Inicialmente, este concepto se fundamentó en la disponibilidad de los alimentos, pero su concepción evolucionó, adoptando una mirada más amplia para enmarcarse en un contexto social y económico

complejo. Este enfoque, asociado a las interacciones existentes en el sistema alimentario, resulta esencial para comprender el orden alimentario y nutricional de un país.

A su vez, el fundamento nutricional ha sido incorporado de manera progresiva en la definición de este término. De tal modo, se ha adoptado una visión que trasciende la medicina al considerar la disponibilidad de servicios de salud y el conocimiento, por parte de las comunidades, sobre las buenas prácticas esenciales para su bienestar (Brun, 2014; Causado, Galindo *et al.*, 2023). En este sentido, la falta de seguridad alimentaria constituye un problema multidimensional que se debe abordar analizando el contexto de desarrollo económico y social. Por lo tanto, no se trata de evaluar tan solo la disponibilidad de los alimentos, sino también el modo de vida y los hábitos alimenticios de la población.

En este orden de ideas, la baja seguridad alimentaria se asocia con una mayor ingesta de calorías totales y de calorías provenientes de grasas y azúcares añadidos, así como con un bajo consumo de frutas, verduras, pescados, carnes y productos lácteos. Esta situación puede ocasionar un aumento en el índice de masa corporal, una mayor prevalencia de sobrepeso y obesidad, un deterioro de la salud general y un desarrollo pobre y difícil de detectar en los niños (Salvador *et al.*, 2015).

Al analizar el panorama de América Latina, la FAO (2024a) señala que 187,6 millones de personas de la región experimentaron inseguridad alimentaria moderada o severa en 2023. De esta población, 110,4 millones correspondían a Suramérica, y 31,6 millones, esto es, el 28,6 %, se encontraban en inseguridad alimentaria severa. Entretanto, a escala local, la FAO (2016) sitúa a Colombia entre los veinte países en el mundo con el mayor riesgo de sufrir situaciones de hambre aguda. Además, para el año 2024 el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2025) reportó una prevalencia de inseguridad alimentaria en los hogares colombianos de 26,1 %.

Uno de los factores que han contribuido a esta crisis de pobreza y hambre en el país ha sido el fenómeno migratorio; en particular, el desplazamiento masivo de población proveniente de Venezuela, que

supera los 1,8 millones de personas. Asimismo, entre las principales causas de la inseguridad alimentaria en Colombia se destacan las marcadas brechas de desigualdad social, concretamente en poblaciones periféricas y rurales, así como el impacto económico derivado de la pandemia de COVID-19, que llevó la tasa de desempleo a un 15,9 % en 2020 y a un 13,7 % en 2021. También se señala el aumento en la economía informal, que no garantiza seguridad social ni estabilidad laboral (DANE, 2021, como se citó en Rojas *et al.*, 2022).

En términos económicos, llama la atención que el sector agropecuario en Colombia ha disminuido su capacidad de producción de alimentos, afectado por el incremento de las importaciones. Esta situación es consecuencia de diferentes políticas agrarias encaminadas a la industrialización del campo y a la producción a gran escala, dejando de lado la producción tradicional artesanal y, en general, las economías campesinas. Como resultado, se ha evidenciado una disminución en los cultivos transitorios, lo que ha hecho que el país pierda condiciones favorables de abastecimiento alimentario, impactando negativamente a los pequeños y medianos productores (Acuña-Rodríguez *et al.*, 2022).

En 2022, el índice de seguridad alimentaria mundial publicado por Economist Impact, que analizaba la situación de 113 países, ubicó a Colombia en el puesto 64, por debajo de otros países de la región como Chile, Brasil, Perú, Ecuador y Argentina (Iniciativa Mundial de Seguridad Alimentaria [GFSI], 2022). Esta posición refleja el alto grado de inseguridad alimentaria en el territorio colombiano, superior al de varias naciones de Latinoamérica. Si bien el Programa Mundial de Alimentos (WFP por su sigla en inglés) evidenció una reducción en un 5 % de los niveles de esta problemática a nivel nacional para el año 2024, el mismo análisis revela a su vez un panorama poco alentador: cerca de 13 millones de personas enfrentaban inseguridad alimentaria moderada en ese periodo (WFP, 2024).

Las zonas rurales presentan mayores niveles de inseguridad alimentaria, con un 31 % frente al 24 % registrado en las zonas urbanas. Entre las principales causas de este problema en el campo se

identifican el conflicto armado, el limitado acceso a los alimentos, la carencia de micronutrientes importantes, la alta vulnerabilidad económica y la adopción de mecanismos de mitigación, como la reducción en el tamaño y en la frecuencia de las comidas.

De este modo, las comunidades campesinas tradicionales que se concentran en las zonas rurales, entre ellas las que elaboran el queso costeño, vienen afrontando dificultades de diferente índole que, en algunos casos, han llevado al abandono de la actividad productiva. Esta situación contribuye a perpetuar el círculo de la pobreza en esos territorios, dificultando el cumplimiento de las normas técnicas e higiénicas requeridas para la obtención de lácteos de manera inocua.

A lo anterior se suman las problemáticas derivadas de la competencia desleal por parte de grandes acaparadores y las dinámicas económicas de los tratados de libre comercio, que dificultan el acceso a un mercado mínimo que garantice la sostenibilidad del sector productivo lácteo. Esta situación exige una revisión urgente con el propósito de mantener de manera competitiva los productos de origen tradicional, como el queso costeño, entre otros (Acuña-Rodríguez *et al.*, 2022; Causado, Fonseca *et al.*, 2023).

Para los productores artesanales de queso, la competencia resulta compleja dado que no cuentan con las fortalezas necesarias para sobrevivir en el mercado. Esta vulnerabilidad se debe, entre otras razones, a la poca cantidad de productos que ofertan semanal o mensualmente en su región, además de que deben realizar otras actividades para su sustento (Acuña-Rodríguez *et al.*, 2022).

Una de estas actividades paralelas es la producción de leche, un alimento de alto valor nutricional que se puede obtener diariamente. Por esta razón, muchas familias campesinas adquieren un número de vacas con el objetivo de garantizar su seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, generar ingresos adicionales diarios, semanales o quincenales, según la forma de pago del comprador (Benavides *et al.*, 2019). Esta situación, a su vez, influye en la disminución de la producción de queso costeño, el cual se obtiene directamente de la

leche, debido a la baja rentabilidad y a los limitados canales de comercialización disponibles para ese derivado.

No obstante, el queso costeño no solo se obtiene a partir de leche de animales bovinos; también puede elaborarse con la de búfalos y cabras lecheras. En todo caso, este producto es de gran importancia en la nutrición del ser humano ya que aporta elementos esenciales como vitaminas, proteínas, sales minerales, y compuestos inorgánicos, entre otros, esenciales para el crecimiento y desarrollo. De hecho, su alto contenido de proteínas y aminoácidos lo convierte en un derivado lácteo importante para ayudar a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional. Sin embargo, también es cierto que la ausencia de insumos, equipamiento y maquinaria adecuados para su fabricación puede dar lugar a enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), afectando la calidad de este bien comestible y, con ello, aumentando la inseguridad alimentaria entre los consumidores (Carrillo, 2024).

Las ETA constituyen un problema crítico de salud pública, con un impacto especialmente severo en poblaciones vulnerables, como los niños menores de 5 años. A nivel global, estas patologías causan la muerte de aproximadamente 2,2 millones de personas al año, lo que hace imprescindible la implementación de medidas eficaces para salvaguardar la salud pública (Moreano *et al.*, 2024). Estas estrategias deben estar respaldadas a su vez por políticas públicas que fomenten la creación de programas y proyectos orientados a mejorar las condiciones sanitarias durante el ordeño, el procesamiento del queso, el uso de tecnologías adecuadas y el acceso a espacios en mercados nacionales e internacionales, aumentando la seguridad alimentaria tanto del campesino productor de queso costeño como del consumidor (Caldeira *et al.*, 2024; Causado y Reátiga, 2013). También es recomendable acompañar estas acciones con esfuerzos que garanticen el acceso a agua potable, el saneamiento básico y el apoyo en la construcción de infraestructura para la producción de derivados lácteos.

2. Planeación logística para el control de la calidad de los alimentos mediante análisis de laboratorio: fase preanalítica

2.1. Revisión de antecedentes

En este capítulo se introduce una serie de conceptos clave para planificar el control de calidad a lo largo de la producción del queso costeño. Se abordarán aspectos metodológicos para definir aspectos como la población objeto de estudio, los parámetros de interés por evaluar, el tamaño de muestra para la ejecución de los ensayos, la logística del equipamiento para la toma y el análisis de las muestras, así como los materiales necesarios para realizar los ensayos de laboratorio. También se considerarán aspectos como la normativa nacional e internacional, la definición de rutas de muestreos, insumos, procesos de análisis, entre otros aspectos clave.

Un aspecto esencial para cualquier propuesta metodológica es la revisión de información secundaria y de antecedentes relacionados con el área de estudio. Asimismo, es preciso planificar el levantamiento de información primaria *in situ* como etapa preliminar de observación directa de tipo exploratorio descriptivo. En el caso del producto alimenticio de interés, el queso costeño, este análisis puede desarrollarse a nivel departamental, subregional (es decir, más de un municipio que comparta características similares relevantes para la investigación), municipal, sectorial productivo, empresarial o incluso de dependencia o proceso productivo.

La finalidad de esta aproximación inicial, en el marco de la investigación, fue conocer las características físicoquímicas y microbiológicas de la leche y el queso costeño elaborados en la región Caribe

colombiana. De este modo se buscó identificar las condiciones ambientales que pueden alterar o preservar las propiedades de estos alimentos y que probablemente estén determinando las características regionales (atributos de marca) de dicha producción. En este sentido, conviene explorar conceptos fundamentales como la inocuidad, el muestreo y los análisis bromatológicos y bromatológicos por aplicar, además de la normativa que congrega estos aspectos y los requerimientos correspondientes.

2.2. Inocuidad

Un principio fundamental que protege la salud pública es la inocuidad, definida en este documento como aquella garantía de calidad y de sanidad que se le ofrece al consumidor cuando adquiere un producto para su ingesta. Este atributo les brinda confianza a los distintos actores comercializadores, así como a los mercados globales y competitivos, de que no hubo peligros físicos, químicos o biológicos en cada una de las etapas de producción de un alimento: desde su manufactura hasta su disposición para el consumo humano. De igual forma se certifica que a lo largo de toda la cadena se ha respetado la normativa nacional e internacional.

En efecto, asegurar la inocuidad en los bienes comestibles es crucial para su posicionamiento en los mercados de exportación dadas las rigurosas exigencias sanitarias establecidas por la institucionalidad de gran parte de los países más desarrollados (*retailers*, comisiones, autoridades, etc.). Por lo tanto, los productos artesanales que pretendan acceder a los consumidores internacionales en el marco de los distintos tratados comerciales deben velar por el cumplimiento de las medidas establecidas a nivel global para el control de patógenos, rezagos de pesticidas, alérgenos y demás posibles residuos en procesos de manufactura para salvaguardar la salud de la ciudadanía y proteger los mercados agroalimentarios.

Algunos autores han hecho aportes muy interesantes con respecto a la búsqueda de inocuidad en los alimentos. Los estudios de Fanelli

et al. (2021), Kapur (2021), Broyaka (2021), Zhou (2018), Wang *et al.* (2021) y Gu *et al.* (2021), entre otros, han dado luces sobre temas como el rol de la trazabilidad y la gestión de riesgos, la autenticación de la trazabilidad y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria, la implementación de las normas ISO 22000 y HACCP para la garantía de la inocuidad alimentaria, y la identificación de patógenos físicos, químicos y biológicos mediante análisis bromatológicos y microbiológicos. A su vez, a nivel nacional se presenta un cuerpo regulatorio en la materia (tabla 2).

Tabla 2. Normativa nacional para el cumplimiento de la garantía de la inocuidad

Normativa nacional	Descripción
Decreto 1500 de 2007 del Ministerio del Interior y de Justicia de Colombia	Por medio del cual se establece el sistema oficial de inspección y vigilancia y control de alimentos de origen animal, destinados al consumo humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad.
Resolución 2674 de 2013 del Ministerio de Salud y de Protección Social	Postula los criterios sanitarios y los lineamientos para el cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura (BPM).
Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 22000:2018	Postula los lineamientos del sistema de gestión de la inocuidad alimentaria, en el marco de los estándares internacionales sectoriales.
Ley 9 de 1979 del Congreso de la República de Colombia	Establece las medidas sanitarias para la protección de la salud humana y el medio ambiente mediante la definición del Código Sanitario Nacional.

A nivel internacional también se resaltan documentos normativos de gran trascendencia por su calidad y trayectoria en el sector. Estos textos brindan lineamientos para garantizar la inocuidad (tabla 3).

Tabla 3. Normativa internacional para el cumplimiento de la garantía de la inocuidad

Normativa internacional	Descripción
<i>Codex Alimentarius</i>	Documento de las Naciones Unidas, la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Reúne normas alimentarias de adopción internacional referentes a producción, etiquetado y comercialización de alimentos.
Reglamento (CE) N.º 178/2002	Marco legal de la Unión Europea mediante el cual se plantean los principios y requisitos de la regulación alimentaria, haciendo énfasis en la gestión de riesgos y la trazabilidad.
Norma HACCP	Implica el direccionamiento y la gestión de un sistema preventivo internacional para la seguridad alimentaria que evalúa y controla los peligros físicos, químicos y biológicos en la cadena de suministro de alimentos, garantizando inocuidad y salud al consumidor.
ISO/TS 80004-1 y regulaciones específicas en Estados Unidos (TSCA, FIFRA, FD&C Act) y en la Unión Europea (EFSA, ECHA)	Requerimientos y regulaciones específicas para los Estados Unidos y la Unión Europea referentes a nuevos riesgos emergentes en el sector agroalimentario.

2.3. Muestreo

2.3.1. Conformación de la base de datos y definición de área de estudio

Un primer paso para abordar el proceso de muestreo es elaborar un listado preliminar con los posibles actores, en este caso de la cadena de suministro del queso costeño (proveedores de leche, productores y comercializadores), que pueden proporcionar especímenes para los análisis de laboratorio. Con base en esta información, se procede a establecer contacto vía internet, telefónicamente o de forma presencial con cada uno de estos individuos con el fin de obtener su consentimiento para la visita y entrega de muestras requeridas.

2.3.2. Aspectos clave para la conformación de la base de datos y la definición del área de estudio

Para elaborar la base de datos preliminar, se recomienda tener en cuenta las propuestas de Casas *et al.* (2003) y Causado *et al.* (2018). Dichos autores sugieren plantear un formato o una encuesta técnica fundamental y aplicarla a «operaciones de investigación estandarizadas, a través de las cuales se levante y evalúe información, detallada en datos que refrenden muestras representativas de una población o universo más amplio del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar concretamente» (García, 2015, p. 59).

En este proceso también conviene tener presentes los requerimientos de las normas técnicas colombianas NRC 399 de 2002 (leche cruda) y NTC 750 de 2009 (queso fresco), además de los formatos diseñados por el Grupo de Investigación de Gestión de Recursos para el Desarrollo (GIGRD) y los equipos de Laboratorios de Calidad del Agua y de Procesamiento de Alimentos de la Universidad del Magdalena. De igual manera, se deberían considerar los instrumentos planteados por el proveedor del servicio de análisis de las muestras de leche y queso costeño (laboratorio certificado).

En el caso del proyecto de investigación que da origen a este libro, la información primaria sobre la cadena de suministro del queso costeño en los departamentos de Magdalena, Córdoba y La Guajira se recolectó mediante un modelo propio de toma de datos, complementado con el formato facilitado por el proveedor de servicio de laboratorio. Estas herramientas recogieron información veraz y útil para el diagnóstico del sector lácteo.

Durante esta etapa del trabajo se realizaron recorridos preliminares para conocer el territorio y a los actores de interés. Luego se procedió a aplicar los formatos correspondientes en pruebas piloto, con el fin de evaluar su funcionalidad y llevar a cabo las mejoras necesarias de manera que se pudiera determinar qué parámetros eran más confiables para evaluar en los distintos análisis de laboratorio. Cabe anotar que esta labor debe complementarse con la segmentación por tipo de actor identificado en la cadena de suministro de interés.

Adicionalmente, se recomienda que el instrumento preliminar se aplique de manera presencial ya que esta modalidad permite una retoolimentación más completa gracias a la interacción directa entre el investigador y el informante. Este registro directo en campo, además, aporta elementos valiosos que contribuyen a una mejor descripción e interpretación de los resultados esperados y los hallazgos. En la tabla 4 se presenta un ejemplo de definición del área de estudio en el marco de este estudio, así como los actores de interés identificados de quienes se recolectó información y se obtuvieron muestras de leche y queso costeño.

También se recomienda que, para determinar el tamaño muestral y el número de actores a los cuales se les solicitarán las muestras de leche y queso costeño, se acuda a las autoridades (alcaldías municipales, por ejemplo), así como a la institucionalidad gremial y productiva de cada territorio de interés. En este sentido, se propone consultar las bases de datos de las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATA), así como con las asociaciones de productores asentados en el territorio.

El objetivo de estos acercamientos es dialogar personalmente con los distintos actores de la cadena de suministro del producto en estudio, explicándoles de manera concisa los objetivos del proyecto con miras a la toma de muestras. A propósito de esta clase de labor, Sierra *et al.* (2016) afirman que es necesario que docentes, estudiantes y profesionales de las ciencias biológicas, en conjunto con los actores del sector productivo, se apoyen en el uso de nuevos medios informáticos con el fin de impulsar el desarrollo investigativo hasta alcanzar su máxima expresión productiva.

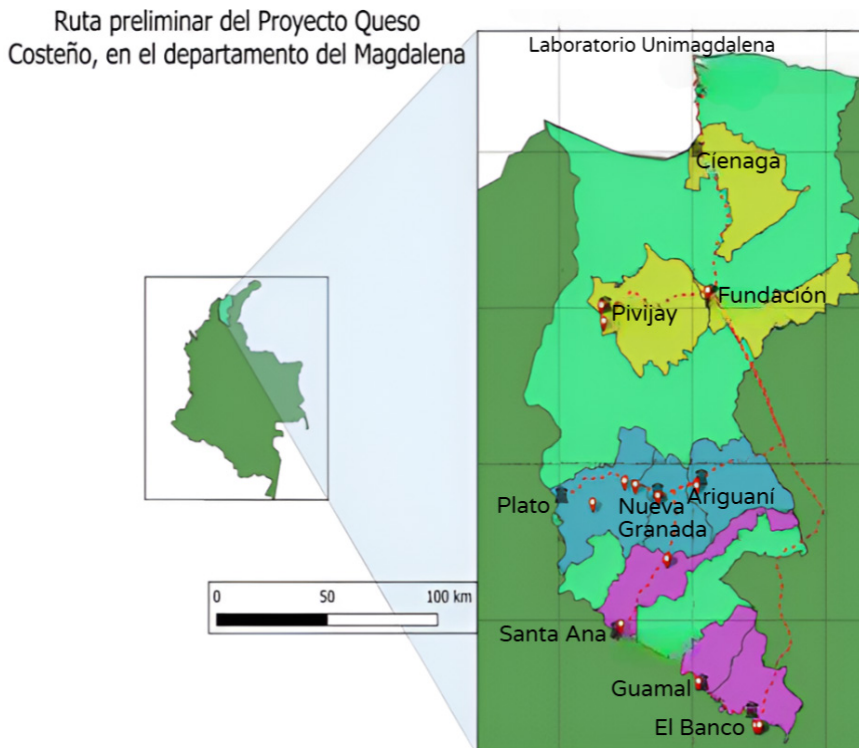
Tabla 4. Ejemplo de identificación de actor y de área de estudio dentro de la cadena de suministro de queso costeño

Departamento	Municipio	Corregimiento	Nombre del actor lácteo	Tipo del actor lácteo	Coordenadas
Magdalena	Nueva Granada	Pueblito los Andes	Los Olivos	Productor	9,5781833 °N, 74,356575 °O (±9 m). Altitud: 107 m.
Magdalena	Plato	La Vuelta a la Mica	5 y 6	Productor	9,8523 °N, 74,53048 °O (±9 m). Altitud: 88 m.
Magdalena	Santa Ana	Kilómetro 4	Tambora	Productor	10°46'42" 9°20'56,75"N
Magdalena	Guamal	San Roque	Algarrobo	Productor	10°36'21" 9°8'52,33"N

En este marco de acción, uno de los programas utilizados para trazar el recorrido destinado a la toma de muestras de leche y queso costeño fue QGIS, denominado Quantum GIS hasta 2022. Este sistema de información geográfica (SIG) es un software libre y de código abierto disponible para plataformas GNU/Linux/Unix, MacOS, Microsoft y Android que permite trabajar con formatos ráster y vectoriales a través del uso de paquetes de librerías especializadas.

Como se puede ver en el ejemplo de la figura 2, la ruta incluyó a actores tales como Lácteos Costa Sueros, Quesera Aguas Vivas, Distri-lácteos S&D, entre otros.

Figura 2. Ruta de la salida preliminar



La información en campo se recolectó mediante la aplicación gratuita para Android SurveyCam – Cámara GPS para profesionales (figuras 3 y 4), que puede operar mediante conexión a internet o, alternativamente, con señal telefónica, lo que facilita su uso en zonas rurales o de difícil acceso. Con esta herramienta se georreferenció a cada actor de interés dentro de los recorridos preliminares, registrando sus coordenadas geográficas, su dirección y el nombre del sitio y del proyecto.

Figura 3. Herramienta digital para la ubicación del punto de georreferencia



Fuente: SurveyCam (s. f.).

De igual forma, este recurso permitió tomar una fotografía del área seleccionada (figura 4) y aplicar las encuestas de toma de información primaria.

Figura 4. Uso de SurveyCam – Cámara GPS para la ubicación del punto de georreferencia



En este proceso se recomienda usar también dispositivos electrónicos tipo *tablet* como herramienta de apoyo para el levantamiento de la información primaria y la elaboración de las respectivas bases de datos. Al permitir la digitalización en tiempo real e *in situ*, estos equipos reducen significativamente el tiempo de procesamiento de estos registros y facilitan la elaboración posterior de los informes correspondientes. Estas ventajas del uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en términos operativos y logísticos, junto a las posibles desventajas, se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de las TIC en campo

TIC	Ventaja	Desventaja
SurveyCam – Cámara GPS	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra la ubicación de un lugar por medio de imágenes fotográficas digitales. - Aplicación para Android de uso gratuito. 	Requiere conexión a internet o señal telefónica.
QGIS	<ul style="list-style-type: none"> - Permite realizar el mapeo. - Software de uso libre y de código abierto. 	Ninguna identificada.
<i>Tablet</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ayuda a digitalizar la información. - Tabula la información de manera automática. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita ajustes previos antes de la toma de información en campo. - El tiempo empleado en la salida tiene una duración promedio de 1 h y 20 min.

2.3.3. Análisis microbiológico y bromatológico/fisicoquímico

Los análisis microbiológicos y bromatológicos son imprescindibles para garantizar la inocuidad de productos agroalimentarios, tales como la leche y el queso costeño, para el consumo humano. La importancia de estos estudios radica en que reflejan el nivel de riesgo o de seguridad sanitaria que presenta un alimento en determinada etapa de la cadena productiva, brindando información oportuna para evitar afectaciones a la salud y al medio ambiente. La tabla 6 sintetiza los aportes más recientes en la literatura sobre este tema, que dan cuenta de los avances y las tendencias de acción en este campo.

Tabla 6. Estudios y avances en la implementación de los análisis bromatológico y microbiológico en la leche y el queso

Autores	Avances
Moreano <i>et al.</i> (2024)	Trabajaron aspectos relacionados con la vigilancia continua y los criterios de interpretación en el marco de los protocolos de la ISO para la implementación de análisis microbiológico en la leche y el queso.
Primavilla <i>et al.</i> (2023)	Implementaron los criterios del Reglamento CE (2073) de 2005 con el objeto de determinar la prevalencia de patógenos en el queso luego del tratamiento térmico a la leche y su comercialización en Italia, en el marco del Plan Nacional de Control de Seguridad Alimentaria Italiano.
Possas <i>et al.</i> (2021)	Exploraron la seguridad microbiana en quesos mediante modelos microbiológicos predictivos, integrándolos a desarrollos digitales a través software.
Endres <i>et al.</i> (2023)	Evaluaron las toxinas y la resistencia microbiana en la leche y el queso de oveja en el sur de Brasil con el propósito de garantizar la inocuidad alimentaria y regular la producción y la venta de estos productos alimenticios.

Autores	Avances
Kim <i>et al.</i> (2018)	Compararon los criterios microbiológicos para determinar métodos estandarizados en la ecología de los quesos procesados y comercializados a nivel internacional.
Fusco <i>et al.</i> (2020)	Estudiaron el impacto del microbiota y los parámetros ambientales en la seguridad sanitaria y en la inocuidad de productos lácteos, y su eficacia en almacenamiento de estos.
Castellanos-Rozo <i>et al.</i> (2020)	Revisaron el impacto de la diversidad bacteriana en el queso paipa de Colombia aplicando secuenciación de alto rendimiento.
Ruiz <i>et al.</i> (2017)	Llevaron a cabo una evaluación microbiológica del queso costeño relacionando las instalaciones productivas y de comercialización con la carga microbiana y su impacto en la salud pública.
Gómez (2022)	Determinaron las propiedades probióticas de las bacterias lácticas en quesos artesanales colombianos, además de evaluar su impacto en la calidad y la inocuidad de este producto alimenticio.
Causado <i>et al.</i> (2025)	Aplicaron un análisis de clúster y uno de componentes principales, a fin de segmentar el queso costeño del Caribe colombiano en siete grupos distintos basados en características fisicoquímicas como grasa, proteína, sal, sólidos totales, designación humedad sin materia grasa (DHSMG), designación materia grasa en extracto seco (DGES), humedad/grasa y grasa/humedad. Sus resultados evidenciaron la autenticidad y la calidad del producto, reforzando su posicionamiento en el mercado, con la posibilidad de obtener una denominación de origen que lo valorizaría aún más.

2.3.4. Materiales e insumos previos para la recolección de las muestras de leche y queso costeño

Para el análisis de las muestras de leche y queso costeño, es necesario esterilizar el equipamiento y los materiales antes de la salida de campo. También se recomienda preparar los medios de cultivos requeridos para la siembra de las muestras que serán estudiadas.

2.3.5. Materiales para el análisis

Un material fundamental para depositar los medios en los cuales se inocularán las muestras de leche y queso costeño son las cajas Petri, que pueden ser de vidrio (reutilizables) o de plástico (desechables). En estas placas se realizará un conteo directo de las colonias emergentes para los respectivos análisis microbiológicos. En la tabla 7 se muestra, además, el equipamiento y los insumos que se requieren para el caso concreto de los estudios bromatológicos.

Tabla 7. Matriz de recursos logísticos de insumos y equipamiento requeridos para el análisis microbiológico y bromatológico del queso costeño

Recursos logísticos clave para el análisis microbiológico	Recursos logísticos clave para el análisis bromatológico
<ul style="list-style-type: none"> • Placas de Petri • Frasco con 90 mL de agua peptonada 0,1 % • Frasco con 225 mL de agua peptonada 0,1 % • Frasco con 225 mL de agua caldo Salmosyst • Tubos de ensayos con tapa de rosca • Puntas azules estériles • Puntas amarillas estériles • Pipetas de 10 mL • Micropipetas de 100-1.000 uL • Micropipetas de 20-200 uL • Stomacher o un mortero • Asas de Digralsky • Gradillas, balanza, incubadora • Espátulas estériles, mecheros, toallas de papel, agua peptonada 	<ul style="list-style-type: none"> • Camisa de crisol, estufa de disco • Papel filtro grado 41 cuantitativo • Embudos pequeños • Balones o matraz • Mechero de Bunsen • Aparato de destilación micro-Kjeldahl • Balones Erlenmeyer de 250 mL • Balones Kjeldahl de 50 mL • Embudo de separación • Beaker de 50 mL • Papel filtro • Probeta de 10 mL • Cloroformo, metanol • Erlenmeyer • Stomacher • Tubos de ensayo

Recursos logísticos clave para el análisis microbiológico	Recursos logísticos clave para el análisis bromatológico
<ul style="list-style-type: none"> • Placas de Petri con agar eosina-azul de metileno • Placas de Petri con agar de oxitetraciclina, glucosa y extracto de levadura • Placas de Petri con agar Baird-Parker • Placas de Petri con agar <i>Salmonella Shigella</i> • Pastilla Salmosyst • Alcohol 70 %, agua destilada • Tijeras, papel parafilm, papel <i>kraft</i> • Marcador punta fina • Materiales para el análisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Agares • Pipeta de 10 mL • Micropipeta para puntas azules • Micropipeta para puntas amarillas • Puntas azules • Puntas amarillas • Alcohol • Mechero • Gradilla • 100 mL de agua destilada • 0,18 g de agar para preparar agua peptonada al 0,1 %

Por otra parte, para el desarrollo del presente documento y en la investigación tomada como referente para esta propuesta de procesos logísticos de laboratorio, se tuvieron en cuenta los parámetros de análisis establecidos en la NTC 750 de 2009 (productos lácteos, queso) y en la NTC 399 de 2002 (productos lácteos, leche cruda). Dichos indicadores se detallan a continuación (tablas 8, 9, 10, 11 y 12).

2.3.6. Parámetros microbiológicos de interés para el análisis de muestras de queso costeño

En la tabla 8 se presentan los requisitos microbiológicos que deben cumplir los quesos en Colombia de acuerdo con la norma NTC 750 de 2009. Allí se indican los límites establecidos por esta regulación en rangos de permisibilidad buena y aceptable de coliformes, *E. coli*, mohos y levaduras, así como los valores exigidos en exámenes especiales de presencia o ausencia de *S. aureus*, *Salmonella* y *L. monocytogenes*.

Tabla 8. Requisitos microbiológicos para el queso fresco de acuerdo con la NTC 750 de 2009 (queso fresco/queso costeño)

Requisitos	n	m	M	c
Exámenes de rutina				
Recuento de coliformes (UFC/g)	5	1.000	5.000	2
Recuento de <i>E. coli</i> (UFC/g)	5	<10	-	0
Recuentos de mohos y levaduras (UFC/g)	5	100	500	2
Exámenes especiales				
Recuento de <i>S. aureus</i> coagulasa positiva (UFC/g)	5	10	100	2
Detección de <i>Salmonella</i> 25 g	5	Ausente	-	0
Detección de <i>L. monocytogenes</i>	5	Ausente	-	0

UFC: unidades formadoras de colonia; n: número de muestras por examinar; m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad; M: índice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable; c: número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

Fuente: elaboración propia basada en Icontec (2009).

Por su parte, la NTC 399 de 2002 establece los parámetros requeridos para la leche, materia prima fundamental en la elaboración de cualquier queso. En la tabla 9 se indican los límites establecidos por esta regulación en cuanto a contenido de microorganismos mesófilos y células somáticas, en UFC, para garantizar la calidad del producto.

Tabla 9. Requisitos microbiológicos para la leche cruda tomada en hatos establecidos por la NTC 399 de 2002

Requisito	Límite
Recuento de microorganismos mesófilos (UFC/mL, máx.)	700.000
Recuento de células somáticas por mililitro (máx.)	700.000

Fuente: elaboración propia basada en Icontec (2002).

2.3.7. Parámetros bromatológicos/fisicoquímicos de interés para el análisis

Además de los requisitos microbiológicos, también existen ciertas exigencias bromatológicas que se deben cumplir para garantizar la inocuidad y la calidad de un queso fresco para consumo directo. En este caso, es preciso respetar determinados rangos según la consistencia del producto (extraduro, duro, firme/semiduro y blando) y su contenido de materia grasa (extragrasso, graso, semigraso, semidescremado y descremado) (tabla 10).

Tabla 10. Requisitos bromatológicos para el queso fresco

Designación según su consistencia	Humedad sin materia grasa (HSMG)* (% m/m)
Extraduro	<50,0
Duro	50-55
Firme/semiduro	56-68
Blando	>68
Designación según su contenido de materia grasa	Materia grasa en extracto seco (GES)** (% m/m)
Extragrasso	≥60,0
Graso	≥45,0-<60,0
Semigraso	≥25,0-<45,0
Semidescremado	≥10,0-<25,0
Descremado	<10,0
$* \text{HMSG} = \frac{\% \text{ humedad del queso}}{100 - \% \text{ grasa en el queso}} \cdot 100$	
$** \text{GES} = \frac{\% \text{ grasa en el queso}}{100 - \% \text{ humedad del queso}} \cdot 100$	

Fuente: elaboración propia basada en Icontec (2009).

Otro análisis de gran importancia para evaluar la calidad de los quesos y preservar la salud pública es la revisión del contenido de metales pesados como el plomo, el cadmio o el mercurio. Este tipo de elementos resultan muy tóxicos, incluso en concentraciones muy bajas, y pueden encontrarse en la leche o en el queso debido al uso de maquinaria y equipamiento en mal estado, o al consumo de alimento contaminado por parte del ganado. La tabla 11 muestra los límites permitidos para el plomo según la NTC 750 de 2009.

Tabla 11. Límites máximos de contaminantes en quesos

Requisito	Límite máximo (mg/kg)
Plomo (Pb)	0,02

Fuente: elaboración propia basada en Icontec (2009).

La NTC 399 de 2002, entretanto, indica los requisitos bromatológicos que debe cumplir la leche para el procesamiento de queso. La tabla 12 presenta los valores estipulados por esta regulación con respecto a la densidad, la materia grasa, los sólidos totales y no grasos, la acidez, las impurezas macroscópicas, las proteínas y la presencia de conservantes, adulterantes y neutralizantes en este producto.

Tabla 12. Requisitos bromatológicos para la leche cruda tomada en hato establecidos por la NTC 399 de 2002

Requisitos	Mínimo	Máximo
Densidad 15/15 °C (gravedad específica)	1,030	1,033
Materia grasa (% m/m)	3,0	-
Sólidos totales (% m/m)	11,3	-
Sólidos no grasos (extracto seco desengrasado) (%)	8,3	-

Requisitos	Mínimo	Máximo
Acidez, expresada como ácido láctico (% m/v)	0,13	0,18
Impurezas macroscópicas (sedimentos) en índice crioscópico	-0,530 °C -0,550 °H	Disco B -0,510 °C -0,530 °H
Proteínas de leche en los sólidos grasos de la leche (Nx6,38) (% m/m) Índice lactométrico (°L)	338,4	-
Estabilidad proteica al etanol Presencia de conservantes	No se coagula por la adición de un volumen igual de alcohol de 68 % en peso o 75% en volumen Negativa	
Presencia de adulterantes Presencia de neutralizantes	Negativa Negativa	
Plomo (mg/kg, máx.)	0,02	

Fuente: elaboración propia basada en Icontec (2002).

2.4. Normativa

La normativa es un aspecto fundamental para tener en cuenta dado que determina los parámetros de evaluación y los niveles de cumplimiento mínimo que debe alcanzar un producto para considerarse apto para el consumo humano. La tabla 13 sintetiza los referentes más relevantes en cuanto a esta regulación para Colombia.

Las tablas 14 y 15, a continuación, ilustran la estructura logística propuesta para llevar a cabo los análisis microbiológicos y bromatológicos de muestras de queso costeño. Este diseño de procesos se apoya en la herramienta de diagramación Sipoc, que mejora la planificación en la medida en que refleja fácilmente el estado actual de un proceso.

Por una parte, el diagrama representado en la tabla 14 plantea la secuenciación correspondiente al análisis microbiológico, que inicia con un proveedor, sigue con una entrada, continúa con el procesamiento de la materia prima, que genera una salida en un producto y culmina con la llegada de este a un cliente. Esta propuesta abarca así todos los esfuerzos aplicados en la cadena de producción de un bien o servicio.

Tabla 13. Normas relacionadas con el procesamiento, la composición, los requisitos, el transporte y la comercialización de derivados lácteos y su toma de muestra en Colombia

Norma	Entidad	Objeto
Ley 9. ^a de 1979	Ministerio de Salud	Código Sanitario Nacional.
Resolución 02310 de 1986	Ministerio de Salud	Reglamenta el procesamiento, la composición, los requisitos de los procedimientos de higienización (pasteurización, ultrapasteurización y esterilización), el transporte y la comercialización de los derivados lácteos.
Resolución 01804 del 3 de febrero de 1989	Ministerio de Salud	Modifica la Resolución 02310 de 1986.
Decreto 616 de 2006	Ministerio de la Protección Social	Expide el reglamento técnico que debe cumplir la leche para el consumo humano en los procesos de obtención, procesamiento, envase, transporte, comercialización, expendio, importación y exportación en el país.

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

Norma	Entidad	Objeto
Resolución 2674 de 2013	Ministerio de Salud	Determina los requisitos sanitarios que deben cumplir las materias primas de alimentos, además de las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de estos. Asimismo, establece pautas para la notificación, el permiso o el registro.
NTC 750 de 2009	Icontec	Plantea las definiciones, la clasificación y los requisitos que deben cumplir los quesos destinados para consumo directo o para transformación posterior.
Guía Técnica Colombiana (GTC) 263 de 2016	Icontec	Plantea el procedimiento y los métodos de muestreo de leche y productos lácteos para análisis microbiológico, químico, físico y sensorial en laboratorios.
Manual de toma de muestras de alimentos y bebidas por entidades territoriales de salud del 2015	Ministerio de Salud	Guía a las entidades territoriales en el área de salud respecto a la toma y el transporte de muestras de acuerdo con los lineamientos establecidos por la Dirección de Alimentos y Bebidas del Invima, así como en el procedimiento metodológico.
ISO 6579-1:2017	ISO	Plantea la implementación de un modelo horizontal para la detección, la enumeración y el serotipado de <i>Salmonella</i> spp. en alimentos.

Norma	Entidad	Objeto
ISO 11290-1:2017	ISO	Estipula un método horizontal para la detección de <i>L. monocytogenes</i> en productos destinados al consumo humano.
ISO 16649-2:2001	ISO	Sugiere un método horizontal para la enumeración de <i>E. coli</i> en productos de consumo humano.
Reglamento CE N.º 2073/2005	Comunidad Europea	Establece una serie de criterios microbiológicos de seguridad y de procesos para alimentos de consumo humano, incluyendo leche y queso.

Tabla 14. Diagrama de flujo Sipoc para llevar a cabo el análisis microbiológico de queso costeño en laboratorio

S (Supplier/ proveedor)	I (Input/ insumo)	P (Process/ proceso)	O (Output/ salida)	C (Customer/ cliente)
Productora de queso Lote de producción	Muestra de queso	Recepción Homogenización Dilución Siembra Incubación Recuento Interpretación	Informe microbiológico	Control de calidad Salud pública

En la tabla 15, por otra parte, se muestra el diagrama de flujo Sipoc para los procesos de análisis bromatológico. Las actividades de este servicio de laboratorio, junto a las anteriores, son las que

permiten evaluar la calidad y la inocuidad del queso costeño, siguiendo un funcionamiento muy similar al de los eslabones de una cadena de suministro.

Tabla 15. Diagrama de flujo Sipoc para llevar a cabo el análisis bromatológico de queso costeño en laboratorio

S <i>(Supplier/ proveedor)</i>	I <i>(Input/ insumo)</i>	P <i>(Process/ proceso)</i>	O <i>(Output/ salida)</i>	C <i>(Customer/ cliente)</i>
Productor de queso Lote de producción	Muestra de queso	Recepción Preparación Extracción Análisis instrumental Cálculo Comparación	Informe bromatológico	Industria Autoridades reguladoras

3. Procesos logísticos de toma de muestras de leche y queso costeño: fase preanalítica

3.1. El circuito de la calidad

Durante décadas, los países en vía de desarrollo han incrementado progresivamente su participación en la producción de lácteos a nivel mundial. Dicho fenómeno obedece, sobre todo, a la tasa de crecimiento de la población bovina, fuente principal de generación lechera y subproductos lácteos, más que a mejoras en la productividad por cabeza de ganado. No obstante, la baja calidad de los recursos disponibles, las limitaciones sanitarias, el acceso restringido a servicios esenciales (como salud animal, crédito y capacitación), así como la disminución del potencial genético de los animales lecheros, representan factores que restringen la producción de lácteos en la mayoría de los países en desarrollo (FAO, s. f.).

Por lo general, la producción de queso requiere una cantidad importante de leche, a una razón de 9-10 L/kg. Como resultado de esta transformación, se generan alrededor de 8-9 L de lactosuero: un residuo líquido, conocido comúnmente como suero de leche, que proviene en gran parte de la separación de la cuajada. Esta sustancia contiene más de la mitad de los minerales y las vitaminas solubles presentes en la leche original, además de lactosa y cerca del 20 % de las proteínas de la leche. Sin embargo, de acuerdo con la FAO, esta reserva de nutrientes aún no se encuentra plenamente integrada a las cadenas de consumo humano directas, ni se procura su aprovechamiento integral como subproducto, y mucho menos se contempla como alternativa de cara a la sostenibilidad alimentaria de los territorios en vías de desarrollo (García , 2015).

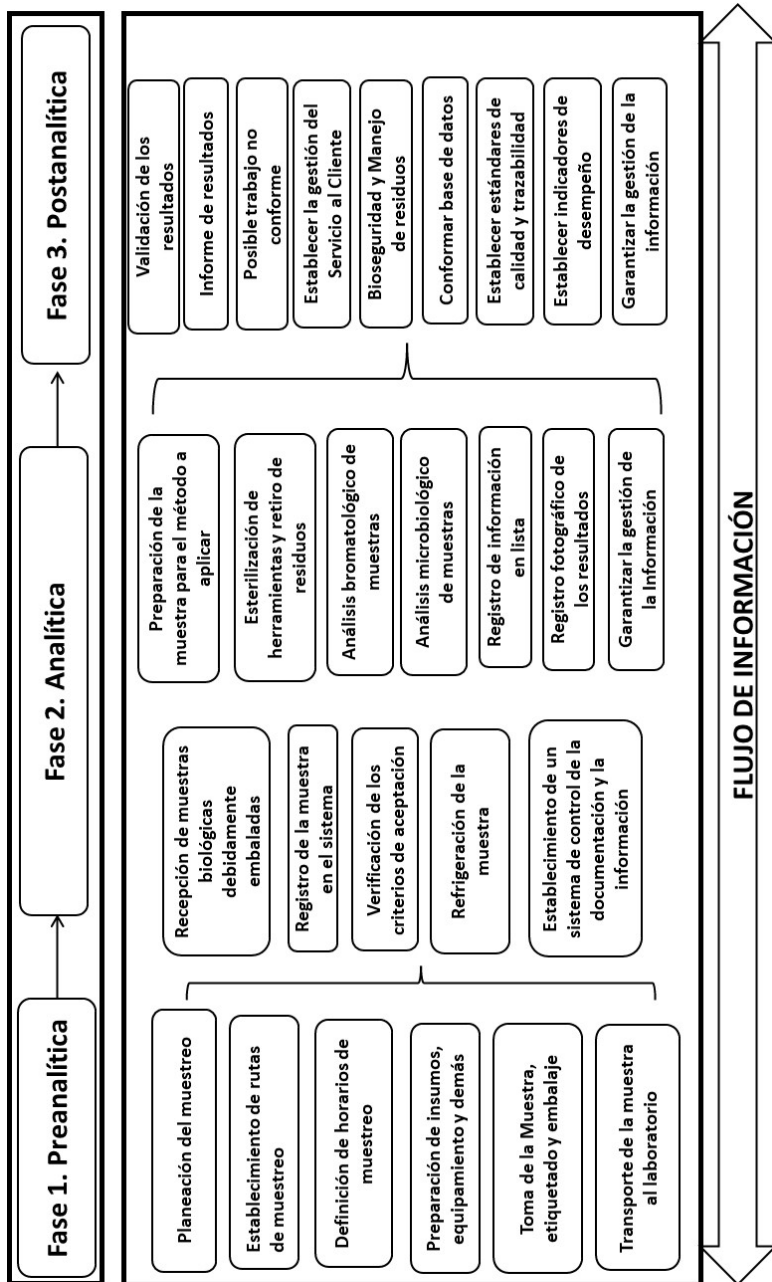
En el caso del Caribe colombiano, el queso costeño se ha posicionado como un alimento representativo que se caracteriza por su alto contenido de grasa, su frescura (no es madurado), su alta concentración de sal y su baja humedad, que favorecen su conservación frente a otros tipos de queso, y por ser prensado de manera moderada a fuerte (durante 2-24 h). La variedad dura de este alimento se utiliza ampliamente en el sector de la panadería, en especial para la producción de buñuelos y de deditos de queso al estilo colombiano, y también como materia prima complementaria en platillos de comida rápida, como salchipapas y perros calientes. El queso costeño blando, por su parte, suele consumirse en la mesa directamente.

Este producto del Caribe se produce en gran medida, en forma de bloques con sección rectangular. Su aspecto externo es cremoso, sin brillo y con superficies irregulares. Su composición interna presenta una textura abierta, consistencia firme y seca, difícil de romper, y un sabor muy suave al paladar (Acevedo *et al.*, 2015).

El queso costeño se elabora tanto de manera artesanal como semiindustrial e industrial. En el primer caso, en particular, es donde se encuentra un mayor riesgo para el consumo humano debido, entre otros aspectos, a la falta de aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) en el proceso de fabricación. A su vez, la composición nutricional, los valores de actividad de agua (a_w), el pH y las condiciones higiénico-productivas de este alimento durante el procesamiento, el transporte, la refrigeración y la comercialización lo convierten en un medio potencial para la transmisión de microorganismos nocivos de alto riesgo para la salud humana (Ruiz *et al.*, 2017).

Este capítulo proporciona criterios técnicos para la toma de muestras que se someterán a análisis microbiológico y bromatológico, así como las condiciones adecuadas de almacenamiento y transporte hasta su llegada al laboratorio para su respectivo estudio. El presente apartado se enmarca en la fase de preanálisis, teniendo en cuenta la logística del proceso propuesta en la figura 5.

Figura 5. Trazabilidad de operaciones logísticas por fases para aplicación de análisis bromatológico y microbiológico de muestras de leche y queso costeño en laboratorio



3.2. Planeación de la gestión del muestreo en laboratorio

En primer lugar, conviene detallar los tiempos y los procedimientos logísticos que se llevarán a cabo en el laboratorio con el fin de analizar de manera óptima las muestras tomadas en campo. Esta planificación permite contemplar los requerimientos en cuanto a equipamientos, espacios, usos, reactivos, fungibles y talento humano para evaluar los alimentos (figura 6).

Figura 6. Cronograma típico de procedimientos logísticos para el muestreo en laboratorio

	Semana 1					Semana 2					Semana 3					...			Semana 5				
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	M	J	V	L	M	M	J	V
Empaque y esterilización de 900 cajas de Petri	■	■	■																				
Empaque y esterilización de equipos y elementos	■	■	■																				
Preparación de agua peptonada al 0,1 % (<i>Salmonella</i> y <i>Listeria</i>)			■																				
Preparación de medios de cultivo				■	■	■	■																
Preparación de diluciones						■	■	■	■	■													
Sembrado en medios									■	■													

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

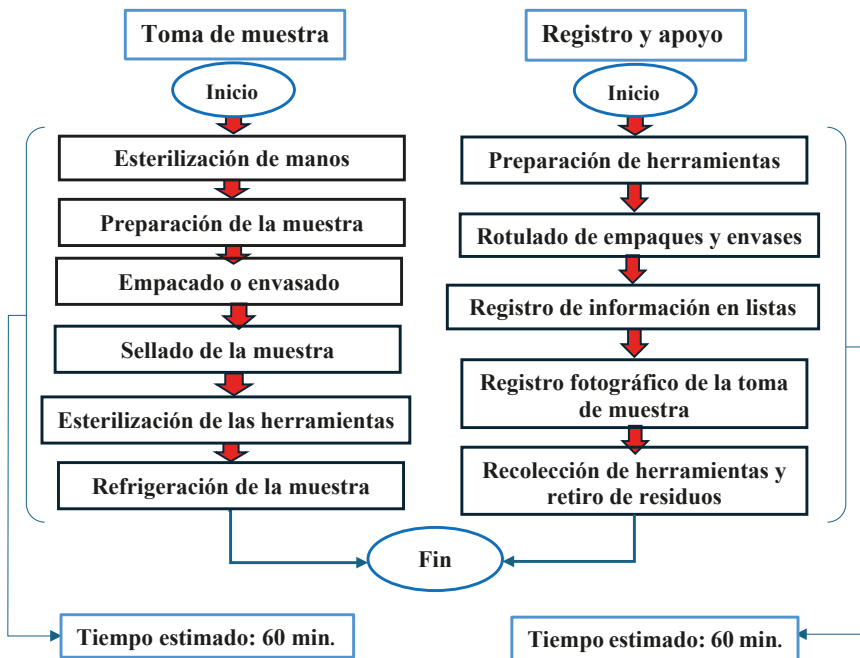
	Semana 1					Semana 2					Semana 3					...			Semana 5						
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	J	V	L	M	M	J	V	
Determinación de <i>Salmonella</i> y <i>Listeria</i> (incluye pruebas bioquímicas)																									
Recuento en placa																									
Conteo, descarte y lavado																									
Análisis bromatológico del queso en espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR)																									
Determinación de grasas, humedad y plomo																									
Posterior a recepción de la muestra																									
Previo a recepción de la muestra																									

Como se planteó en el capítulo anterior, esta planificación también debe contemplar el área geográfica en la cual se ubican las fuentes de información. Asimismo, se recomiendan las siguientes actividades (figura 7):

- Esterilización de cajas Petri: En el estudio que sirve de referencia para este documento se esterilizaron 398 cajas Petri destinadas al análisis del queso costeño y 432 para las muestras de leche. Luego se organizaron en paquetes de cinco, envueltas en papel *kraft*. La esterilización se llevó a cabo a 15 lb de presión y a una temperatura de 122 °C en una autoclave All American con capacidad de 50 L.

- Preparación de medios de cultivo: Una vez esterilizadas y secas las cajas de Petri, se procedió a preparar los agares requeridos para los análisis microbiológicos: EMB para coliformes totales y *E. coli*; Baird-Parker para *S. aureus*; *Ogye* para mohos y levaduras; Listeria para *L. monocytogenes*; SS para *Salmonella*; y SPC para mesófilos aerobios.

Figura 7. Diagrama de procesos logísticos de toma de muestras



3.3. Salida de campo y toma de muestras de leche y de queso costeño

La toma de muestras, en este caso por conveniencia, se aplica a los actores de la cadena de suministro de queso costeño en los diferentes eslabones que la conforman. El proceso abarca al proveedor

de leche (ganadero), al responsable del almacenamiento (acopiador, quien también puede actuar como productor de queso costeño), al productor (transformador), al transportador y al comercializador del producto.

Implementar la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a lo largo de la cadena de suministro es una estrategia efectiva para contar con trazabilidad de la inocuidad del producto. Así, en caso de hallar contaminación, se podrá determinar en qué etapa de la elaboración del alimento ocurrió. También, al constatar el nivel de cumplimiento de las condiciones higiénicas y sanitarias por cada actor del proceso, además del grado de conformidad con las normas sanitarias vigentes en el momento del análisis, esta metodología permite brindarle garantías al consumidor de que el alimento es inocuo y apto para el consumo humano.

La toma de muestras, su custodia, transporte y análisis y los reportes de resultados deben estar a cargo del personal capacitado, ya sea dentro de la empresa, en la cadena de suministro o, en su defecto, en el equipo del proyecto, con el fin de brindar confiabilidad y garantizar la veracidad de los hallazgos. Esta calidad en los estudios solo se puede asegurar mediante una planificación rigurosa del proceso, incluyendo documentación pertinente, herramientas adecuadas y una correcta selección de la muestra.

Una base imprescindible de la toma de muestras son los estudios del producto y de los riesgos potenciales que este puede representar para los consumidores debido a la posible presencia de microorganismos patógenos. En definitiva, se trata de que este proceso corrobore que se siguen los parámetros establecidos por la normatividad vigente para evitar problemas de salud pública por enfermedades transmitidas por alimentos, además de repercusiones socioeconómicas como la pérdida de reputación del producto o una percepción desfavorable de la empresa, del sector productivo, de la cadena de suministro e incluso del país de origen, especialmente si se trata de bienes exportados.

En este orden de ideas, se recomienda identificar todos los siguientes datos durante la toma de las muestras:

- Lugar de la toma de muestra.
- Época en que se toma la muestra (invierno o verano).
- Número de lote o fecha de elaboración/preparación del alimento.
- Fecha de elaboración/preparación del alimento.
- Persona responsable del muestreo.
- Persona responsable de la preparación o elaboración del alimento.
- Día, hora y lugar de la toma de muestra.
- Condiciones de conservación, como temperatura, humedad y almacenamiento, y observaciones que orienten el posterior análisis de laboratorio.
- Estado organoléptico de la muestra (color, olor, sabor, textura).
- Número de unidades utilizadas para el muestreo.

También, siempre que sea posible, se sugiere tomar evidencia fotográfica del lugar donde se realiza la toma de muestra, así como de las condiciones de la infraestructura en la que se extrae, elabora, procesa o almacenan la leche o el queso. Esta documentación visual permitirá identificar y analizar posibles factores de índole sanitaria que podrían contaminar el producto (figura 8).

3.3.1. Criterios mínimos

Los criterios mínimos para este muestreo son los siguientes:

- Evitar riesgos de contaminación durante el procedimiento de toma de muestras.
- Identificar correctamente cada muestra, consignando los datos necesarios para su adecuada diferenciación.

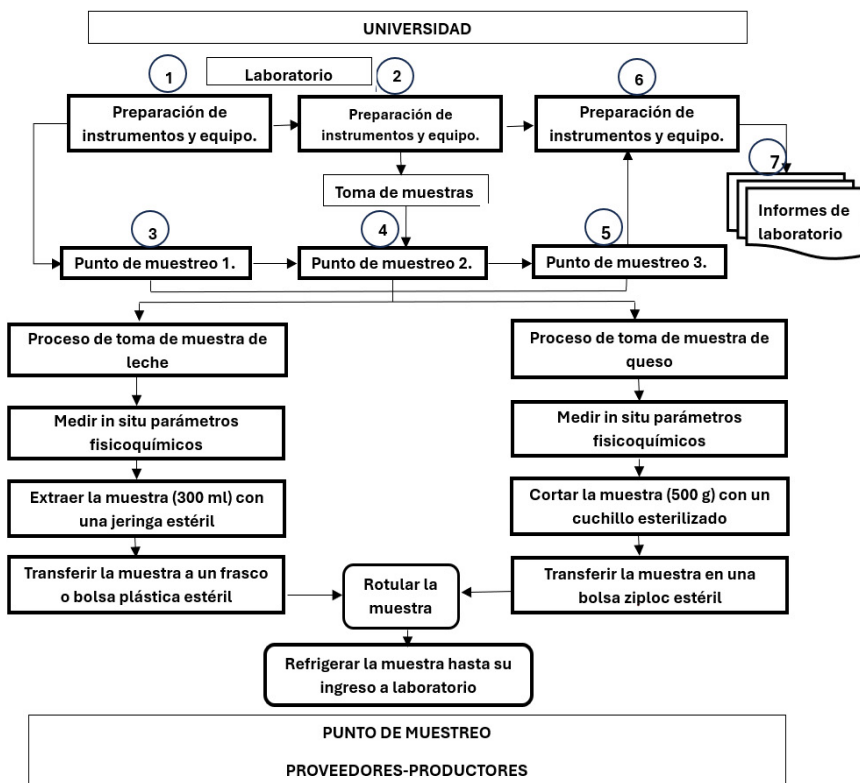
- Enviar y entregar las muestras al laboratorio en el menor tiempo posible, bajo condiciones apropiadas de conservación y transporte, a fin de prevenir el crecimiento excesivo de microorganismos.
- Utilizar técnicas adecuadas que aseguren la integridad de la muestra.
- Emplear el recipiente adecuado para el empaque de la muestra de manera higiénica y en las mejores condiciones de asepsia.
- Diligenciar correctamente la documentación (formato y acta de toma de muestras) que acompaña el proceso.

3.3.2. La toma de muestras

Durante la toma de muestras, se deben considerar los siguientes aspectos:

1. La correcta identificación de los procesos y las actividades relacionados con la selección de la unidad muestral, de acuerdo con la normatividad vigente o las técnicas de muestreo aplicables, así como la adecuada ejecución del procedimiento.
2. El diligenciamiento completo, preciso y legible de los formatos establecidos para la toma de muestras, tanto para leche como para queso costeño, asegurando la trazabilidad de cada muestra.
3. La verificación del estado y el funcionamiento de los elementos y equipos de refrigeración destinados al transporte y al almacenamiento de las muestras, con el fin de garantizar su integridad hasta su análisis en laboratorio.
4. El cumplimiento del tiempo estimado para el traslado y la entrega de las muestras al laboratorio designado, asegurando que lleguen en condiciones óptimas para su procesamiento y reporte de resultados.

Figura 8. Diagrama de recorrido y de procesos logísticos de toma de muestras de leche y queso costeño



3.4. Personal y procedimientos para la toma de muestras

Las personas encargadas de la toma de muestras deberán actuar de acuerdo con las reglamentaciones y seguir el procedimiento establecido, según el tipo de alimento, en cuanto a número de unidades, condiciones de la muestra, entre otros. Por lo tanto, es importante que este personal esté capacitado para esta labor de manera que tome las decisiones adecuadas mientras la ejecuta. También deben asegurarse de que la muestra llegue en las mejores condiciones posibles, sin que se produzca ningún cambio que impida el posterior análisis.

Programar la toma de muestras es una tarea determinante ya que evita caer en improvisaciones que incidan en la calidad de la muestra y, por ende, en la veracidad de la información que se obtenga. Por ello, es importante:

- Especificar técnicamente los productos que se van a muestrear.
- Tener claro el lugar específico.
- Aplicar las condiciones de conservación requeridas.
- Detallar el número y el tipo de muestras que se van a recolectar en el tiempo estipulado (incluyendo unidades).
- Alistar insumos y materiales requeridos: neveras, pilas de frío, papelería, formatos y actas, bolsas herméticas, marcadores y *stickers* para identificar las muestras, al funcionario que atiende el proceso de muestreo o al personal encargado.
- Presentarle al actor los objetivos y la finalidad de la toma de muestras.

3.5. Consideraciones respecto a las muestras

Para llevar a cabo de manera exitosa la toma de muestra de alimentos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que las muestras presenten características óptimas de olor, color y presentación.
- Tomar una muestra representativa de lo producido en el establecimiento, advirtiendo la necesidad de verificar las condiciones organolépticas propias del alimento.
- En caso de que el alimento se encuentre en barriles o sacos grandes, se deben transferir las muestras a recipientes estériles en condiciones de asepsia. Los utensilios deben estar previamente esterilizados.
- Todas las unidades que conforman las muestras deberán corresponder a los lotes de producción elaborados bajo las mismas condiciones en un determinado periodo.

3.5.1. Registro de la toma de muestras

Durante la obtención de las muestras, el operario designado debe completar el registro pertinente en compañía del supervisor del área. En este documento se consignan todas las muestras recolectadas, con la información exhaustiva requerida y sin dejar secciones vacías.

3.6. Tamaño de la muestra

3.6.1. Número de unidades por muestra

Como ya se observó, es de estricto cumplimiento que las muestras correspondan a un mismo número de lote. El propósito de esta medida es garantizar la validez de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del alimento o de la materia prima utilizada para su control oficial.

A la luz del proyecto de investigación, se propone que la cantidad de unidades que conforman la muestra, tanto de leche como de queso costeño, se distribuyan de la siguiente manera:

- Tres unidades para análisis microbiológico.
- Dos unidades para análisis fisicoquímico.

3.6.2. Peso o volumen de las unidades de muestra

Las muestras de productos lácteos deben recolectarse siguiendo estrictamente las directrices estipuladas en el artículo 122 de la Resolución 2310 de 1986 del Ministerio de Salud. Esta normativa estipula que la cantidad de muestra para inspección oficial debe oscilar entre los 300-500 g (o centímetros cúbicos).

Para productos sólidos, como en este caso el queso, el peso de cada unidad debe ser de 500 g, de forma que se puedan realizar contramuestras. Esta cantidad se debe dividir para cada análisis de la siguiente manera:

- Físicoquímico: 200 g.
- Microbiológico: 300 g.

Para productos líquidos, el volumen mínimo es de 300 mL. En caso de unidades de menor cantidad, se debe recolectar el volumen necesario para alcanzar los 300 mL por unidad.

3.6.3. Espectroscopía del infrarrojo cercano

En la investigación que sirve de base para esta propuesta se empleó una técnica espectroscópica conocida como NIR, que aprovecha el espectro electromagnético en la región del infrarrojo cercano. Su aplicación es altamente recomendable por su rapidez y exactitud en la determinación cuantitativa de los componentes primordiales en una amplia gama de productos alimenticios y agrícolas. La tabla 16 indica el equipamiento sanitario requerido para esta alternativa de toma de muestras.

Tabla 16. Matriz de recursos logísticos (implementos y equipos sanitarios) necesarios para la toma de muestras con NIR

Equipos	Implementos	Condiciones de uso
Dotación básica	Tapabocas, gorros, guantes desechables, botas de plástico (opcional) y batas de color claro.	Desechable o limpio.
Envases para la recolección de las muestras	Bolsas de plástico (desechable y tipo Whirl-Pak®), frasco de boca ancha con tapa de rosca.	Estéril de primer uso.

Equipos	Implementos	Condiciones de uso
Implementos para la toma de la muestra	Cuchillos, tijeras, espátulas, embudos, cucharones, pinzas, isopos.	Esterilizados y sellados.
Equipos para la recolección y el transporte de las muestras	Neveras isotérmicas, pilas de gel para congelación.	Desinfectadas y en buen estado.
Refrigerantes	Geles o hielo envasado.	Buen estado y desinfectados.
Dispositivos de registro de temperatura	Termómetro digital de punzón.	Desinfectado, en buen estado y calibrado.
Agentes esterilizadores	Alcohol etílico y mechero.	Buen estado y desinfectados.
Insumos de apoyo	Tabla de soporte para escritura, lápiz, lapicero, actas de toma de muestra, etiqueta, marcador inherente, cinta adhesiva.	Todos los materiales deben ir guardados en una nevera portátil, que debe permanecer desinfectada para evitar la contaminación.

3.7. Preservación, almacenamiento y transporte de la muestra

Las siguientes son algunas recomendaciones específicas para la conservación y el transporte de muestras de leche y queso:

- Entregar las muestras al laboratorio el mismo día de la toma, en el menor tiempo posible (24 h).
- Mantener las muestras a una temperatura que ronde entre 0-4 °C hasta su llegada al laboratorio. Para esto se pueden utilizar neveras isotérmicas que contengan hielo seco o pilas de congelación.
- Garantizar la hermeticidad o el sellamiento de los recipientes para evitar contaminación de las muestras.
- Conservar intacto el etiquetado del producto muestreado. Para ello, se debe evitar colocar adhesivos, pegatinas o cintas que puedan dañar o deteriorar los datos del producto al ser removidas.

3.8. Aspectos logísticos adicionales en el proceso de muestreo

3.8.1. Muestreo para análisis microbiológico, bromatológico/fisicoquímico y examen sensorial

Como procedimiento estándar, se sugiere priorizar la recolección de muestras destinadas al análisis microbiológico, implementando rigurosas medidas de asepsia. Idealmente, estos especímenes deberían obtenerse de los mismos recipientes de los que se extrajeron las porciones para los análisis fisicoquímicos y la evaluación sensorial. También se recomienda que el equipo técnico de muestreo y el contenedor de la muestra destinada al análisis biológico estén esterilizados.

3.8.2. Toma de las muestras de leche

El proceso que se sugiere para tomar muestras de leche es verter el líquido de un recipiente a otro de la misma dimensión, mezclándolo y agitándolo hasta obtener la máxima homogeneidad. Recuerdese que, de acuerdo con la norma, el tamaño de la muestra no ha

de ser menor de 300 mL, y esta se debe tomar de manera inmediata posterior a la obtención de la mezcla. Existen dos alternativas para llevar a cabo esta actividad:

- **Contenedores pequeños, cantinas de leche y bidones para la leche:** La leche en este caso se mezcla de manera adecuada, por ejemplo, pasándola de un contenedor a otro, agitándola o moviéndola de manera mecánica.
- **Tanques o cubas para la leche:** La leche se agita mecánicamente durante un mínimo de 5 min para lograr una adecuada mezcla u homogeneidad. En el caso de que el tanque disponga de un sistema de agitación periódica y programada, se puede realizar el muestreo tras un breve periodo de agitación entre 1-2 min.

3.8.3. Toma de muestras de queso costeño

Las instrucciones que se indican en este apartado son aplicables a diversos tipos de queso, incluyendo el duro, el extraduro, el semiduro, el semiblando, el blando y el fresco. También pueden considerarse estas pautas para el análisis de quesos procesados, con aderezos o saborizados y otros productos a base de este alimento.

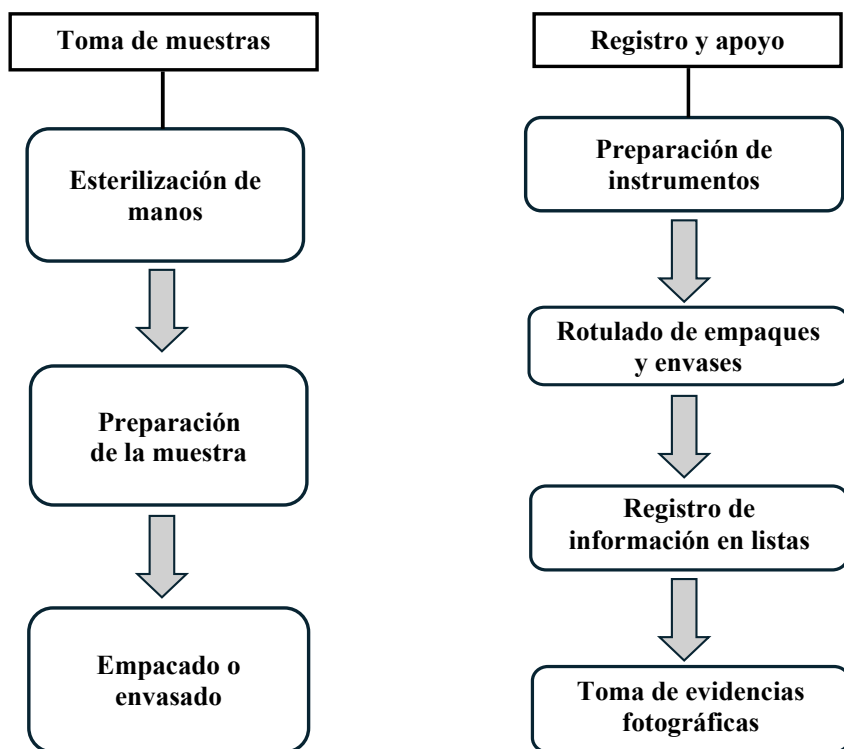
Equipo de muestreo y químicos.

- Probadores de queso, de forma y tamaño apropiados al alimento al que se le va a realizar el muestreo.
- Cuchillo, con hoja puntiaguda y superficie suave. Espátula.
- Alambre de corte, de tamaño y resistencia suficientes.
- Compuestos de muestreo. Por ejemplo, una mezcla de parafina y cera de abejas, preparada por calentamiento, que deberá cumplir con las leyes alimentarias del país específico.
- Etanol, alcohol no desnaturalizado al 70 % (V/V).
- Recipientes para las muestras (véase el numeral 4.1.1).

Procedimiento.

Durante la recolección de las muestras, se deberá considerar la posible falta de uniformidad del producto. Además, si se requiere analizar la capa externa del queso para la evaluación de microbiota superficial, es preciso tener en cuenta directrices específicas adaptadas al objetivo del estudio. También es importante depositar las muestras (núcleos, tajadas, sectores, quesos enteros pequeños) en un recipiente adecuado, tanto en forma como en tamaño. Incluso, de ser necesario, estos fragmentos pueden ser cortados en pedazos para facilitar su almacenamiento, siempre y cuando se evite cualquier compresión o molido.

Figura 9. Resumen de proceso logístico para la toma de muestras



Para la conservación de muestras de queso se aconseja envolverlas con atención en papel de aluminio, independientemente de si están dentro o fuera de su envase. Esta acción se considera útil, sobre todo, para impedir que aparezca moho en la superficie del queso. Salvo que se especifique otra cosa, cualquier método debe asegurar que la muestra incluya siempre parte de la capa externa del queso, la cual podría contener moho y corteza.

En el caso del queso fresco, es fundamental que los recipientes donde se depositarán las muestras se encuentren en perfectas condiciones, y se recomienda abrirlos solo justo antes de llevar a cabo el análisis. Además, conviene disponer una cantidad adecuada de envases de manera que se reúna, entre todos, un total mínimo de 350 g (figura 9).

4. Procesos logísticos de laboratorio para muestras de leche y queso costeño del Caribe colombiano: fases analítica y postanalítica

4.1. Fase analítica

Antes de la recolección y el análisis de las muestras, conviene corroborar que todos los materiales e insumos necesarios para estos procesos estén preparados. Asimismo, es oportuno confirmar que se cuenta con todos los equipos que permiten registrar parámetros fisicoquímicos en el lugar del muestreo.

4.1.1. Materiales y equipos para la recolección de las muestras

La tabla 17 presenta todos los equipos y materiales que se requieren para un muestreo eficiente tanto de leche como de queso costeño *in situ*, garantizando su conservación. La cantidad de cada uno de estos recursos dependerá directamente del número de muestras que se recolectarán en cada recorrido. Además, se propone medir los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura y densidad) luego de esta toma de especímenes con el propósito de disminuir el riesgo de contaminación.

Como se indicó, en aras de optimizar el proceso, se recomienda alistar y esterilizar todos los materiales con los que se recolectarán y sembrarán las muestras antes de realizar las salidas de campo. Para la preparación de los medios de cultivos, concretamente, se debe definir el tipo de caja Petri que se va a utilizar. En este sentido, cabe

considerar que las cajas plásticas facilitan esta labor previa pues ya vienen esterilizadas y empacadas listas para su uso.

Tabla 17. Matriz de recursos logísticos para toma de muestras

Recursos logísticos
<ul style="list-style-type: none">• Nevera portátil de 22 L – Sustitutos de hielo previamente congelado• Bolsas tipo Ziploc estériles – Bolsas para muestreo líquido o frascos estériles• Balanza pequeña – Medidor de pH y temperatura para alimentos• Lactodensímetro – Bata de laboratorio antilíquido – Tapabocas• Guantes estériles – Gorro o cofia estéril• Alcohol – Bisturí estéril – Mechero portable• Jeringa de 60 mL – Marcador rotulador• Dispositivo para registro fotográfico

Ahora, si se opta por las cajas de Petri de vidrio, es necesario esterilizarlas en la autoclave al menos 24 h antes de preparar el medio, de manera que estén completamente secas en ese punto. Para facilitar este proceso, se recomienda envolver las cajas en papel *kraft*, en paquetes de cinco, y llevarlas así a la autoclave. Este método ayuda a mantener las cajas estériles al extraerlas de dicho dispositivo, evitando el contacto directo hasta el momento en que se les agrega el agar.

4.1.2. Preparación de los medios de cultivo

En general, se propone adicionar aproximadamente 15 mL de medio a cada caja. En el caso de los agares EMB, PDA y MRF, durante la investigación se contemplaron tres réplicas por cuatro diluciones para cada muestra, que equivalen a doce cajas. Por otro lado, con los agares SS y BL para detectar *Salmonella* y *Listeria*, se utilizaron tres réplicas, tres cajas para identificación bioquímica y tres para

confirmación serológica, para un total de nueve. Las preparaciones se hicieron siguiendo las indicaciones de cada agar así:

- **Agar EMB:** La etiqueta de este agar indica que se deben preparar 36 g por cada litro. En el caso concreto del proyecto de investigación, se realizó el siguiente cálculo para doce cajas, cada una con 15 mL de medio:

$$12 \text{ cajas} \cdot 15 \text{ mL} = 180 \text{ mL.}$$

$$X = \frac{36 \text{ g} \cdot 180 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} = 6,48 \text{ g.}$$

Por lo tanto, para doce cajas se agregaron 6,48 g de agar EMB con agua destilada en un Erlenmeyer hasta completar los 180 mL, y luego se esterilizó el medio en la autoclave.

- **Agar PDA:** La etiqueta de este agar indica que se deben preparar 39 g por cada litro. Los cálculos en este caso fueron:

$$12 \text{ cajas} \cdot 15 \text{ mL} = 180 \text{ mL.}$$

$$X = \frac{39 \text{ g} \cdot 180 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} = 7,02 \text{ g.}$$

Así como en el caso anterior, se agregaron los 7,02 g de agar PDA con agua destilada en un Erlenmeyer hasta completar los 180 mL y luego se esterilizó el medio en la autoclave.

- **Agar MRF:** Según la etiqueta de este agar, se deben preparar 111 g por cada litro. Por lo tanto:

$$12 \text{ cajas} \cdot 15 \text{ mL} = 180 \text{ mL.}$$

$$X = \frac{111 \text{ g} \cdot 180 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} = 20,00 \text{ g.}$$

De tal manera, se agregaron 20 g de agar MRF con agua destilada en un Erlenmeyer hasta completar los 180 mL y luego se esterilizó el medio en la autoclave.

- **Agar SS:** Según la etiqueta de este agar, se deben preparar 22,5 g por cada litro. Los cálculos correspondientes para nueve cajas fueron:

$$9 \text{ cajas} \cdot 15 \text{ mL} = 135 \text{ mL.}$$
$$X = \frac{22,5 \text{ g} \cdot 135 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} = 3,04 \text{ g.}$$

Por ende, se agregaron 3,04 g de agar SS y agua destilada en un Erlenmeyer hasta completar los 135 mL y luego se esterilizó el medio en la autoclave.

- **Agar BL:** La etiqueta sugiere preparar 33,6 g por cada 480 mL. Así, para las nueve cajas se tiene:

$$9 \text{ cajas} \cdot 15 \text{ mL} = 135 \text{ mL.}$$
$$X = \frac{33,6 \text{ g} \cdot 180 \text{ mL}}{480 \text{ mL}} = 12,6 \text{ g.}$$

Con este resultado, se agregaron 12,6 g de agar BL con agua destilada en un Erlenmeyer hasta completar los 135 mL y luego se esterilizó el medio en la autoclave.

Una recomendación clave para servir el agar es limpiar y desinfectar la cabina de flujo laminar y el área de trabajo. Así, una vez esterilizado el medio, pueden distribuirse las placas de Petri en la cabina, donde se dejan reposar con la luz ultravioleta encendida por 15 min para garantizar que no se contaminen hasta que las

preparaciones estén listas para ser selladas y guardadas en la nevera para su conservación.

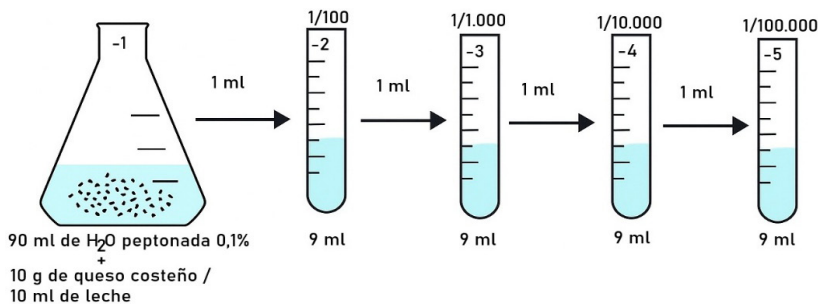
Después de tener los medios listos, se puede esterilizar todos los instrumentos y envolverlos en papel *kraft* para conservarlos en ese estado. El agua peptonada debe estar en el Erlenmeyer o en un frasco con tapa de rosca (90 mL) y en los tubos de ensayos (de 9 mL cada uno) para su posterior esterilización en la autoclave.

4.1.3. Análisis microbiológico de la muestra

Preparación de las diluciones.

1. Tome 10 g de queso costeño o, en el caso de la leche, cerca de 10 mL. En el primer caso, la muestra se lleva a un mortero totalmente higienizado.
2. Agregue un poco de agua peptonada a la muestra, cerca de 0,1 %, lo justo para que se haga una pasta. Triture el queso en el mortero hasta que quede una mezcla sin grumos.
3. Lleve la mezcla a un frasco con 90 mL de agua peptonada y sacuda con fuerza de manera que todo se integre. Luego, deje reposar un poco para que la parte sólida se asiente. Esto se denomina dilución diez a la menos uno: 10^{-1} .
4. Extraiga 1 mL de la dilución con la micropipeta, deposítela en otro tubo con 9 mL de agua peptonada y mezcle de nuevo. Así se obtiene la dilución de diez a la menos dos: 10^{-2} .
5. Cambie la punta de la pipeta, asegurándose de que haberla esterilizado correctamente, extraiga 1 mL de la dilución 10^{-2} y llévelo a otro tubo con agua peptonada marcado previamente como 10^{-3} .
6. De nuevo, tome, con otra punta nueva, 1 mL del tubo 10^{-3} al de 10^{-4} .
7. Adicione 1 mL de 10^{-4} al último tubo, marcado como 10^{-5} . De este modo se tiene el total de las diluciones seriadas (figura 10).

Figura 10. Preparación de diluciones seriadas con muestra de queso costeño o leche

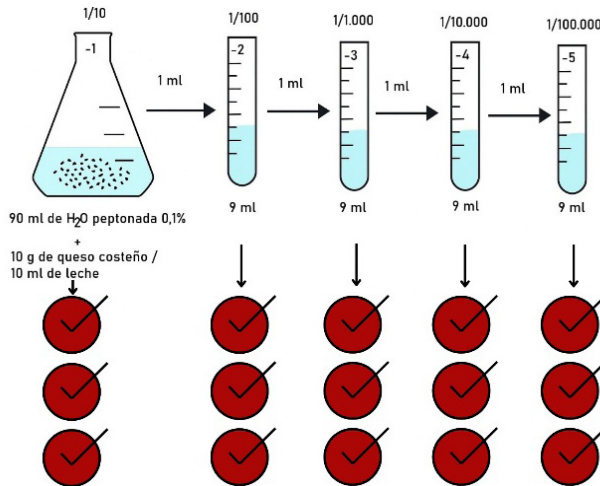


Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

Determinación de microorganismos por recuento directo en placa.

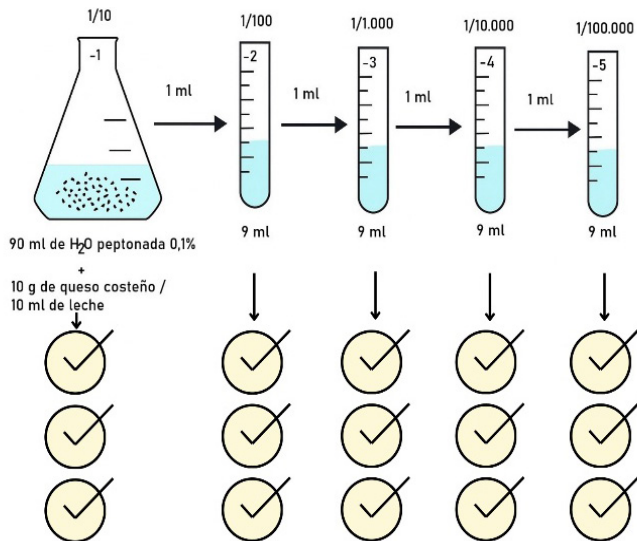
1. Prepare las placas de Petri que contienen los medios de cultivo específicos para coliformes totales, *E. coli*, mohos y levaduras, *S. aureus*, indicadores de contaminación en alimentos (figuras 11, 12 y 13). Estas placas deben ser correctamente rotuladas con la información correspondiente a la dilución y al nombre de la muestra, con el fin de evitar errores en la identificación durante las etapas posteriores del análisis.
2. Con la micropipeta calibrada, tome exactamente 0,1 mL de cada dilución para depositarlo lentamente en la superficie de las placas de Petri. Luego, con las asas de Digralsky, extienda la muestra por todo el medio con suavidad, hasta que el líquido se absorba por completo.
3. Para coliformes, *E. coli* o *S. aureus*, incube las placas a 35 °C y revíselas 24-48 h después para darles tiempo de incubación. En el caso de analizar mohos o levaduras, lleve a cabo el mismo proceso a 25 °C y con 96 h de espera.
4. Pasado el tiempo de espera, cuente las colonias una por una, con lupa si hace falta.
5. Efectúe las pruebas complementarias pertinentes para confirmar la identidad de los microorganismos detectados.

Figura 11. Determinación de coliformes totales y *E. coli* con agar EMB



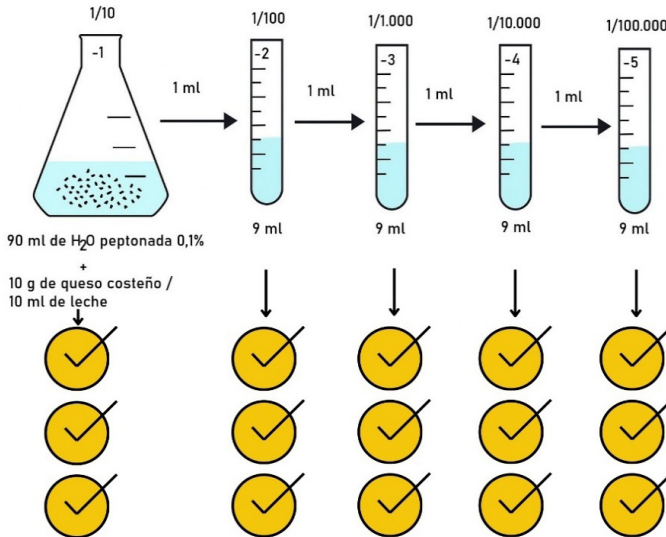
Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

Figura 12. Determinación de mohos y levaduras en agar PDA



Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

Figura 13. Determinación de *S. aureus* en agar BP



Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

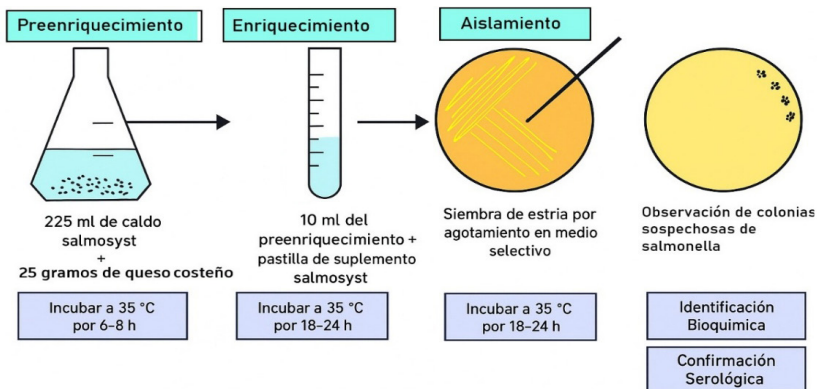
Determinación de bacterias potencialmente patógenas por métodos cualitativos (presencia/ausencia).

Salmonella.

- Preenriquecimiento:
 1. Pese 25 g de muestra, macérela y deposítela en un frasco con 225 mL de caldo Salmosyst.
 2. Incube a 35 °C por 6-8 h.
- Enriquecimiento:
 3. Transfiera 10 mL del enriquecimiento previo a un tubo de ensayo estéril y adicione una pastilla de suplemento Salmosyst. Agite por 5 min.
 4. Incube a 35 °C por 18-22 h.

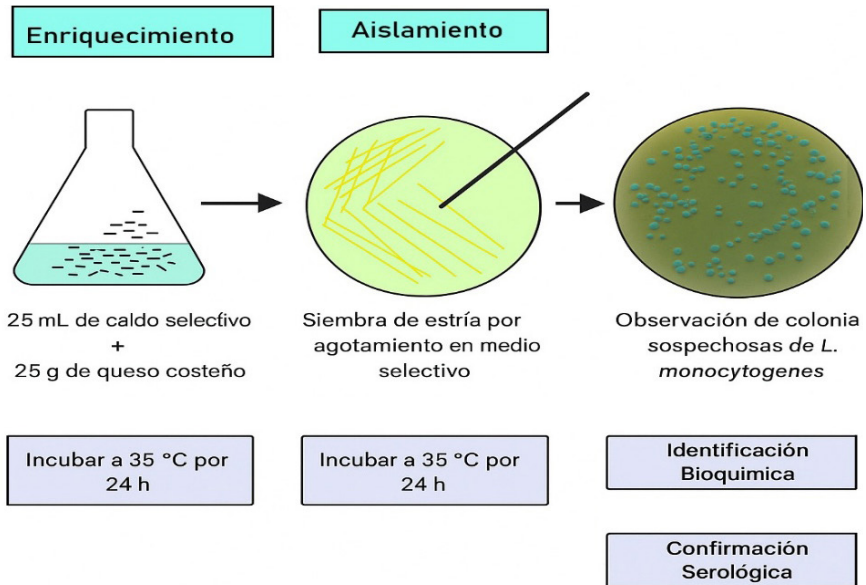
- Aislamiento en medio selectivo:
 5. A partir del tubo de enriquecimiento, siembre por el método de estría por agotamiento en placas de Petri con agar SS.
 6. Incube a 35 °C por 24-48 h.
 7. Realice la lectura: observe colonias incoloras, transparentes y con centro negro.
- Identificación bioquímica:
 8. Siembre las colonias sospechosas de *Salmonella* en agar nutritivo por el método de estría por agotamiento.
 9. Incube a 35 °C por 24 h.
 10. Realice las pruebas bioquímicas para *Salmonella* inoculando en la batería IMViC y caldo urea.
 11. Incube a 35 °C por 24 horas.
 12. Compare los resultados con la tabla de identificación bioquímica.
 13. Realice las pruebas serológicas de acuerdo con los métodos recomendados por las casas comerciales (figura 14).

Figura 14. Aislamiento e identificación de *Salmonella* en muestra de queso costeño



Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

Figura 15. Determinación de *L. monocytogenes* en muestra de queso costeño



Fuente: elaboración propia basada en Luna (2020).

Listeria.

- Enriquecimiento:
 1. Pese 25 g de muestras de queso, macérelas y délas en un frasco con 225 mL de caldo enriquecido en base *Listeria* (LEB).
 2. Incube a 35 °C por 24 h.
- Aislamiento:
 3. A partir del caldo LEB incubado durante 24 h, siembre el cultivo mediante el método de estría por agotamiento en placas de Petri con agar BL.
 4. Incube a 35 °C por 24-48 h.

- Identificación:
 5. Siembre las colonias sospechosas de *Listeria* en agar nutritivo por el método de estría por agotamiento.
 6. Incube a 35 °C por 24 h.
 7. Observe las colonias que crecieron en el medio selectivo. Identifique si presentan las características principales de ser pequeñas y contar con borde entero y depresión central.
 8. Compare los resultados con la tabla de identificación bioquímica.
 9. Realice las pruebas serológicas de acuerdo con los métodos recomendados por las casas comerciales (figura 15).

4.1.4. Análisis de bromatología

Determinación de humedad.

Es crucial reconocer que muchos alimentos retienen una fracción de agua que, debido a su fuerte enlace molecular, no se elimina durante la desecación convencional. Esta humedad, aunque cuantitativamente pequeña, puede influir en las propiedades del producto. Sin embargo, en el contexto del control de calidad químico, su impacto es minimizado siempre que el método analítico empleado ofrezca resultados reproducibles y correlacionados con las características intrínsecas del alimento.

En la práctica, la elección del recipiente para determinar la humedad de un alimento puede optimizar el proceso. Si bien las cápsulas de níquel o acero inoxidable son las preferidas por su durabilidad y resistencia, las de porcelana representan una alternativa viable para agilizar el análisis sin comprometer significativamente la precisión.

La eficiencia en la pérdida de humedad se maximiza al distribuir la muestra uniformemente sobre la base del recipiente. Las estufas de desecación, ajustadas a un rango de temperatura entre los 95-105 °C, son adecuadas para la mayoría de los productos alimenticios.

No obstante, aquellos alimentos con alto contenido de azúcares demandan un enfoque distinto: su susceptibilidad a la descomposición térmica a temperaturas elevadas exige un tratamiento a 70 °C bajo condiciones de vacío, lo cual, además de prevenir la degradación, reduce considerablemente el tiempo de desecación.

El procedimiento para este análisis incluye los siguientes pasos:

1. Deposite entre 2-5 g de queso en una cápsula de porcelana o en una luna de «vidrio de reloj» (previamente tarados, es decir, pesados sin producto).
2. Deje las muestras por 2-4 h en la estufa a unos 100-105 °C.
3. Enfríe por 15 min en el desecador y pese hasta obtener un peso constante.
4. Con base en el peso inicial de la cápsula de porcelana y el del residuo, determine el contenido porcentual de humedad en la muestra.

Determinación de cenizas.

Para el análisis de cenizas es primordial llevar a cabo una etapa de pretratamiento denominada carbonización, que consiste en exponer las muestras a la llama directa de un mechero Bunsen. Este proceso debe realizarse, invariablemente, dentro de una campana de humos debido a que la liberación sustancial de partículas de carbón durante el calentamiento representa un riesgo para la salud y la seguridad en el laboratorio.

Una vez la muestra ha sido carbonizada, se puede proceder a su incineración en un horno mufla, donde la temperatura se eleva hasta alcanzar un rango alto de 550-570 °C. Este intervalo térmico, visualmente detectable por la aparición de un color rojo oscuro en el interior del equipo, asegura la completa oxidación de la materia orgánica. En ciertas ocasiones, se puede observar que la conversión del material carbonizado a cenizas blancas se prolonga. En tales circunstancias, se recomienda adicionar una única gota de carbonato

amónico, el cual actúa como un catalizador que facilita la culminación del proceso.

Finalmente, se extrae la cápsula de la mufla y se coloca en el desecador de vidrio por 10 min para que repose. Pasado ese periodo, se pesa junto con el residuo y, con base en este valor, se determina el contenido porcentual de cenizas.

Preparación de la solución de cenizas.

- Reactivos:
 - Mezcla de ácido clorhídrico y agua destilada 1:1, es decir, en volúmenes iguales.

- Materiales:
 - Camisa de crisol.
 - Estufa de disco.
 - Papel filtro grado 41.
 - Embudos pequeños.
 - Balones.
 - Mechero de Bunsen.

- Procedimiento:
 1. Después de pesar las cenizas del alimento (ver determinación de cenizas), agregue 5 mL de la solución de ácido clorhídrico y caliente hasta sequedad en una estufa de disco usando baja temperatura (por aproximadamente 30 min).
 2. Filtre a través de papel Whatman N.º W1H, en el mismo embudo y al mismo balón aforado (los papeles de filtro Whatman de grado 1 facilitan la retención de partículas de 11 µm y se utilizan para aplicaciones rutinarias de laboratorio).

3. Lave bien el crisol con agua destilada y agregue el lavado sobre papel filtro en el embudo.
4. Enjuague el papel de filtro y la punta del tallo del embudo, y complete a volumen. Esta solución es la que se usa para determinar la presencia de calcio, fósforo y hierro.

Vale la pena aclarar que las cenizas se calientan a sequedad después de agregarles la primera porción de solución de ácido clorhídrico para deshidratar los silicatos y volverlos insolubles de manera que no interfieran en la determinación de fósforo y hierro. En la siguiente etapa, las cenizas se calientan con ácido por 30 min para hidrolizar los pirofosfatos que afectan seriamente la identificación del hierro a ortofosfatos que indican la presencia de fósforo.

Determinación de nitrógeno proteico.

- Reactivos:
 - Ácido sulfúrico concentrado, grado reactivo.
 - Solución de ácido bórico al 2,5 % (se disuelven 25 g de ácido bórico en agua destilada caliente, se enfría y se completa a 1 L).
 - Solución de rojo de metilo al 0,2 % (se disuelven 0,2 g del indicador rojo de metilo con 7,4 mL de hidróxido de sodio al 0,1 N y se completa a 100 mL).
 - Solución de hidróxido de sodio al 40 %.
 - Solución de ácido clorhídrico aproximadamente a 0,1 N (recientemente estandarizado).
 - Indicador para titulación.
 - Solución alcohólica de rojo de metilo al 0,1 %: 1 parte.
 - Solución alcohólica de verde bromocresol al 0,1 %: 5 partes.
 - Solución de ácido selenio al 2 %.

- Mezcla digestora: pulverice y seque 20 g de sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 110 °C. Mezcle con 1 g de óxido de mercurio HgO y 1 g de selenio en polvo en un mortero. Una parte del conjunto se mezcla con 20 partes de sulfato de sodio Na_2SO_4 anhidro, o sulfato de potasio (o K_2SO_4).
- Materiales:
 - Aparato de destilación micro-Kjeldahl.
 - Balones Erlenmeyer de 250 mL.
 - Balones Kjeldahl de 50 mL.
- Procedimiento:
 1. Pese exactamente 0,2-0,5 g de queso y transfiera al balón micro-Kjeldahl de 50 mL.
 2. Agregue meticulosamente 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, 5 mL de la solución de ácido selenioso al 2 % y una pequeña cantidad de mezcla catalizadora, esencial para la digestión.
 3. Posicione el balón con la mezcla de forma inclinada dentro de la campana de extracción del aparato de digestión, garantizando la seguridad durante el procedimiento.
 4. Aplique calor de manera gradual, incrementando la temperatura hasta que la solución adquiera una apariencia incolora o casi incolora. Este punto es crítico.
 5. Prolongue el calentamiento por 15 min adicionales para asegurar la completa reacción.
 6. Una vez finalizada la digestión, enfríe el sistema a temperatura ambiente.
 7. Añada 20 mL de agua destilada y utilice este volumen para lavar las paredes internas del balón, asegurando la recuperación total de los analitos.
 8. Enfríe nuevamente el sistema para preparar la siguiente etapa.

9. Añada cinco gotas de rojo de metilo, un indicador de pH y unos fragmentos de piedra pómez granulada. Esta adición es crucial para prevenir la ebullición súbita durante la destilación.
 10. Sitúe el balón en el aparato de destilación.
 11. Agregue 100 mL de la solución de ácido bórico en un balón recibidor (Erlenmeyer de 250 mL) y agregue tres gotas de la solución de indicadores para titulación.
 12. Conecte el agua para los condensadores.
 13. Asegúrese de que todas las conexiones estén correctas.
 14. Agregue, gradualmente, 20 mL de la solución de hidróxido de sodio al balón de micro-Kjeldahl a través del embudo de separación.
 15. Caliente el balón, destile por 20-30 min y recoja por lo menos 150 mL.
 16. Desconecte el calentador, baje el balón recibidor y deje que caiga el líquido condensado.
 17. Titule la solución de amoníaco recogido en ácido bórico con el ácido clorhídrico estandarizado.
- Cálculos:

$$\text{Nitrógeno (g de N/100 g de muestra)} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot N_{\text{HCl}} \cdot 1,4}{\text{Peso muestra (g)}}.$$

$$\text{Proteína (g/100 g muestra)} = N \cdot 6,25.$$

- Nota: Se puede preparar un «blanco» para la titulación de la manera siguiente:
 1. En un balón Erlenmeyer de 250 mL, deposite 100 mL de la solución de ácido bórico, 150 mL de agua destilada y una pequeña gota de ácido clorhídrico 0,1 N.
 2. Agregue 10 gotas de indicador para titulación.

Determinación de grasa a través del método Howard.

- **Materiales:**
 - Embudo de separación.
 - Beaker de 50 mL.
 - Papel filtro.
 - Probeta de 10 mL.

- **Reactivos:**
 - Cloroformo.
 - Metanol.

- **Procedimiento:**
 1. Pese aproximadamente 2 g de muestra y colóquelos en un embudo de separación.
 2. Adicione un volumen de solvente equivalente a 20 veces el peso de la muestra utilizando una mezcla de cloroformo y metanol en proporción 1:1.
 3. Tape el embudo y agítelo durante 2 min para homogenizar adecuadamente la muestra.
 4. Filtre la mezcla y mida el volumen del resultado (fracción lipídica) en una probeta.
 5. Agregue agua destilada a la fracción en una proporción correspondiente al 20 % del volumen previamente medido.
 6. Transfiera la solución nuevamente al embudo de separación, donde se observarán dos fases: una superior acuosa y una inferior orgánica. Deseche la primera, extraiga cuidadosamente la segunda y transfírela a un vaso de precipitados (beaker) previamente limpio, seco y tarado (pesado en vacío).

7. Con ayuda de pinzas, introduzca el beaker en una estufa a una temperatura de 70-80 °C durante 2-3 h.
 8. Deje enfriar y coloque el recipiente en un desecador de vidrio durante 15 min.
 9. Realice un nuevo pesaje para determinar el contenido lipídico extraído.
- Cálculos: Establezca la diferencia entre el peso del beaker con el residuo graso y el peso del mismo recipiente vacío.

Uso de NIR.

La metodología NIR se ha utilizado por aproximadamente treinta años para identificar compuestos orgánicos en materiales como forrajes, cereales, productos lácteos y otros. Esta técnica se destaca por dar resultados en apenas uno o dos minutos sin requerir el uso de reactivos químicos, lo que permite conservar íntegra la muestra, evitar la generación de contaminantes y reducir costos; solo se necesita una inversión inicial para adquirir el espectrofotómetro. Además, no es imprescindible pretratar el alimento en estudio, excepto cuando se trabaja con materiales sólidos que deben ser secados, triturados y mezclados, aunque en ciertos casos también es posible analizar muestras frescas. Todas estas características proporcionan múltiples ventajas frente a otros métodos de análisis (Guerrero, 2024).

Estudios como los de Abete (2025), sobre estrategias no invasivas para el control de fraudes en la leche, y Paz *et al.* (2021), para evaluar el control de calidad en la industria agroalimentaria a partir del uso de NIR, demostraron el grado de precisión de esta técnica en el desarrollo de modelos predictivos para la detección y cuantificación de parámetros físico- químicos en alimentos. Esta clase de hallazgos posicionan a NIRS como una alternativa confiable ante los métodos clásicos de laboratorio.

Concretamente, en la industria de los lácteos, NIR permite cuantificar componentes clave en una amplia gama de productos: desde la leche líquida hasta derivados procesados como la leche en polvo,

el suero y el queso, entre otros. En el caso particular de la leche, esta caracterización es de suma importancia para los productores ya que no solo determina el valor económico del producto, sino que también proporciona información valiosa sobre el estado metabólico del ganado.

En efecto, diversos estudios han destacado la capacidad de la espectroscopía NIR de realizar predicciones altamente acertadas de los niveles de grasa y proteína cruda en muestras de leche, con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,90. Además, esta técnica ofrece estimaciones útiles de la concentración de lactosa, con un R^2 de 0,88 (Guíalab, 2020). A continuación, se indican los pasos sugeridos para aplicar esta metodología.

- Procedimiento:
 1. Pese 300 g de la muestra de queso costeño.
 2. Triture la muestra en una bolsa tipo Ziploc hasta que quede bien pulverizada.
 3. Deposite la muestra triturada en la taza de vidrio del equipo NIR.
 4. Ejecute la aplicación en el computador conectado al equipo y nombre la muestra.
 5. Espere unos segundos hasta que el equipo muestre los resultados en Excel para su posterior exportación.

Análisis multivariante.

La implementación de calibraciones multivariantes o quimiometría permite detectar un espectro amplio de propiedades, tanto composicionales como relativas al procesamiento, en muestras de productos lácteos. Así, esta aproximación analítica avanzada brinda una caracterización detallada y precisa de estos alimentos en términos de materia seca, grasa (tanto en base húmeda como en base seca), agua libre de grasa, proteínas totales, lactosa, humedad, entre otras.

El análisis cuantitativo en tiempo real se facilita mediante calibraciones específicamente configuradas para el analizador LabSpec® de la empresa Analytical Spectral Devices Inc. (ASD), empleando software especializado como GRAMS/AI, PLSplus/IQ y The Unscrambler®. Esta metodología permite la evaluación inmediata de los parámetros críticos durante el proceso productivo.

Asimismo, la correlación precisa entre los métodos de laboratorio tradicionales y la reflectancia NIR se logra mediante la aplicación de técnicas de análisis de regresión. Este enfoque estadístico robusto asegura la validez y la fiabilidad de las predicciones obtenidas mediante espectroscopía NIR.

4.2. Fase postanalítica

Luego de la fase de análisis, es preciso establecer unos estándares de calidad y trazabilidad tanto de logística de laboratorio como de transporte externo. Estas medidas administrativas y de gestión garantizarán que los resultados de los estudios a los productos agroalimentarios, en este caso la leche y el queso costeño, sigan los principios de calidad, oportunidad, trazabilidad y eficiencia.

En Colombia, los estándares de salud pública que debe cumplir la red nacional de laboratorios están contemplados en la Resolución 1619 del 15 de mayo de 2015, emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social, el Invima y el INS. Con base en esta regulación, se evalúan los parámetros de organización y gestión, talento humano, infraestructura, dotación, y mantenimiento, sistema de comunicación y registro, referencia y contrarreferencia, bioseguridad y manejo de residuos y procesos prioritarios. A cada uno de estos criterios se les otorga un puntaje y se conceptúa su cumplimiento o no (tablas 18 y 19). Este examen abarca las dimensiones fisicoquímica y microbiológica, y se observa si se está aplicando un plan de mejora en dichas áreas o si estas están suspendidas o en cierre total (tabla 20).

A manera de resumen, los parámetros evaluados para cada área son:

- a. Organización y gestión: Se tiene en cuenta si el laboratorio se encuentra certificado o no, garantiza la protección de la información, cuenta con un manual de calidad y gestiona el cumplimiento de la normativa con respecto a equipamiento y dotación del laboratorio y del equipo humano, reactivos, calibración y administración de riesgos.
- b. Talento humano: Los ítems evaluados se relacionan con la existencia de un manual de perfiles profesionales, un responsable de la calidad, un plan de capacitaciones y entrenamiento, y personal de apoyo y mantenimiento.
- c. Infraestructura y dotación: Se evalúan aspectos como la delimitación de áreas de trabajo dentro del laboratorio, iluminación adecuada, humedad y temperatura, lavabos y desagües apropiados, ventilación y espacios de almacenamiento, entre otros.
- d. Dotación y mantenimiento: Se revisa si el laboratorio cuenta con hojas de vida de su equipo, mantenimiento, etiquetas de manipulación adecuada de instrumentos y plan metrológico para aseguramiento de las mediciones.
- e. Comunicación y registro: Indica si se ha implementado un sistema de transmisión de información y conectividad.
- f. Referencia y contrarreferencia: Registra si existe trazabilidad en el levante y el manejo de la información y de los informes, así como la cadena de custodia de las muestras, el cumplimiento de parámetros de bioseguridad, y el adecuado embalaje y transporte de las muestras.
- g. Bioseguridad y manejo de residuos: Determina si se presenta la gestión integral del manejo de residuos.
- h. Procesos prioritarios: Evidencia si se llevan a cabo procesos de evaluación externa directa e indirecta del desempeño y la vigilancia en el cumplimiento de la normativa en general.

Tabla 18. Resumen de valoración por criterios

Ítem	Criterio	Puntaje máximo	Puntaje mínimo	Puntaje obtenido	Cumple	No cumple	*Fecha envío plan de mejoramiento a Invima
1	Organización y gestión	45	0				
2	Talento humano	26	23				
3	Infraestructura y dotación	40	36				
4	Referencia y contrarreferencia	16	14				
5	Bioseguridad y manejo de residuos	26	23				
6	Procesos prioritarios	34	31				
Total de créditos							

Fuente: elaboración propia basada en la Resolución 1619 de 15 de mayo de 2015.

La siguiente tabla sintetiza muy bien el proceso de valoración seguido:

Tabla 19. Concepto final del resumen de la valoración de estándares de calidad y trazabilidad en salud pública para laboratorios

Concepto	X	Concepto	X	Concepto	X
Cumple fisicoquímica		En plan de mejoramiento fisicoquímico		Cierre de área fisicoquímica	
Cumple microbiología		En plan de mejoramiento microbiológico		Cierre de área microbiológica	

Concepto	X	Concepto	X	Concepto	X
No cumple fisicoquímica		Suspensión de metodologías fisicoquímicas			
No cumple microbiología		Suspensión de metodologías microbiológicas			

Fuente: elaboración propia basada en la Resolución 1619 de 15 de mayo de 2015.

Asimismo, la tabla que sigue contempla el tipo de sanciones que pueden aplicarse cuando se incumplen los estándares de calidad.

Tabla 20. Medidas sancionatorias de la valoración de estándares de calidad y trazabilidad en salud pública para laboratorios

Descripción	Sí	No
Cierre temporal		
Cierre definitivo		
Cierre de área		
Suspensión de metodología		

Fuente: elaboración propia basada en la Resolución 1619 de 15 de mayo de 2015.

Ahora bien, un traslado inadecuado de las muestras puede representar un riesgo biológico y afectar, por ende, la precisión de la información reportada en los análisis de productos agroalimentarios. Por lo tanto, es fundamental que entre la logística de laboratorio se contemplen protocolos e indicadores de desempeño que garanticen estándares de calidad en cuanto a etiquetado, embalaje, control de temperatura, bioseguridad en la manipulación de las muestras y un uso apropiado de contenedores certificados para el transporte de estas en los tiempos requeridos y de manera costo-eficiente

y biosegura. También conviene establecer mecanismos de trazabilidad y fomentar la implementación de políticas y estrategias de mejora continua (tabla 21).

Tabla 21. Estándares de calidad aplicados a la logística del transporte externo en laboratorios

Procedimiento	Descripción
Cadena de frío	Se refiere a la suma de procedimientos para controlar la temperatura con el objeto de conservar los atributos de la muestra y evitar la reproducción del riesgo biológico. Esta variable se puede ajustar de acuerdo con el tipo de muestra, oscilando entre la refrigeración y la congelación.
Control de temperatura	Además de las medidas contempladas como parte de la cadena de frío, se aconseja utilizar herramientas tecnológicas para verificar que la temperatura requerida se mantenga. Por ejemplo, pueden disponerse sensores en los contenedores dispuestos para el transporte de las muestras.
Protocolos de embalaje	Consiste en procedimientos integrales para el empaque de las muestras diseñados con el fin de que estas no sufran golpes o fugas en caso de caídas.
Empaquetado y rotulado	Los procedimientos de empaquetado corresponden al uso de materiales específicos que protejan las muestras ante posibles variaciones de temperatura y accidentes. En el caso del rotulado, se refiere al correcto etiquetado tanto de la solicitud de la muestra como de su contenido. Además, cada muestra debe contener una identificación precisa, como un código QR o de barras, que relacione fecha y hora de toma de muestra, el análisis solicitado, el origen de la muestra, nombre del analista, etc.
Contenedores certificados	Se refiere al tipo de recipiente usado por tipo de muestra. Debe estar homologado con el definido en el protocolo de empaquetado y embalaje, y además cumplir con las condiciones de aislamiento térmico óptimo para la conservación de la cadena de frío.

4.3. Indicadores clave de desempeño

Los KPI son parámetros que permiten estandarizar los procesos de calidad en un laboratorio y contar con la trazabilidad de esta logística. Así, con estos indicadores es posible identificar el nivel de mejora de cualquier actividad productiva dentro de una cadena de suministro o de una cadena de valor, como en el caso presente de los análisis microbiológicos y bromatológicos de la leche y el queso costeño.

Igualmente, los KPI son insumos clave para identificar de manera precisa las certezas, las falencias y los niveles de eficiencia en la ejecución de un proceso y en sus resultados, a fin de disminuir la variabilidad y garantizar la integridad y la calidad de los productos. La tabla 22 presenta una serie de KPI propios de un laboratorio.

Tabla 22. Indicadores clave de desempeño en laboratorio de análisis de muestras agroalimentarias

KPI	Definición y justificación	Fórmula de cálculo
Tasa de errores preanalíticos (TEP)	Mide el porcentaje de errores en los procedimientos de toma de muestras.	$\frac{\text{N.º de procedimientos con errores}}{\text{Total de procedimientos aplicados}}$
Porcentaje de muestras rechazadas (PMR)	Evalúa el porcentaje de muestras rechazadas.	$\frac{\text{N.º de muestras rechazadas}}{\text{Total de muestras recibidas}}$
Tasa de pedido perfecto (TPP)	Valora el porcentaje de muestras exitosas.	$\frac{\text{N.º de muestras exitosas}}{\text{Total de muestras recibidas}}$
Tasa de repetición de muestras (TRM)	Estima el porcentaje de muestras que requieren ser repetidas.	$\frac{\text{N.º de muestras que requieren repetición}}{\text{Total de muestras recibidas}}$

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

KPI	Definición y justificación	Fórmula de cálculo
Trazabilidad completa (TC)	Calcula el porcentaje de muestras con registro completo.	N.º de muestras con registro completo/ Total de muestras recibidas.
Costo de la muestra rechazada (CMR)	Pondera los costos de las muestras rechazadas.	Costos de las muestras rechazadas/ Costo del total de las muestras recibidas.
Tasa de rotación de inventario de reactivos (TRI)	Evalúa la rotación y el uso eficiente del inventario de los reactivos.	Valor del reactivo consumido/Valor promedio del inventario.
Tiempo de respuesta total (TRT)	Estima el nivel de eficiencia del proceso logístico de análisis de muestras (horas de toma de muestra hasta el reporte).	Fecha de entrega de resultados/Fecha de solicitud de análisis.
Tiempo promedio de transporte (TMT)	Contabiliza el tiempo desde el punto del muestreo hasta la recepción de la muestra en el laboratorio.	Tiempo de entrega de la muestra en el laboratorio – Tiempo de recolección de la muestra en sitio de muestreo.

Estos KPI miden los costos del manejo de muestras, la rotación de inventarios de reactivos, los tiempos de transporte de las muestras al laboratorio, las tasas de errores, rechazo y repetición en la toma y el análisis de muestras, los tiempos de respuesta y del ciclo total del proceso, y la eficiencia del trabajo de laboratorio, entre otros parámetros. Así, estos indicadores evidencian rápidamente problemas de

carácter sistemático o aislados, facilitando la aplicación de medidas tanto predictivas como correctivas y animando la implementación oportuna de sistemas de mejora continua.

Ahora bien, para esta dinámica es crucial tener en cuenta que los KPI se deben escoger según el sector productivo y la tarea por evaluar. Una identificación correcta de los indicadores específicos y más convenientes hará que las decisiones se tomen con base en datos veraces con miras a gestionar los recursos de manera óptima, sobre todo en el caso de los laboratorios para análisis de muestras agroalimentarias que son de carácter perecedero, cuyo inadecuado manejo puede tener implicaciones de carácter económico o de imagen, e incluso afectar gravemente la salud pública nacional e internacional.

5. Ejemplo de informes de laboratorio de muestras de leche y queso costeño del Caribe colombiano: fase postanalítica

5.1. Descripción de los informes de resultados

Este apartado se basa en el informe de resultados elaborado en el marco del proyecto de investigación «Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del queso costeño en las subregiones del Caribe colombiano: departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira». Cabe anotar que estos tres territorios en estudio se dividieron en tres subregiones cada uno de acuerdo con la clasificación propuesta por Fedegán, la cual considera condiciones agroclimáticas y evidencia respaldada en información secundaria. Para el presente capítulo se toman como caso de ejemplo, concretamente, los hallazgos correspondientes a tres municipios de la subregión sur del Magdalena.

Asimismo, se debe precisar que, de acuerdo con cálculo de tamaño muestral y por conveniencias de tiempo y distancia, el proyecto trabajó con tres muestras de leche y de queso costeño por municipio. Para la toma de estos especímenes y obtener información veraz y actualizada en el marco de la cadena de suministro de este producto, se consideró la disponibilidad de los actores visitados, cuyos nombres verdaderos se mantienen en reserva por protocolo de seguridad.

En este informe se presentan al detalle el procedimiento para la toma de muestras y los distintos análisis aplicados a estas, especificando los recorridos por cada municipio de interés. Asimismo, se incluye una descripción preliminar de la infraestructura, los insumos y el equipamiento empleados en la producción y la comercia-

lización del queso costeño. Seguidamente, se registran los resultados del estudio fisicoquímico *in situ* de la leche con respecto a los parámetros de temperatura, pH y densidad gravimétrica y corregida en laboratorio.

Posteriormente, el informe continúa con el reporte de los parámetros bromatológicos del queso costeño, tales como grasa, humedad, sal, proteína, sólidos totales, humedad sin materia grasa y materia grasa en extracto seco. En este mismo ámbito, se presenta la clasificación del queso costeño según su porcentaje de humedad sin materia grasa (HSMG) y el contenido de materia grasa en extracto seco (GES), de acuerdo con la NTC 750 de 2009.

Por último, se muestran los resultados del análisis microbiológico de la leche y el queso costeño. En el primer caso, se informan los hallazgos de mesófilos aeróbicos, medidos por unidades formadoras de colonia por mililitro. Por otro lado, los parámetros que se registran para el queso son coliformes totales, *E. coli*, mohos y levaduras, *S. aureus* y la presencia o ausencia de *Salmonella* y *Listeria*.

5.1.1. Infraestructura de la subregión sur

En esta subregión se determinó visitar los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana y se recolectaron tres muestras de los dos productos en cada territorio. De esta manera se obtuvieron nueve muestras de leche y nueve de queso costeño, para un total de dieciocho. Este mismo proceso se aplicó en el resto de las subregiones de cada uno de los departamentos objeto de estudio y se ejecutó dos veces con el objetivo de garantizar un efectivo muestreo en términos de tiempo, disponibilidad y cantidad durante las visitas realizadas a los distintos actores de la cadena de suministro de queso costeño (proveedores de leche, productores y comercializadores).

Además, previo a la recolección, se elaboró un listado preliminar con los posibles actores responsables de proporcionar las muestras al equipo técnico del proyecto en la zona de estudio. Esta base de datos se construyó a partir de información secundaria e información

recopilada durante un recorrido preliminar. Posteriormente, se procedió al contacto telefónico individual con cada actor, con el fin de obtener su consentimiento para la entrega de las muestras requeridas, así como para definir con antelación la ruta de recolección más eficiente, optimizando el tiempo de desplazamiento.

La información resultante se resume en la tabla 23, en la cual se relacionan los actores contactados. Finalmente, se incluye una breve descripción del eslabón de la cadena de suministro al que pertenece cada actor, junto con su ubicación en el territorio de interés y el tipo de muestra facilitada por este.

Tabla 23. Listado preliminar de productores que proporcionaron muestras de leche y queso costeño en la subregión sur del departamento del Magdalena

Municipio	Nombre y apellidos	Lugar	Observación
El Banco	Jorge C.	Quesera C (mercado P)	Se tomó muestra de queso
El Banco	Stella S.	Quesera S (mercado P)	
El Banco	Luis G.	Lácteos del M (sector mercado)	Se tomaron muestras de queso y de leche
El Banco	Jorge Z.	Quesera Z y R	
El Banco	Gina R.	Quesera M	
El Banco	Rosa O.	Comercializadora M (sector mercado-río)	
El Banco	Julia M.	Lácteos M (sector mercado-cerca de Melanie)	

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

Municipio	Nombre y apellidos	Lugar	Observación
Guamal	Octavio L.	Productor-comercializador OL	Se tomaron muestras de queso y de leche
Guamal	Jaider T.	Productor-comercializador JT	Se tomaron muestras de queso y de leche
Guamal	Faustino R.	Quesera R	
Guamal	Javier B.	Asogran	Se tomó muestra de leche
Guamal	Finca Veranillo	Finca V	
Guamal	Otto F.	Quesera OF	
Guamal	Adriana M.	Quesera AM	
Guamal	Raúl R.	Quesera RR	
Guamal	David P.	Quesera DP	
Guamal	Octavio M.	Quesera M	
Santa Ana	Luis Y.	Quesería M	Se tomaron muestras de queso y de leche
Santa Ana	Ana M.	Lácteos MA	Se tomaron muestras de queso y de leche

Municipio	Nombre y apellidos	Lugar	Observación
Santa Ana	Fernando H.	Quesera FH	
Santa Ana	Andrés P.	Quesera S	
Santa Ana	Carmen M.	Quesería C	

La toma de muestras inició el segundo día de la salida, a las 6:00 a. m., luego de pernoctar la noche anterior en el municipio desde donde se inició el recorrido: El Banco. Como se puede ver en la tabla 24, en este primer punto se recolectaron seis muestras entre queso y leche.

Tabla 24. Cantidad de muestras recolectadas por municipios en la subregión sur del departamento del Magdalena

Tipo de muestra	El Banco	Guamal	Santa Ana
Leche	2	4	3
Queso	4	3	2

Como se puede ver en la figura 16, la primera visita en el recorrido de El Banco se llevó a cabo en la planta Lácteos del M, donde el señor Luis G. suministró muestras de leche y de queso costeño. Este productor cuenta con una planta que presenta un cierto grado de industrialización, incluyendo tanques para el almacenamiento en frío de la leche, refrigeradores para la conservación del queso costeño e implementos adecuados para su fabricación.

Sin embargo, se identificó la necesidad de sustituir algunos elementos inadecuados utilizados en la recolección de la leche y en la elaboración del queso. Además, se recomienda establecer un sistema

de organización interna que facilite las labores de limpieza y, posteriormente, avanzar en adecuaciones de infraestructura que garanticen condiciones óptimas para la producción higiénica y segura del alimento correspondiente (figura 17).

Figura 16. Mapa de toma de muestras en el municipio El Banco

Mapeo de la toma de muestras del Proyecto Queso Costeño, en el municipio El Banco del departamentos del Magdalena para la subregion sur

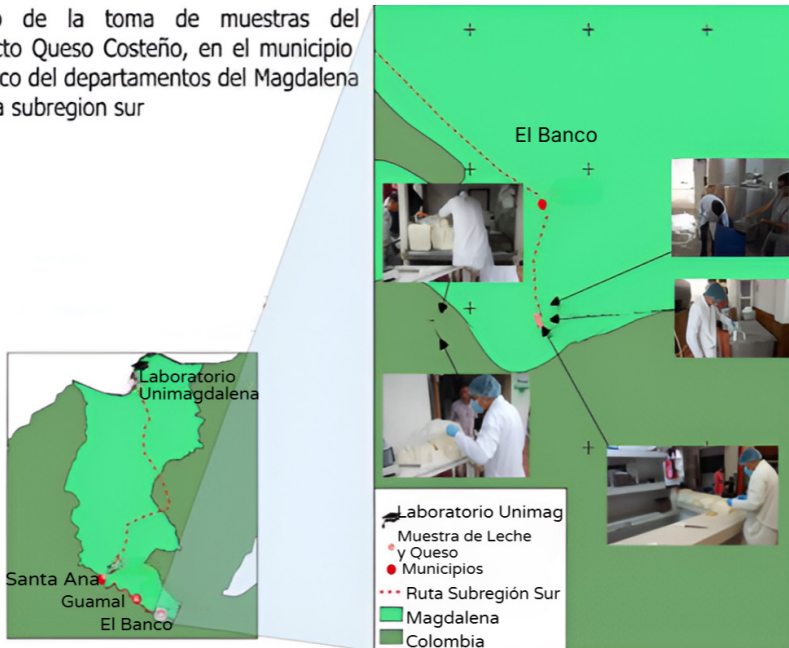


Figura 17. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Lácteos del M



El recorrido continuó con el traslado al mercado público, donde se visitó a un comercializador en la Quesera C. Aunque este actor cuenta con refrigeradores para conservación del queso costeño, se evidenciaron pocos controles de higiene en el momento de vender el producto. En ese sentido se señalan prácticas como colocar el producto sobre un mesón revestido de cerámica con el fin de realzar los cortes para la venta y la falta de elementos de uso personal que garanticen la inocuidad del alimento (figura 18).

Figura 18. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera C



Para completar las muestras en el municipio de El Banco, se visitaron los establecimientos de los comercializadores Jorge Z. y Gina R., representantes de las queseras Z y R, y M, respectivamente. En las figuras 19 y 20 se presenta la evidencia fotográfica de las visitas realizadas a estos establecimientos ubicados sobre la vía pública en

el mercado municipal. En el caso de la Quesera Z y R, se observó que su producto se encontraba sin refrigerar, sobre una mesa de materiales inadecuados y cubierto por un plástico transparente mientras no se manipulaba.

Figura 19. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera Z y R



En la Quesera M la situación fue similar a la de las dos anteriores. No obstante, en este caso el queso se disponía sobre una mesa de acero inoxidable, lo cual facilita su limpieza. De todos modos, este establecimiento tampoco se encontraba en condiciones adecuadas para la conservación del alimento al no contar con refrigeración ni protección sanitaria apropiada.

Figura 20. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M



En el mismo sector del mercado se realizó una visita a Lácteos M, establecimiento dirigido por la productora Julia M., donde se elabora principalmente queso mozzarella. Sin embargo, este actor facilitó también una muestra de leche para su respectivo análisis. Esta planta de producción cuenta con un adecuado equipamiento técnico que cumple con los requerimientos mínimos para la elaboración de productos lácteos, incluyendo tanques de refrigeración, un cuarto frío y un equipo analizador de leche, mediante el cual se monitorean los parámetros fisicoquímicos del producto como parte del control de calidad aplicado a los insumos suministrados por sus proveedores (figura 21).

Figura 21. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Lácteos M



En la tabla 25 se relacionan de manera específica el número y tipo de muestras recolectadas por cada productor visitado en el municipio El Banco, subregión sur, departamento del Magdalena.

Tabla 25. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio El Banco

Tipo de muestra	Lácteos M	Quesera C	Quesera M	Quesera Z y R	Lácteos del M
Queso	1	1	1	1	0
Leche	1	0	0	0	1

Seguidamente, alrededor de las 8:00 a. m. se inició el recorrido de toma de muestras en el municipio de Guamal (figura 22). En este caso se visitaron los establecimientos Finca V, Quesera M y Quesera R, donde se recolectaron tres y cuatro muestras de queso y leche, respectivamente, para un total de siete.

Figura 22. Mapa de toma de muestras en el municipio Guamal



En primer lugar, se visitaron las instalaciones de la quesera ubicada en la Finca V y la Quesera R. En ambos casos se evidenció una infraestructura limitada que no cumple con los requisitos mínimos establecidos en la normatividad sanitaria vigente. Además, se constató la ausencia de un espacio adecuado para el almacenamiento temporal de la leche previo al inicio del proceso de transformación. Tampoco se encontraron sistemas de enfriamiento apropiados, lo cual compromete la conservación de la materia prima. También se observó que el queso costeño producido es almacenado en una nevera convencional, lo que no garantiza las condiciones óptimas de refrigeración exigidas para este tipo de producto (figura 23).

Figura 23. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Finca V



Siguiendo dentro del municipio de Guamal, se recogieron muestras de leche y queso costeño del productor Luis Y., de Quesera M. En esta oportunidad se registró que existe un espacio designado en el patio para la fabricación del queso costeño, con cubierta de techo pero al aire libre, con recubrimiento de piso y paredes inadecuados, además de tanques de materiales no recomendables para la elaboración de este alimento. Este actor cuenta con un refrigerador para el almacenamiento de su producción (figura 24).

Figura 24. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M



Camino al municipio de Santa Ana se encuentra la estación de recolección de leche de Asogran, donde el señor Javier B. facilitó una muestra de leche cruda para su análisis. Este espacio cuenta con un tanque de 1.000 L tipo bebedero donde se almacena toda la leche que llega al centro de acopio y luego se envía a un tanque de enfriamiento para su conservación y, finalmente, distribuirla (figura 25).

Figura 25. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Asogran



En la tabla 26 se relacionan de manera específica el número y el tipo de muestras recolectadas por cada productor visitado en el municipio Guamal, de la subregión sur del departamento del Magdalena.

Tabla 26. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio Guamal

Tipo de muestra	Finca V	Quesera M	Quesera R	Asogran
Queso	1	1	1	0
Leche	1	1	1	1

El último municipio visitado en la subregión sur del departamento del Magdalena fue Santa Ana. La jornada de recolección de muestras en este punto inició a las 10:00 a. m. Como se muestra en la figura 26, el recorrido en este caso solo incluyó a la Quesería M, único establecimiento que pudo atender al equipo técnico del proyecto en

la fecha programada. En total se recolectaron cinco muestras: tres de leche y dos de queso costeño. Una de estas últimas tenía una antigüedad de cinco días.

Figura 26. Mapa de toma de muestras en el municipio Santa Ana

Mapeo de la toma de muestras del proyecto de queso costeño en el municipio de Santa Ana, para la subregión sur del Departamento del Magdalena



La figura 27 muestra las instalaciones de la Quesería M, la cual cuenta con un espacio considerable para sus actividades, además de una infraestructura importante, con espacios específicos para cada tarea de la cadena productiva. Sin embargo, se observó que en una de las etapas de este sistema el queso se empacaba en bolsas plásticas y se almacenaba en canastas en un lugar que, a pesar de tener una cubierta de techo, se encontraba al aire libre. El producto, según se informó, permanece allí hasta diez días antes de iniciar el proceso de

distribución, lo que puede perjudicar la calidad de este alimento que requiere una cadena de frío para garantizar su inocuidad.

Figura 27. Evidencia fotográfica de recolección de muestras en Quesera M



En la tabla 27 se relacionan de manera específica el número y el tipo de muestras recolectadas por el productor visitado en el municipio Santa Ana, de la subregión sur del departamento del Magdalena.

Tabla 27. Cantidad de muestras recolectadas por productor en el municipio Guamal

Tipo de muestra	Quesería M
Queso	2
Leche	3

Por otra parte, en la tabla 28 se presenta una recopilación de las observaciones registradas durante el recorrido de toma de muestras de leche en los municipios del área de estudio. Se incluye la ubicación geográfica de cada actor y una descripción del muestreo.

Tabla 28. Recopilación de los resultados de toma de muestra de leche en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

Municipio	Nombre de la empresa	Coord. N	Coord. W	Descripción	Observaciones
El Banco	Quesera M	8°59'33,01"	73°00'56"	Muestra de leche tomada del productor.	
	Lácteos del M	8°59'34,89"	73°00'49"	Muestra de leche de quesera dedicada a producción de queso mozzarella.	
	Lácteos M	8°59'27,67"	73°58'25,04"	Muestra de leche tomada del productor.	
Guamal	Finca V	9°4'45,62"	73°01'00"	Quesera ubicada entre El Banco y Guamal, en la Finca V.	
	Quesera R	10°36'26"	73°10'00"	Quesera ubicada en el corregimiento de Murillo, muestra tomada de productor.	

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

Municipio	Nombre de la empresa	Coord. N	Coord. W	Descripción	Observaciones
Guamal	Quesera M	10°36'21"	9°8'52,33"	Ubicada en cabecera municipal, muestra tomada de productor.	
	Asogran	10°36'37"	9°9'51,82"	Asociación a las afueras de Guamal donde acopian leche en tanques fríos.	El productor tiene varias rutas de recolección; en este caso, Ruta la Junta.
Santa Ana	Quesera M1	10°46'04"	9°20'56,75"	Muestra tomada de productor.	El productor tiene varias rutas de recolección; en este caso, Ruta San Fernando.
	Quesera M2	10°46'04"	9°20'56,75"	Muestra tomada de productor.	El productor tiene varias rutas de recolección; en este caso, Ruta Talaigua.
	Quesera M3	10°46'04"	9°20'56,75"	Muestra tomada de productor.	La leche estaba refrigerada y ya se encontraba envasada.

Seguidamente, en la tabla 29 se presenta información de los actores que facilitaron las muestras de queso costeño. Además de su ubicación, se describe el muestreo por tipo de actor y las observaciones de interés sobre los especímenes facilitados para su análisis.

Tabla 29. Recopilación de los resultados de toma de muestra de queso en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

Municipio	Número de muestra	Nombre de la empresa	Coord. N	Coord. W	Descripción	Observación
El Banco	Q1	Lácteos M	8°59'33,01"	73°00'56"	Muestra tomada del productor.	
	Q2	Quesera C	8°59'34,89"	73°00'49"	Muestra tomada del comercializador.	La muestra se tomó en la plaza de mercado.
	Q3	Quesera M	9°4'45,62"	73°01'00"	Muestra tomada del comercializador.	La muestra se tomó en la plaza de mercado.
	Q4	Quesera Z y R	10°36'26"	73°10'50,25"	Muestra tomada del comercializador.	La muestra se tomó en la plaza de mercado.
Guamal	Q5	Asogran	10°36'21"	73°8'52,33"	Muestra tomada del productor.	
	Q6	Quesera R	10°36'37"	73°9'51,82"	Muestra tomada del productor.	
	Q7	Quesera M	10°46'04"	73°20'56,75"	Muestra tomada del productor.	
Santa Ana	Q8	Quesera M1	10°46'21"	73°20'56,75"	Muestra tomada del productor.	
	Q9	Quesera M2	10°46'42"	73°20'56,75"	Muestra tomada del productor.	La muestra presentaba seis días en almacenamiento sin refrigeración.

5.1.2. Resultados del análisis bromatológico/físicoquímico in situ de la leche

En la tabla 30 se registran los resultados de las variables temperatura, pH y densidad para las muestras de leche tomadas en los municipios de la subregión sur del departamento del Magdalena.

Tabla 30. Resultados de los análisis de variables *in situ* de la leche muestreada en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

Municipio	Número de muestra	Nombre de la empresa	Temperatura (°C)	pH	Densidad <i>in situ</i> (g/mL)	Densidad corregida o tomada en laboratorio (g/mL)
El Banco	L1	Quesera M	9,1	6,85	1,026	1,025
	L2	Lácteos del M	34	6,7	1,022	1,026
	L3	Lácteos M	33,4	6,64		
Guamal	L4	Quesera R	25	6,44		
	L5	Quesera M	22,2	6,71		
	L6	Finca V	35,1	6,62	1,025	1,029
Santa Ana	L7	Quesera M1	14,5	6,72		
	L8	Quesera M2	17,2	6,71		
	L9	Quesera M3	16,8	6,67		

Estos resultados corresponden a algunas de las variables contempladas por la NTC 399 de 2002. En el caso particular de la temperatura, los valores se registraron durante la toma de muestras de cada productor. Con respecto a la densidad, debido a que este parámetro se determina en el mismo punto de recolección, se recomienda llevar un equipo electrónico portable.

Según lo establece la NTC 399 de 2002, las mediciones de densidad se deben considerar a una temperatura de referencia de 15/15 °C (gravedad específica). En este sentido, los valores aceptables oscilan entre un mínimo de 1,030 y un máximo de 1,033 (figura 28). Ahora bien, cuando se trabaja con temperaturas diferentes, se deben realizar los siguientes cálculos:

- Por encima de la temperatura de referencia del lactodensímetro:

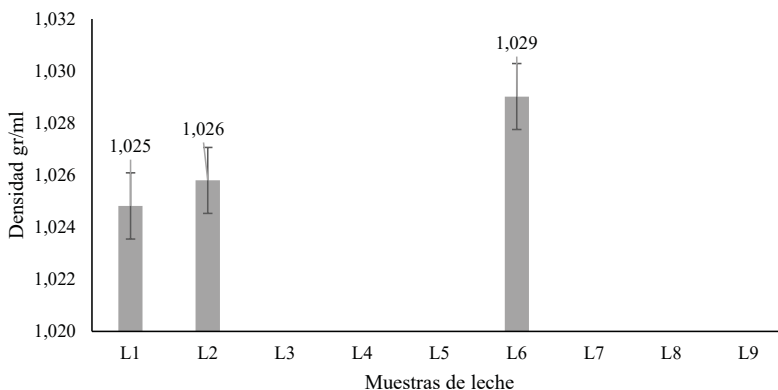
$$\text{Densidad real o corregida} = \text{Densidad leche} + 0,0002 (T^\circ - 15^\circ \text{C}).$$

T° = Temperatura leída en el medidor de pH (la temperatura de la leche).

- Por debajo de la temperatura de referencia del lactodensímetro:

$$\text{Densidad real o corregida} = \text{Densidad leche} - 0,0002 (15^\circ \text{C} - T^\circ).$$

Figura 28. Valores de densidad en las muestras de leche de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Para establecer la densidad de la leche recién obtenida, es necesario aguardar al menos una hora para que la concentración de gases se estabilice. La gravedad específica de este alimento proveniente de un grupo diverso de razas suele ser de 1,0325 g/mL como valor medio, pero puede fluctuar entre 1,030-1,033 g/mL, e incluso sobrepasar estos márgenes en ciertas situaciones. Como ya se mencionó, por lo general este parámetro se mide a 15 °C (60 °F) o se ajusta a esta

temperatura (Revilla e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1982).

Es preciso anotar que en el recorrido por la subregión sur del Magdalena solo se pudo medir la densidad de tres de las nueve muestras recolectadas debido al tamaño del lactodensímetro y a la poca cantidad de leche disponible de parte del productor. Los resultados de la figura 30 corresponden a estos casos en los que se pudo determinar esta variable, y fueron ajustados mediante la fórmula mencionada ya que no se trabajó a la temperatura recomendada por la norma.

Como se puede observar en la figura 30, la muestra L1 de la Quezera M de El Banco tuvo una densidad corregida de 1,025 g/mL. Entretanto, la muestra L2, de Lácteos del M, registró 1,026 g/mL en este parámetro. Por último, para la muestra L6 del señor Javier B., de Guamal, se reportó un resultado de 1,029 g/mL. Estos tres valores no cumplen con el rango establecido por la NTC 399 de 2002, que es de 1,030-1,033 g/mL.

Además de la temperatura en que se toma la muestra, existen diversos factores que afectan la composición de la leche. Arias *et al.* (2008) mencionan una

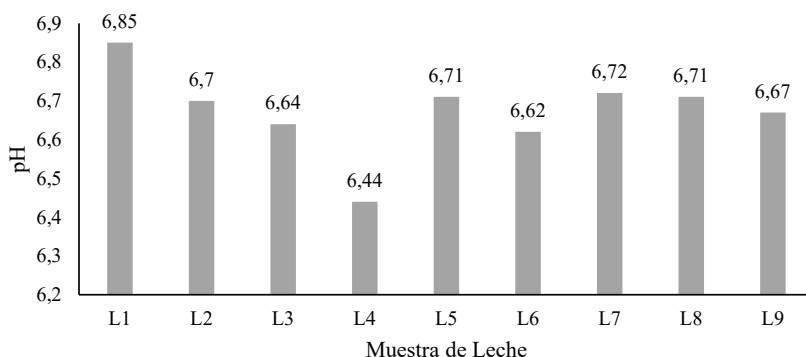
amplia gama de factores biológicos y ambientales. Entre estos se incluyen la especie y raza del animal, la fase y técnica de ordeño, la contribución de cada cuarto de la ubre, el periodo de lactancia, el estado nutricional del animal, la composición de su dieta, las variaciones estacionales, las temperaturas ambientales, la edad del animal, la salud de la ubre y la presencia de enfermedades sistémicas (p. 9).

En el caso del pH, los valores normales establecidos para la leche cruda y fresca se encuentran en el rango entre 6,6-6,8, ligeramente ácido pero cercano a la neutralidad. Esta acidez moderada es atribuible a la presencia de componentes como las caseínas y los aniones fosfórico y cítrico. Sin embargo, es importante destacar que estos parámetros de referencia corresponden principalmente a temperaturas

cercanas a los 25 °C ya que el grado de calor influye en el equilibrio iónico del producto.

La figura 29 evidencia que los resultados de las muestras tomadas en la subregión sur del Magdalena varían entre 6,85 y 6,44. Por lo tanto, la muestra de mayor valor (L1, proveniente de la Quesera M de El Banco, con 6,85) y la del registro más bajo (L4, de la Quesera R de Guamal, con 6,44) quedan fuera del umbral aceptado por la norma.

Figura 29. Resultados *in situ* de pH de las muestras de leche recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



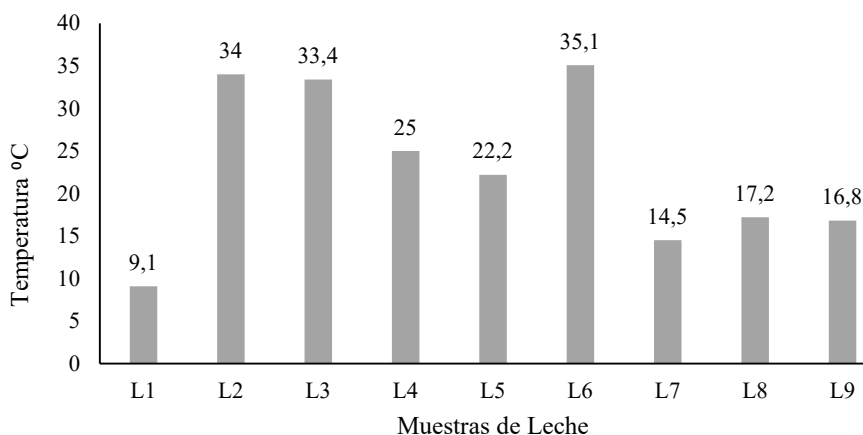
No obstante, el pH de la leche no es un indicador estático, sino que presenta variaciones. El calostro, por ejemplo, exhibe un pH más bajo, alrededor de 6,0, debido a su elevada concentración de proteínas. La disminución en esta variable también puede asociarse a la descomposición bacteriana en la leche (Salguero, 2019).

Asimismo, la fase de lactancia influye en el pH, observándose valores elevados, superiores a 7,4, en la leche de vacas individuales al final de este periodo. El aumento en este parámetro también puede deberse a una mastitis: una inflamación que provoca una mayor permeabilidad de las membranas de la glándula mamaria, lo que resulta en una elevada concentración de iones sodio (Na⁺) y cloruro (Cl⁻) y una disminución en los niveles de lactosa y fósforo inorgánico soluble (Negri y Aimar, 2019).

Por otro lado, la temperatura de la leche recién ordeñada es de 37 °C, de forma que las muestras con rangos entre 30-37 °C son aquellas que tienen poco tiempo de ser extraídas. En cambio, los valores cercanos a 10 °C indican que ha habido un proceso de refrigeración. En la figura 30 se ilustran los valores registrados para esta variable durante el recorrido por la subregión sur del Magdalena.

Como se puede observar, el valor más alto, de 35,1 °C, corresponde a la muestra L6, de la quesera del señor Javier B. del municipio de Guamal. Este elevado registro se debe a que, en efecto, esta leche fue tomada después del ordeño. Por otro lado, la menor temperatura, de 9,1 °C, se registró para la muestra L1 de la Quesera M en El Banco, que en el momento de su recolección se encontraba refrigerada.

Figura 30. Resultados *in situ* de temperatura de las muestras de leche tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



El enfriamiento es una medida crucial para preservar la calidad intrínseca y el valor nutricional de la leche, extendiendo su vida útil hasta el momento de su procesamiento o consumo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la refrigeración no mejora las cualidades originales de la leche; su función principal radica en la inhibición del crecimiento microbiano.

Asimismo, es preciso considerar que el ambiente térmico de alrededor de 37 °C que se registra en la leche recién ordeñada favorece la proliferación bacteriana exponencial. Por consiguiente, es indispensable someter este producto a un enfriamiento inmediato, reduciendo su temperatura a un rango entre 0-5 °C, pero sin llegar a valores inferiores a 0 °C que pueden alterar la composición y la textura (FAO, 2016).

5.1.3. Resultados del análisis bromatológico/fisicoquímico *in situ* de queso costeño

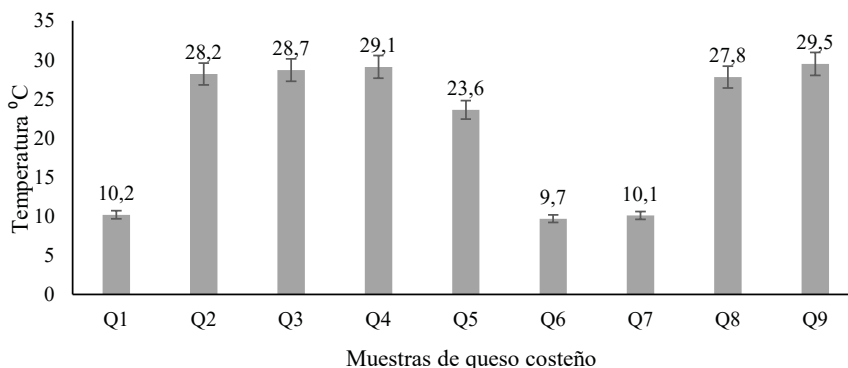
En la tabla 31 se presentan los resultados de los parámetros bromatológicos de temperatura y pH del queso costeño en los municipios de la subregión sur del departamento del Magdalena. Estas dos variables, en particular, son fundamentales ya que inciden en el sabor y en la textura de este alimento.

Tabla 31. Parámetros bromatológicos *in situ* del queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana: pH y temperatura

Municipio	Número de muestra	Nombre de la quesera	Temperatura (°C)	pH
El Banco	Q1	Quesera M	10,2	6,10
	Q2	Quesera C	28,2	5,75
	Q3	Lácteos del M	28,7	5,93
	Q4	Quesera Z y R	29,1	5,71
Guamal	Q5	Quesera M	23,6	5,5
	Q6	Quesera R	9,7	6,64
	Q7	Lácteos M	10,1	6,24
Santa Ana	Q8	Quesera M1	27,8	5,67
	Q9	Quesera M2	29,5	5,13

En principio, la temperatura ideal de conservación del queso debe estar entre los 2-5 °C. Sin embargo, como se puede apreciar, la mayoría de las muestras no estaban refrigeradas. Las de menor rango de temperatura, entre 9,7-10,1°C, fueron la Q6 y la Q7, de la Quesera R y Lácteos M de Guamal. Las dos se encontraban conservadas después de su elaboración figura 31.

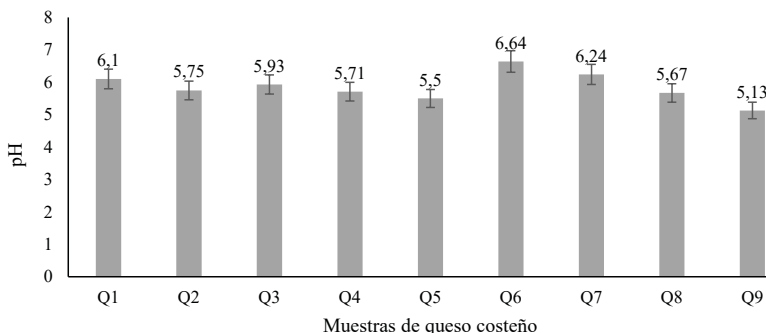
Figura 31. Resultados *in situ* de temperatura de las muestras de queso tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Las muestras Q2, Q3 y Q4 de El Banco fueron recolectadas en la plaza del mercado público del municipio, sin ningún tipo de refrigeración y a la intemperie, mientras que la Q1 se obtuvo en una planta de procesamiento y se encontraba en cadena de frío. En el caso de Santa Ana, las muestras Q8 y Q9, de la Quesera M, estaban almacenadas sin refrigeración, y de hecho esta última registró el valor más alto debido a que llevaba seis días desde su elaboración sin la cadena de frío.

Por otro lado, como se puede ver en la figura 32, la muestra con mayor valor de pH fue la Q6, con 6,64, tomada del lote del día anterior de elaboración y en refrigeración. En contraste, la de menor pH fue la Q9, seguida de la Q5, con 5,13 y 5,5 respectivamente, y corresponden a quesos que no se encontraban en refrigeración y sumaban varios días desde su elaboración.

Figura 32. Resultados *in situ* de pH de las muestras de queso tomadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Es posible que los valores bajos de pH sean signos de alta presencia de bacterias fermentadoras, que en muchos casos pueden ser patógenas y causar problemas intestinales severos. Este fenómeno subraya una vez más la importancia de refrigerar los quesos costeños y evitar así la proliferación de estos microorganismos que son capaces de afectar la calidad del producto (Granizo, 2016).

Por lo demás, el análisis bromatológico puede ampliarse a la luz de la proporción de grasa, humedad, sal, proteína y sólidos totales. La tabla 32 presenta los resultados de estos parámetros para las muestras de queso costeño recolectadas en la subregión sur del Magdalena.

Tabla 32. Composición bromatológica de las muestras de queso costeño recolectadas en municipios El Banco, Guamal y Santa Ana: grasa, humedad, sal, proteína y sólidos totales

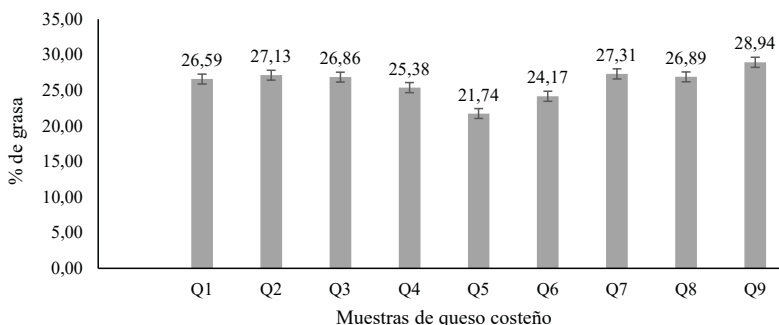
Municipio	Número de muestra	Nombre de la quesera	Grasa (%)	Humedad (%)	Sal (%)	Proteína (%)	Sólidos totales (%)
El Banco	Q1	Quesera M	26,59	45,87	2,76	20,38	54,13
	Q2	Quesera C	27,13	44,83	3,71	18,78	55,17
	Q3	Lácteos del M	26,86	48,04	3,36	16,80	51,96

Procesos logísticos de laboratorio para el análisis de la leche y el queso costeño del Caribe colombiano

Municipio	Número de muestra	Nombre de la quesera	Grasa (%)	Humedad (%)	Sal (%)	Proteína (%)	Sólidos totales (%)
El Banco	Q4	Quesera Z y R	25,38	46,45	2,38	20,89	53,55
Guamal	Q5	Quesera M	21,74	53,32	2,45	17,83	46,68
	Q6	Quesera R	24,17	49,12	2,77	19,06	50,88
	Q7	Lácteos M	27,31	47,93	2,23	18,68	52,07
Santa Ana	Q8	Quesera M1	26,89	46,22	3,31	18,85	53,78
	Q9	Quesera M2	28,94	42,09	2,85	21,72	57,91

Como se observa en la tabla 30 y en la figura 33, la muestra de queso costeño con mayor contenido de grasa porcentual entre todos los municipios de la subregión sur es la Q9, procedente de la Quesera M en Santa Ana, con un 28,94 %. Le sigue la muestra Q8, del mismo productor, con 26,89 %. En contraste, la muestra con el menor valor en esta variable es la Q5, tomada de la Quesera M de Guamal, con 21,74 %.

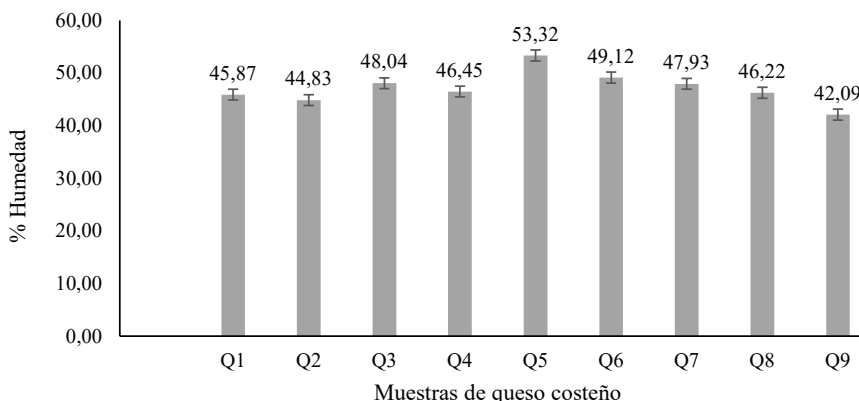
Figura 33. Contenido de grasa de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Como referente en este sentido puede citarse un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia con quesos costeños amasados, donde los rangos de grasa promedio fueron de 20,66 % (Sandoval, 2019). Asimismo, otros autores han reportado que esta proporción varía entre 21-25 % en muestras frescas sin madurar (Ballesta, 2014; Rincón-Peña, 2018).

En el caso del contenido de humedad, se observa que la muestra con mayor valor es la Q5, de la Quesera M de Guamal, con un 53,32 %. Luego se encuentra la Q3, de Lácteos del M en El Banco, con 48,04 %. El menor porcentaje se registró para Q9, de la Quesera M en Santa Ana, con 42,09 % (figura 34).

Figura 34. Contenido de humedad de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



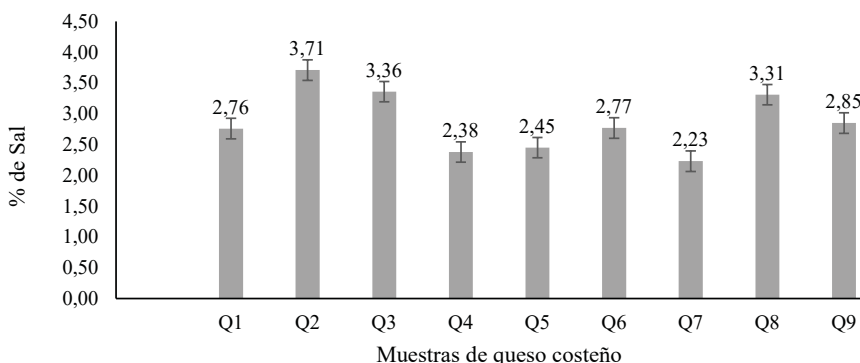
En los valores de referencia de composición fisicoquímica del queso costeño, la Universidad Nacional de Colombia y la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988) consideran un promedio de humedad del 46,42 %. Por lo tanto, las muestras analizadas en la subregión sur del Magdalena, con porcentajes entre 47,61-49,89 %, se encuentran cerca del rango aceptado para este alimento.

Con respecto a esta variable, vale la pena tener en cuenta el uso del prensado, un procedimiento que tiene como propósito regular la

humedad superficial del queso ajustándola a un rango de 6-7 %. Esta intervención induce la formación de una corteza que actúa como barrera protectora, salvaguardando el queso de la exposición ambiental, la colonización microbiana, la infestación por insectos y los daños físicos derivados de la manipulación y el transporte (Ballesta, 2014). El proceso puede tardar entre 4-24 h dependiendo del tipo de producto que se requiera o de acuerdo con una mayor demanda (duro o blando). Los quesos frescos tienen un valor de humedad alta ya que no han sufrido procesos de maduración.

La figura 35, por otro lado, evidencia que la muestra con mayor contenido de sal es la Q2, de la Quesera C de El Banco, con una proporción de 3,71 %. En segundo lugar se encuentra la Q3, de Lácteos del M en El Banco, con 3,36 %. El menor registro corresponde a la Q7, de Lácteos M de Guamal (2,23 %).

Figura 35. Contenido de sal de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Según Ramírez *et al.* (2017), el queso fresco contiene entre 0,6-7,0 % de sal. Esta variable está relacionada con la salmuera, que es el líquido donde se sumerge el queso costeño para que absorba la sal necesaria para generar su sabor y consistencia, luego de lo cual es prensado. Así, el tiempo de esta inmersión, que oscila entre 10-20 min, depende del tipo de producto que se quiera obtener (alto o bajo

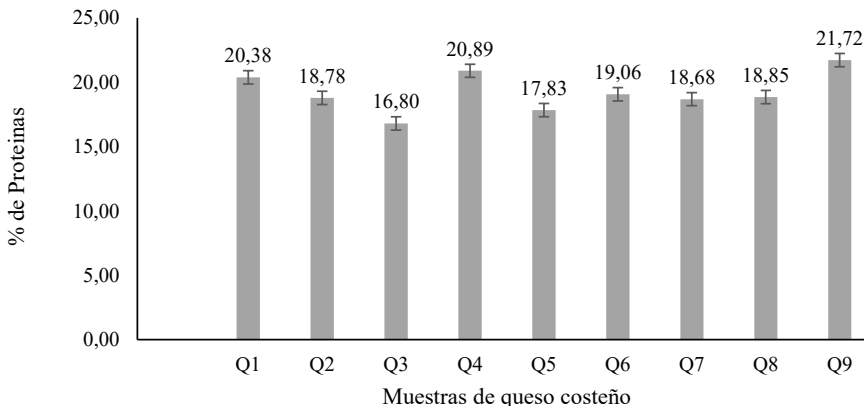
en sal). El queso con gran cantidad de sal es utilizado en la industria de la panadería.

Se debe tener en cuenta que una concentración de sal por debajo de los límites mínimos establecidos puede alterar de forma significativa el queso al permitir el desarrollo de bacterias indeseables o patógenos, así como por la desregulación de la actividad enzimática. Además, Rincón-Peña (2018) reportó variaciones importantes en la textura y en las características reológicas y fisicoquímicas de estos lácteos al reducir su porcentaje de sal. En consecuencia, es crucial mantener esta proporción dentro de un rango óptimo para garantizar la calidad y la seguridad del producto y, en definitiva, la aceptación del consumidor y la sostenibilidad del sector.

El queso costeño, en particular, se caracteriza por ser uno de los productos más salados disponibles comercialmente. Un análisis cuantitativo revela que 30 g de este alimento contienen alrededor de 2,4 g de sodio. Por lo tanto, dado que 2 g de sodio equivalen a 5 g de sal, se deduce que 30 g de este derivado lácteo contienen alrededor de 6 g de sal. Ahora bien, esta concentración tiene implicaciones significativas para la salud pública. Según Rincón-Peña (2018), una porción de este queso puede llevar a un individuo a alcanzar el límite máximo de ingesta diaria de sal recomendado por la OMS. Este hecho subraya la importancia de considerar estrategias para reducir el contenido de dicho elemento en estos productos, con el fin de mitigar los riesgos asociados al consumo excesivo de sodio.

Por su parte, en la figura 36 se puede observar que la muestra de queso costeño de la subregión sur del Magdalena que presentó la mayor cantidad de proteínas fue la Q9, suministrada por la Quesera M en Santa Ana, con valor porcentual de 21,72 %. Luego se encuentran la Q4 y la Q1, con valores muy similares de 20,89 % y 20,38 % respectivamente, procedentes de las queseras Z y R y M en El Banco. En cambio, la menor concentración se detectó en la Q3, de Lácteos del M en El Banco, con 16,80 %.

Figura 36. Contenido de proteína de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

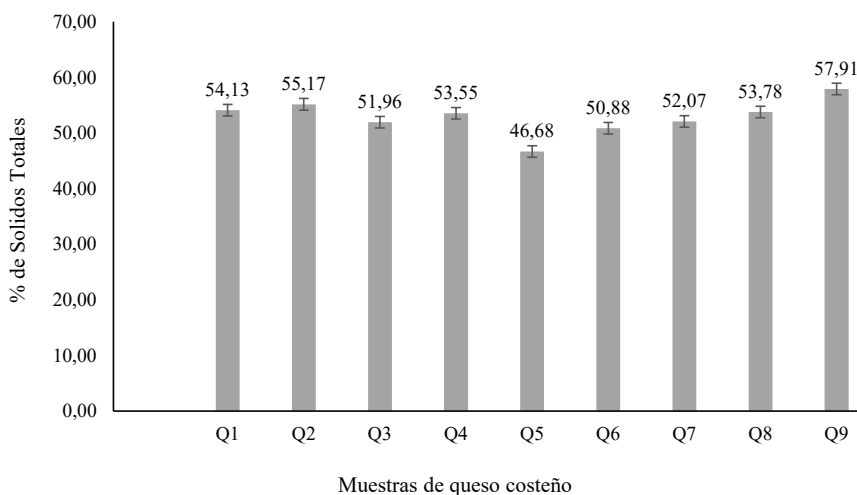


La composición química del queso costeño amasado presenta rangos de valores promedio para la proteína de 19,44 % (Universidad Nacional de Colombia y Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988). Por su parte, en la tabla de análisis proximal de alimentos colombianos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF, 2018), se encontró una proporción media de 17,5 % de proteínas para los quesos fresco, semiduro, semigraso y tipo costeño. Con base en estos referentes, se puede estimar un umbral de 16,8-21,72 % de proteínas, cercano a los registros obtenidos en las muestras del sur del Magdalena.

En cuanto al contenido de sólidos totales, en la figura 37 se evidencia que las muestras con mayor porcentaje fueron la Q9, de la Quesera M en Santa Ana, con 57,91 %, y la Q2, de la Quesera C en El Banco, con 55,17 %. La proporción más baja corresponde a la Q5 de quesera M de Guamal, con un 46,68 %.

Según investigaciones realizadas por Sandoval (2019), el porcentaje de sólidos totales en el queso costeño se mantiene en un rango de 51,23-61,03 %. En el caso de las muestras de la subregión sur del Magdalena, sus valores entre 46,68-57,91 % para este parámetro son muy similares.

Figura 37. Contenido de sólidos totales de las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Clasificación de quesos según su designación.

Los quesos costeños muestreados en la subregión sur del Magdalena se clasificaron con base en los parámetros tenidos en cuenta la norma NTC 750 de 2009 (tabla 10). El parámetro de humedad sin materia grasa (HSMG), cuyos resultados se presentan en la tabla 33, se definió a partir del contenido de humedad y la proporción de grasa con la siguiente ecuación:

$$\text{HSMG} = \frac{\% \text{ humedad en el queso}}{100 - \% \text{ grasa en el queso}} \cdot 100$$

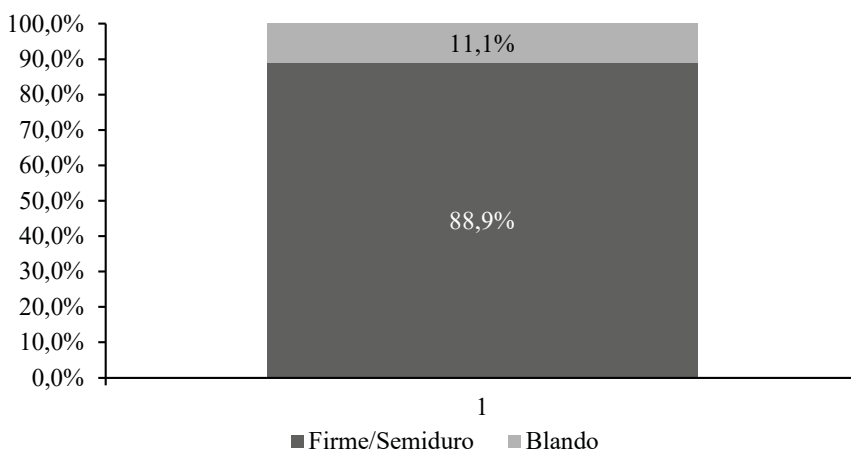
A partir de estos hallazgos, se determinó que ocho de las nueve muestras, es decir, el 88,9 %, se pueden categorizar según su HSMG como quesos firmes/semiduros. Dentro de esta clase de producto, la proporción más alta de este parámetro corresponde al Q7, de Lácteos M en Guamal, y la menor, a Q9 de la Quesera M en Santa Ana.

Por lo demás, la muestra Q5 de la Quesera M, con un porcentaje de 68,13 %, corresponde a un queso blando (figura 38).

Tabla 33. Designación de quesos costeños de la subregión sur del Magdalena según su contenido de humedad sin materia grasa

Municipio	Número de muestra	Nombre de la empresa	HSMG (% m/m)	Designación según su consistencia de HSMG
El Banco	Q1	Quesera M	62,48	Firme/semiduro
	Q2	Quesera C	61,52	Firme/semiduro
	Q3	Quesera Lácteos del M	65,68	Firme/semiduro
	Q4	Quesera Z y R	62,25	Firme/semiduro
Guamal	Q5	Quesera M	68,13	Blando
	Q6	Quesera R	64,78	Firme/semiduro
	Q7	Lácteos M	65,94	Firme/semiduro
Santa Ana	Q8	Quesera M1	63,22	Firme/semiduro
	Q9	Quesera M2	59,23	Firme/semiduro

Figura 38. Distribución porcentual del contenido de humedad sin materia grasa en las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Como referentes en este sentido, cabe mencionar los estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia y la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988) en el *Manual de elaboración de queso costeño picado*, donde se obtuvo un promedio de HSMG de 65,52 %. Asimismo, Ballesta (2014) registró una proporción entre 50,62-55,25 % de HSMG, que clasifica al queso estudiado como firme/semiduro.

Clasificación del queso costeño según su contenido de materia grasa en extracto seco.

La tabla 34 indica las variables utilizadas para clasificar las muestras tomadas en la subregión sur del Magdalena según su cantidad de grasa en extracto seco (GES). Este parámetro se calculó a partir del porcentaje de grasa y el porcentaje de humedad del queso con la siguiente ecuación:

$$GES = \frac{\% \text{ grasa en el queso}}{100 - \% \text{ humedad del queso}} \cdot 100$$

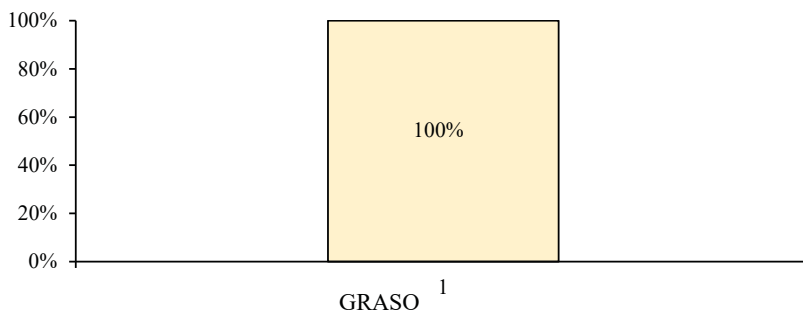
Tabla 34. Designación de quesos costeños de la subregión sur del Magdalena según contenido de materia grasa en extracto seco

Municipio	Número de muestra	Nombre de la empresa	GES (% m/m)	Designación según GES
El Banco	Q1	Quesera M	49,10	Graso
	Q2	Quesera C	49,20	Graso
	Q3	Quesera Lácteos del M	51,70	Graso
	Q4	Quesera Z y R	47,40	Graso
Guamal	Q5	Quesera M	46,60	Graso
	Q6	Quesera R	47,50	Graso
	Q7	Lácteos M	52,40	Graso
Santa Ana	Q8	Quesera M1	50,00	Graso
	Q9	Quesera M2	50,00	Graso

De acuerdo con los resultados, todas las muestras analizadas se categorizaron como queso costeño graso (figura 39). Al respecto, cabe anotar que este producto se realiza con leche cruda, sin ningún proceso de pasteurización ni de descremado, lo cual lleva todo el contenido de la grasa de la leche.

También es importante resaltar que, de acuerdo con los datos de la tabla 34, la muestra con mayor porcentaje de GES es la Q7, de Lácteos M de Guamal, con un valor de 52,40 %. Mientras tanto, la proporción más baja, de 46,6 %, se dio en la muestra Q5, de la Quesera M de Guamal.

Figura 39. Distribución porcentual de materia grasa en extracto seco en las muestras de queso costeño de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



5.1.4. Resultados del análisis microbiológico de la leche

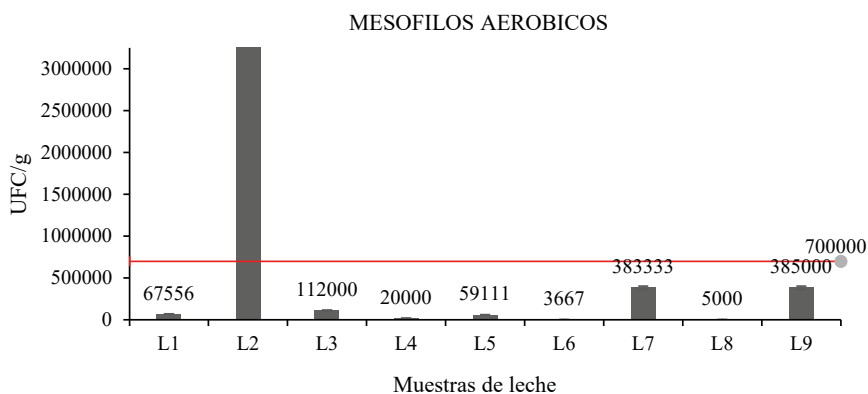
En la tabla 35 se relacionan los resultados de los análisis microbiológicos realizados a las muestras de leche cruda tomadas en la subregión sur del Magdalena. Estos valores reflejan, en particular, la cantidad de mesófilos aeróbicos detectados en estos productos.

Tabla 35. Resultados microbiológicos de la leche cruda en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

		Leche								
Parámetros	NTC 399	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Mesófilos, UFC/mL	700.000	67.556	18.000.000	112.000	20.000	59.111	3.667	383.333	5.000	385.000

En la figura 40, que ilustra estos hallazgos, se puede ver que la muestra L2 sobrepasa el límite máximo de recuento de mesófilos aeróbicos para leche cruda establecido por la NTC 399 de 2002, que es de 700.000 UFC/mL. Las restantes, en cambio, se ubicaron por debajo de dicho valor de referencia. En particular, L6 presentó el menor registro de todos, con 3.667 UFC/mL, seguida de L4 con 20.000 UFC/mL.

Figura 40. Resultados de mesófilos aeróbicos de las muestras de leche de los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Cuando se realiza el conteo de colonias de mesófilos aeróbicos en leche se quiere tener una idea de la flora bacteriana total sin especificar o identificar el tipo de bacterias, lo cual da un panorama preliminar de la calidad sanitaria del producto desde su obtención y a lo largo de todas las etapas por las que es sometido. Para Pascual y Calderón (2007), un recuento bajo no puede llevar a descartar del todo que el alimento contiene flora potencialmente patógena. De igual modo, un número alto no implica de forma estricta que este lácteo presenta bacterias patógenas, aunque sí es cierto que la probabilidad de encontrarlas aumenta a medida que la cantidad de colonias sea mayor.

Al revisar los valores obtenidos de las muestras de leche recolectadas, se observa que la L6, del municipio de Guamal, presenta el menor recuento. Los bajos registros en este parámetro pueden deberse a la cercanía de los proveedores del producto con el centro de acopio y a las condiciones en las que se transporta y se conserva el alimento. Tal es el caso de la muestra L1, de El Banco, que se tomó de tanques fríos de almacenamiento de propiedad del productor del queso costeño, los cuales contaban con diferentes mecanismos para evitar la manipulación directa del lácteo.

El caso de la muestra L2, que es la única que no cumplió con lo establecido en la NTC 399 de 2002, podría relacionarse con deficiencias durante la obtención de la leche tales como la omisión del protocolo de lavado de manos y la limpieza inadecuada de la ubre y de los elementos necesarios para el ordeño. Lo mismo podría decirse sobre el transporte del producto, que no se hace en tanques de aluminio o acero inoxidable, y el almacenamiento en recipientes destinados originalmente al agua. De igual forma, se observó un manejo inapropiado en el momento de recibir esta materia prima en la planta de producción. Todos estos factores podrían haber incidido negativamente en la calidad de este espécimen.

Es importante puntualizar que, aunque la probabilidad de contaminación del queso a través de la leche disminuye al presentar una baja cantidad de colonias de mesófilos aeróbicos, sería importante realizar un recuento de flora específica en la leche. Concretamente, se recomienda evaluar la presencia de las bacterias *E. coli* y *S. aureus* en el queso, de manera que se pueda identificar de forma directa la incidencia de la leche cruda en la inocuidad del producto.

5.1.5. Resultados del análisis microbiológico del queso costeño

La tabla 36 presenta los resultados del análisis microbiológico, ahora para las muestras de queso costeño facilitadas por los actores de la cadena de suministro de este producto en la subregión sur del Magdalena.

Según los valores de coliformes totales, representados en la figura 41 en escala logarítmica, ninguna de las muestras cumplió los límites establecidos en la NTC 750 de 2009, de máximo 5.000 UFC/g para un producto de calidad aceptable o hasta 1.000 UFC/g para uno de buena calidad. El registro más alto, de 7.133.333 UFC/g, corresponde a la Q7, de Lácteos M, y luego se observan cantidades mucho menores en las muestras restantes. Así, la segunda con mayor valor fue la Q6, proveniente de Quesera R de Guamal,

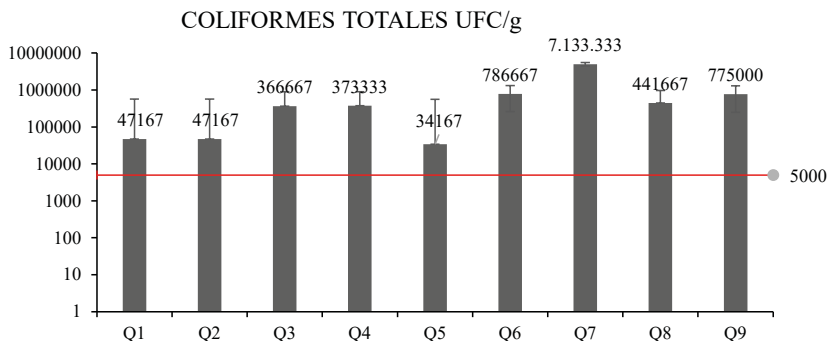
con 786.667 UFC/g. Los resultados más bajos fueron los de Q1 y Q2, con 47.167 UFC/g.

Tabla 36. Resultados microbiológicos de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

Queso costeño											
Parámetros	NTC 750		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
	m	M									
C. totales (UFC/g)	1.000	5.000	47.167	47.167	366.667	373.333	34.167	786.667	7.133.333	441.667	775.000
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<10		48.833	27.833	45.667	47.667	15.000	26.333	5.300.000	10.667	410.000
Mohos y levaduras (UFC/g)	100	500	889	15.333	29.667	24.333	86.667	149.333	138.000	635.000	973.333
<i>S. aureus</i> (UFC/g)	10	100	190.667	1.410.000	1.493.333	1.546.667	1.596.667	1.226.667	1.533.333	830.000	1.433.333
<i>Salmonella</i> /25 g	Ausente		Presente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Presente	Presente
<i>Listeria</i>	Ausente		Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente

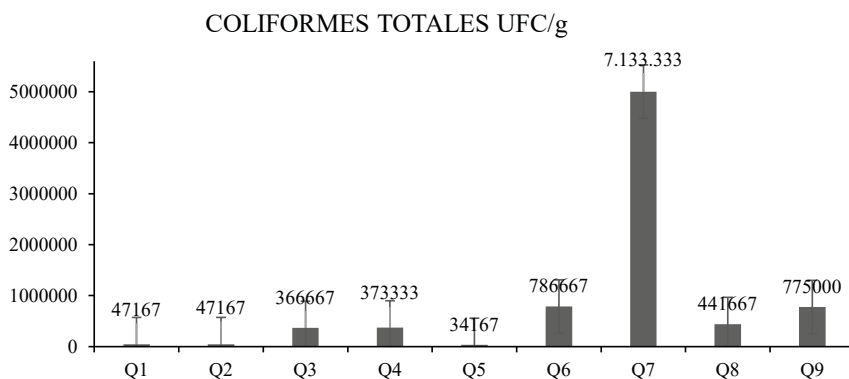
m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.
M: indice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable.

Figura 41. Recuento en escala logarítmica de coliformes totales en las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



La figura 42, por otro lado, presenta los resultados del análisis de coliformes totales para las muestras de queso recolectadas en la subregión sur del Magdalena, expresados en unidades formadoras de colonias por gramo.

Figura 42. Recuento en UFC/g de coliformes totales en las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



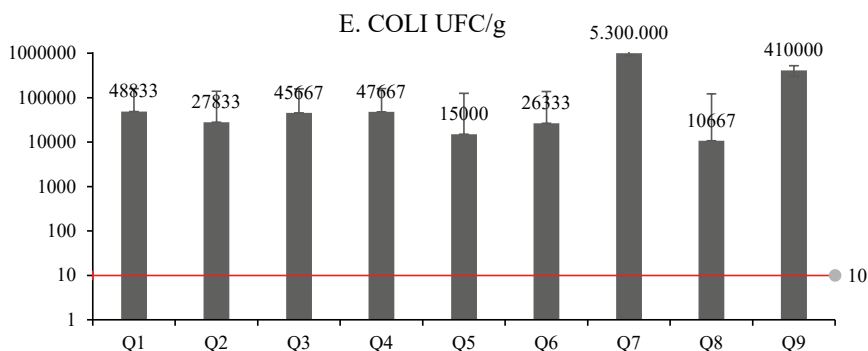
Los coliformes totales representan un conjunto diverso de microorganismos que abarca varios géneros pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*. Este grupo microbiano se caracteriza por su presencia como habitantes comunes del tracto intestinal de animales homeotermos, incluyendo a los seres humanos, pero de igual forma tienen una amplia distribución en entornos acuáticos y terrestres (Soler, 2006). Estos microorganismos, por lo tanto, no definen necesariamente una contaminación fecal del alimento analizado, sino que dan una visión general de la posibilidad de la contaminación si se encuentran en recuentos elevados.

En particular, la figura 43 presenta, en escala logarítmica en base diez, los recuentos de *E. coli* en las muestras de queso recolectadas en la subregión sur del Magdalena. En este caso se evidencia que la mayor cantidad de colonias por gramo es la Q7, con 1.000.000

UFC/g, seguida de la Q9, proveniente de la Quesera M en Santa Ana, con 410.000 UFC/g.

En términos generales, se observa que todos los productos registraron valores por encima del máximo de 10 UFC/g requerido por la NTC 750 de 2009, señalado con una línea en la figura 40. Entre las muestras con menor cantidad de colonias con respecto a los demás especímenes se encuentran la Q8, de la Quesera M2 en Santa Ana, con un valor de 10.667 UFC/g, y la Q5, proveniente de la Quesera SR de Guamal, con 15.000 UFC/g.

Figura 43. Recuento en escala logarítmica de *E. Coli* de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

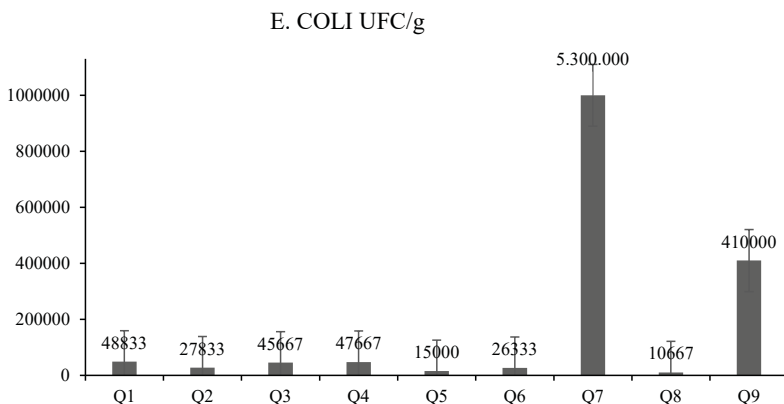


Entre los coliformes totales se incluyen los conocidos como fecales o termotolerantes porque soportan temperaturas de hasta de 45 °C. En este grupo se encuentran las especies *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* y *Enterobacter aerogenes*, cuya presencia se asocia principalmente con la materia vegetal, aunque también se pueden hallar en el entorno intestinal (Soler, 2006). Sin embargo, *E. coli* sí se distingue por su origen específicamente fecal, por lo que es un indicador robusto de contaminación. En consecuencia, la detección de los microorganismos de esta clase en el análisis de alimentos se suele centrar en identificar y cuantificar *E. coli* (Soler, 2006).

Entre los diferentes tipos de *E. coli* patógenos se encuentran el enteropatógeno, el enterotoxigénico, el enteroinvasivo y el productor de verotoxina. Estos organismos pueden causar enfermedades como colitis hemorrágica, ulceraciones, inflamación intestinal, gastroenteritis en infantes, entre otras relacionadas con el sistema digestivo (Soler, 2006).

La figura 44 ilustra los valores mayores tanto en coliformes totales como en *E. coli* detectados durante la investigación en la subregión sur del Magdalena. Los resultados confirman contaminación fecal en la producción del alimento del que provino la muestra Q7, de la Quesera M en Guamal. A pesar de que este productor cuenta con un espacio destinado para la elaboración del queso y un refrigerador donde conserva el producto, este hallazgo se puede explicar por la falta de otras características necesarias para garantizar la calidad en la producción. Durante la visita se pudo inferir que en el establecimiento no contaban con conocimientos en buenas prácticas de manipulación de alimentos y no disponían de los elementos adecuados, lo cual sugiere que la mayor contaminación se presenta en el proceso de elaboración del alimento.

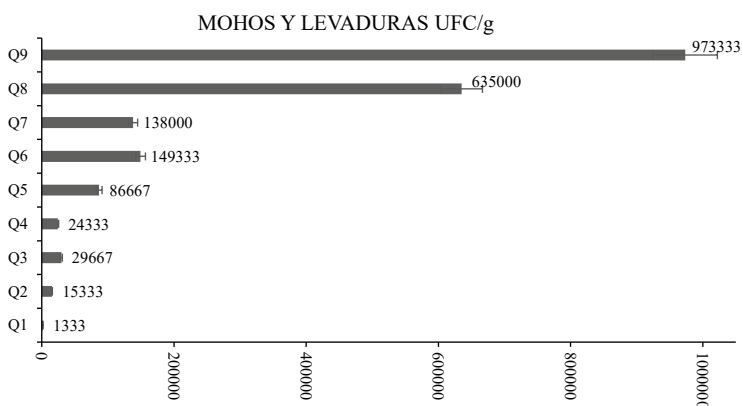
Figura 44. Recuento en UFC/g de *E. Coli* de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Las muestras Q8 y Q9, provenientes del mismo productor en el municipio de Santa Ana, reflejan la importancia de la buena conservación del producto. La primera se tomó de un lote que había sido producido el día inmediatamente anterior, mientras que la segunda tenía un tiempo aproximado de conservación de seis días en bolsas dentro de unas canastas a temperatura ambiente. Esta última presentó, con una diferencia notable, un valor más alto de coliformes totales y *E. coli* que incluso la situó como una de las de mayor recuento de colonias; la otra, por su parte, fue la de menor recuento. En este sentido, se resalta que una contaminación considerable se presenta por el método de conservación del alimento.

Seguidamente, en la figura 45 se muestran los resultados del recuento de mohos y levaduras. En este caso, todas las muestras analizadas sobrepasan el límite máximo de 500 UFC/g establecido por la NTC 750 de 2009 para una calidad aceptable en este parámetro. El menor valor se registró para la Q1, de Lácteos M, con 1.333 UFC/g. En el otro extremo, los recuentos más altos se observan en los productos Q9 (973.333 UFC/g) y Q8 (635.000 UFC/g), ambos provenientes, como se indicó, del municipio de Santa Ana.

Figura 45. Recuento en UFC/g de mohos y levaduras de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Según Luna (2020), los mohos y las levaduras tienen la capacidad de afectar alimentos de origen tanto vegetal como animal que son almacenados a temperatura ambiente, con pH bajos y contenido de humedad limitada que favorecen el crecimiento y el desarrollo de estos microorganismos. Además de las alteraciones que este grupo provoca en las propiedades físicas, químicas y organolépticas del producto al consumir algunos de sus componentes, su presencia representa el peligro potencial de producir metabolitos como micotoxinas.

Los mohos y las levaduras suelen crecer a temperatura ambiente en la superficie del alimento, como ocurre en quesos y carnes, o por fermentación de azúcares. Dadas estas condiciones de desarrollo, resulta coherente que la muestra Q9 presente el mayor recuento de colonias tras conservarse por seis días en bolsas plásticas sin refrigeración, favoreciendo la aparición de estos microorganismos. Por otro lado, el caso de la muestra Q1, que presenta la menor cantidad de mohos y levaduras, se puede relacionar directamente con el deterioro del queso costeño por una inadecuada conservación.

En este punto es preciso recordar que tan pronto se elabora el queso se debe comenzar de manera inmediata su cadena de frío con el fin de impedir el desarrollo de mohos y levaduras. Sin embargo, para cumplir con lo establecido en la NTC 750 de 2009 también es necesario inspeccionar el lugar de fabricación y las etapas del proceso, considerando que estos microorganismos se encuentran asimismo en el suelo, las superficies vegetales, los animales, el aire y el agua, posibilitando la fácil contaminación del alimento en cualquier momento de su elaboración.

Por otro lado, las figuras 46 y 47, que muestran el recuento de unidades formadoras de colonias de *S. aureus*, evidencian de manera clara que todas las muestras se encuentran por encima de las 100.000 UFC/g, incumpliendo los límites de 100 UFC/g para un producto de calidad aceptable y 10 UFC/g para uno de buena calidad establecidos por la NTC 750 de 2009. La Q5, en particular, presenta el mayor valor, con 1.596.667 UFC/g, mientras que la del registro más bajo es la Q1, con 190.667 UFC/g.

Figura 46. Recuento en escala logarítmica de *S. aureus* de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana

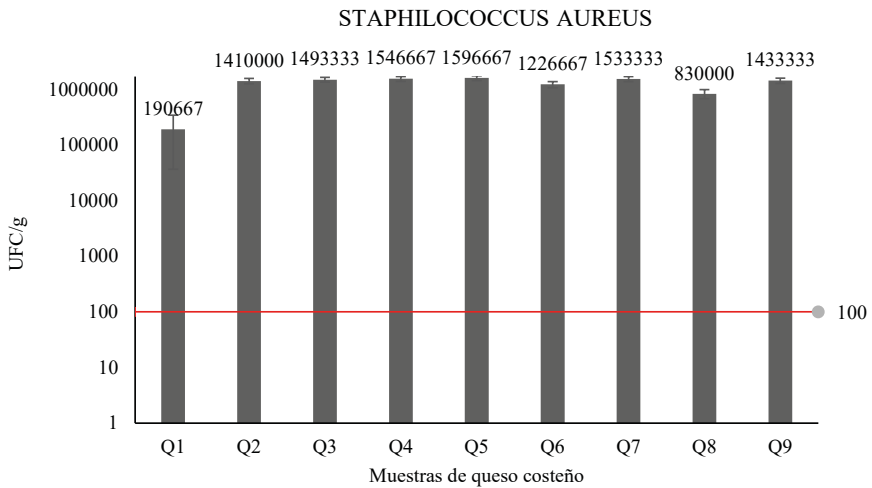
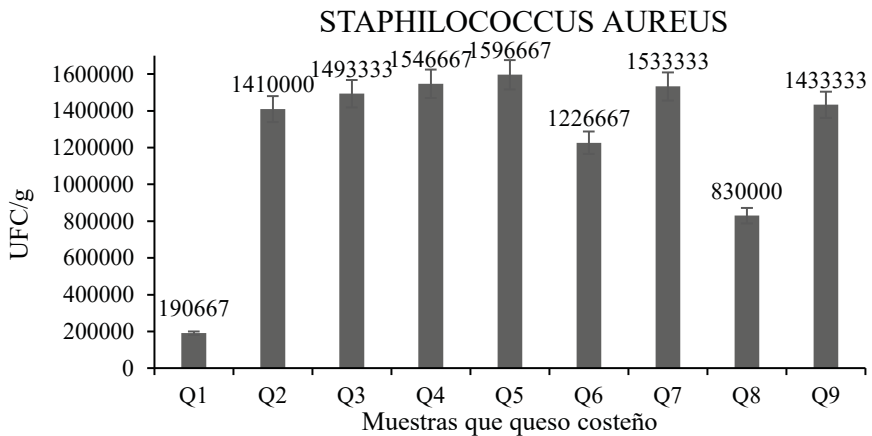


Figura 47. Recuento en UFC/g de *S. aureus* de las muestras de queso costeño recolectadas en los municipios El Banco, Guamal y Santa Ana



Tomando en cuenta la descripción del INS (2011a, 2011b), el género *Staphylococcus*, clasificado dentro del *phylum* Firmicutes, clase Bacilli, orden Bacillales y familia Micrococcaceae, comprende aproximadamente 38 especies, de las cuales 18 han sido identificadas como relevantes en el contexto alimentario. Entre estas especies de interés, *S. aureus* es la más significativa ya que, al encontrarse en la mucosa humana, puede considerarse un indicador principal de manipulación inadecuada por parte de las personas involucradas en la elaboración de un producto.

S. aureus presenta una morfología microscópica característica de cocos grampositivos agrupados en racimos, con un tamaño que oscila entre 0,5-1,5 μm . Se trata de una bacteria no esporulada (asporógena) e inmóvil, de metabolismo organótrofo y catalasa positiva, con un contenido de guanina más citosina (G+C) en su ADN que varía entre el 30-40 %. Generalmente, las cepas productoras de coagulasa también son termonucleasa positivas. Esta especie, de naturaleza ubicua y patógena, es capaz de causar intoxicaciones alimentarias.

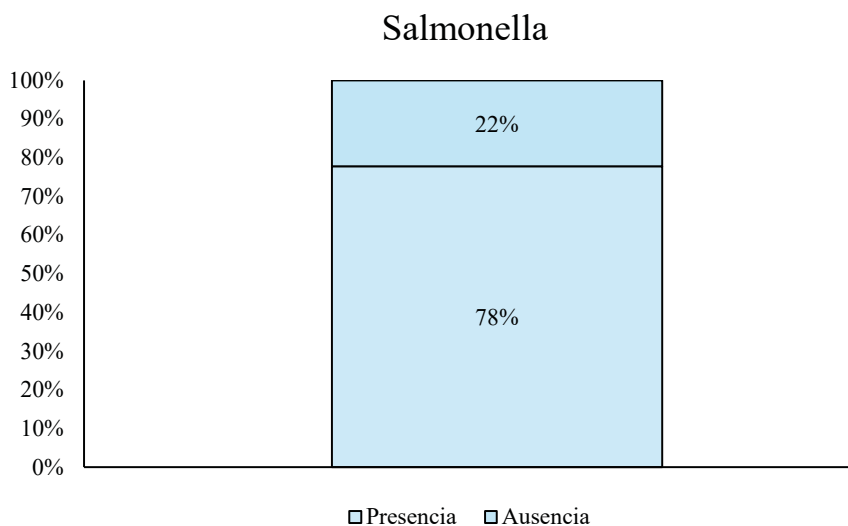
El elevado valor de este parámetro registrado en la muestra Q5, proveniente de la Quesera SR, indica que se debe capacitar al personal de este establecimiento que interviene en el proceso de producción del queso costeño, donde se evidenció, por ejemplo, que no se utilizan la vestimenta adecuada ni elementos adicionales que faciliten la manipulación correcta del alimento. Los especímenes Q8 y Q9, del mismo productor, también exponen la incidencia de estas malas prácticas en la calidad del producto durante la etapa conservación. En este sentido, cabe tener en cuenta que, si bien la contaminación se puede producir en su mayor parte en el proceso de producción, las condiciones de conservación favorecen el crecimiento de *S. aureus* a lo largo del tiempo.

Con respecto a la muestra Q1 conviene advertir que, a pesar de los bajos niveles de *S. aureus*, se debe reforzar continuamente la capacitación del personal en buenas prácticas de manufactura y en esterilización de la zona de producción. De igual forma, es necesario revisar los proveedores de materia prima pues una cantidad

considerable de estos organismos puede estar ya presente en la leche y aumentar su desarrollo durante la producción.

Entretanto, la ausencia de *Salmonella* solo se pudo verificar en las muestras Q2, de la Quesera C, y Q6, de la Quesera R, lo que representa el 22 % de los especímenes recolectados (figura 48). En estos dos casos se cumple lo establecido en la NTC 750 de 2009, que especifica que un alimento no debe presentar ningún comensal de esta familia de bacterias.

Figura 48. Distribución porcentual de los resultados de presencia de *Salmonella* en las muestras de queso costeño de la subregión sur del Magdalena



La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (2023), en su ficha técnica, explica que el género *Salmonella* pertenece a la familia Enterobacteriaceae y está compuesta por bacilos gramnegativos, generalmente móviles por flagelos peritricos (González *et al.*, 2014). Estas bacterias se caracterizan por ser anaerobias facultativas y no esporuladas. Con excepción de *Salmonella enterica* (subespecies *arizonae* y *diarizonae*), no fermentan

lactosa, pero sí glucosa, con producción de gas (salvo en *Salmonella Typhi*). Además, no producen indol, no degradan urea y son capaces de descarboxilar lisina y ornitina.

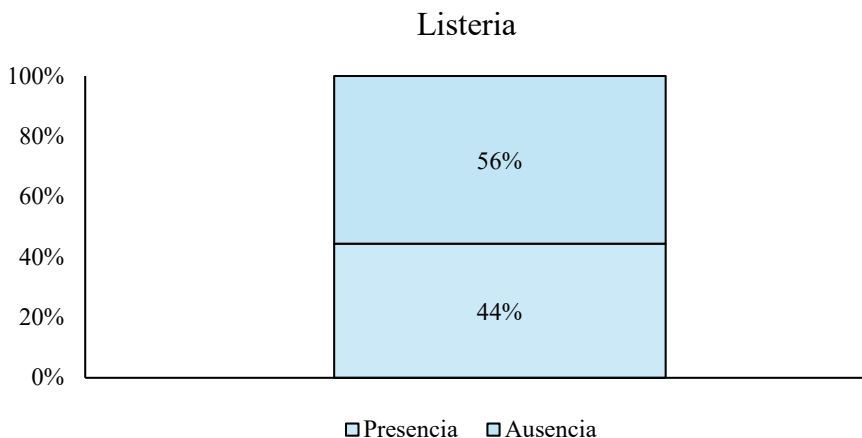
La salmonelosis es la enfermedad más comúnmente asociada al género *Salmonella*. Consiste en una zoonosis infecciosa transmitida a través de una amplia variedad de alimentos, con una fuerte asociación a carnes y subproductos avícolas, incluyendo huevos. Aunque la mortalidad es relativamente baja, excepto en poblaciones vulnerables como niños pequeños, ancianos e individuos inmunocomprometidos, la morbilidad y los costos asociados a esta enfermedad pueden ser significativos.

La *Salmonella* se transmite sobre todo por la ruta fecal-oral, pues se encuentra principalmente en el tracto digestivo de animales, de donde es eliminada con los excrementos. Estos organismos pueden sobrevivir por mucho tiempo y evidencian contaminación fecal directa, por lo que su presencia en alimentos es inadmisibles. Muchas veces, puede encontrarse en un producto debido a las malas prácticas durante el ordeño, en este caso de los lácteos, o en la manufactura, así como por bajos protocolos de limpieza en el punto de almacenamiento.

Finalmente, la figura 49 refleja la distribución porcentual de los resultados del análisis de *Listeria* para las muestras de queso costeño de la subregión en estudio. En este caso se confirmó la ausencia de este microorganismo, que puede llegar a ser muy nocivo para la salud, en Q2, Q4, Q5, Q6 y Q7, cumpliendo así con lo requerido en la normativa colombiana. Sin embargo, en tres muestras se evidenció su presencia.

L. monocytogenes es un bacilo grampositivo, anaerobio facultativo, con capacidad de crecimiento intracelular, no esporulado, catalasa positiva y oxidasa negativa. Su desarrollo es eficiente en agar sangre, donde produce hemólisis incompleta. Esta bacteria presenta de uno a seis flagelos y exhibe una motilidad rotatoria característica, descrita como «movimientos tambaleantes», a 25 °C.

Figura 49. Distribución porcentual de los resultados de la presencia de *Listeria* de las muestras de queso costeño de la subregión sur del Magdalena



El crecimiento óptimo de *L. monocytogenes* se observa en el rango de 30-37 °C, pero destaca por su capacidad de proliferación a temperaturas bajas, entre 4-10 °C, y por su resistencia a ambientes con pH ácido y alta concentración de sal. Estas características distintivas, en comparación con otros microorganismos, confieren a *L. monocytogenes* un papel significativo como patógeno en la industria alimentaria (De la Calle, 2019).

La enfermedad producida por esta bacteria se conoce como listeriosis, y su gravedad puede variar dependiendo de la cepa, la cantidad consumida y las condiciones del huésped. De hecho, la patología puede llegar a ser mortal en mujeres embarazadas, niños menores de 5 años y personas con déficit en su sistema inmunológico, por lo que no se admite su presencia en los alimentos listos para el consumo por ningún motivo.

L. monocytogenes exhibe una amplia distribución ambiental, de forma que se encuentra tanto en el suelo y en el agua como en el tracto gastrointestinal de diversas especies animales. Esta ubicuidad

facilita la contaminación de productos vegetales, ya sea por contacto directo con el suelo o mediante la utilización de estiércol como fertilizante. Los alimentos listos para el consumo representan un vehículo de transmisión particularmente relevante ya que pueden contaminarse durante las etapas de procesamiento. Además, la capacidad de esta especie para proliferar a bajas temperaturas permite su multiplicación hasta alcanzar niveles peligrosos durante la distribución y el almacenamiento de estos productos.

Anotaciones finales

Este libro representa un primer esfuerzo por evidenciar la importancia de los procesos logísticos de laboratorio orientados a la mejora de la calidad y la inocuidad alimentaria. Para dicho fin, se propone llevar a cabo análisis bromatológicos y microbiológicos dentro de la cadena de suministro de los productos alimenticios, ya sea de carácter industrial o, como en este caso de la leche y el queso costeño, artesanal.

Integrar las evaluaciones propuestas en esta publicación es clave de cara a la mejora continua y a la cultura de calidad, así como para la visión de productividad y competitividad que requiere el sector agroalimentario en general. De igual forma, la implementación de procesos logísticos de laboratorio resulta indispensable tanto para sostenerse en el mercado local como para acceder a mercados internacionales desarrollados, los cuales exigen respaldos de trazabilidad de calidad y garantías de seguridad e inocuidad para el consumo de productos alimenticios provenientes de países en vías de desarrollo.

Esta primera aproximación a la logística de la cadena de suministro de queso costeño denota la gran necesidad de recursos humanos, insumos, infraestructura y financiación para aplicar controles que garanticen la calidad de los productos agroalimentarios de forma continua y periódica (trimestral o semestral). Por lo tanto, se requiere de manera urgente el trabajo conjunto, mancomunado o asociativo del Estado, la academia, las comunidades y el sector productivo para que los productores de este alimento puedan llevar a cabo estos procesos a un costo razonable. Este esfuerzo contribuiría a alcanzar el reto de la sostenibilidad productiva a la vez que se mejoran los ingresos de todos los actores y se proyecta el desarrollo futuro de este segmento.

Además, para mejorar la calidad microbiológica del queso costeño, es preciso capacitar a todos los integrantes de la cadena productiva en buenas prácticas de higiene y manipulación de alimentos, teniendo en cuenta que la contaminación del producto se presenta desde la obtención de la leche hasta la misma elaboración del queso. También es evidente que el transporte cumple una función fundamental en la inocuidad, no solo de la leche como materia prima, sino también del queso que reciben los comercializadores de parte de los productores. Este eslabón puede incluso llegar a ser un foco de contaminación del producto terminado, por lo que requiere la implementación de estándares de calidad. A su vez, es importante que los controles en esta materia abarquen los mismos procesos de análisis en el laboratorio, así como el transporte externo de las muestras al laboratorio.

En el caso de las fincas retiradas donde se obtiene la leche cruda para la elaboración del queso costeño, se recomienda fomentar la asociatividad entre los productores para encontrar alternativas de conservación del producto hasta entrar al proceso de producción. Se pueden contemplar estrategias como el transporte refrigerado o la disposición de estaciones de acopio con tanques fríos para evitar la proliferación de colonias bacterianas en el trayecto desde la zona de ordeño hasta la de producción quesera.

En suma, los cambios que se propone hacer en la cadena de suministro del queso costeño a la luz de esta investigación incluyen capacitaciones e inversiones en infraestructura y equipamiento que mejoren la calidad y la trazabilidad del producto y de los procesos para garantizar la salubridad y la inocuidad de los alimentos. Ahora bien, para priorizar medidas y recursos de cara a la comercialización, convendría basarse en la normativa nacional e internacional.

Finalmente, es importante el acompañamiento real de los entes públicos municipales y departamentales. Casos como los de Antioquia, Boyacá o Caquetá, donde se encuentran otros quesos con denominación de origen, demuestran de qué forma las inversiones y las capacitaciones facilitadas por la administración territorial

pueden potenciar la calidad y el posicionamiento de un producto. Este apoyo es urgente para el sector productivo del queso costeño, con miras a lograr el reconocimiento que merece este alimento elaborado por artesanos del Caribe y que hace parte de la cultura de la región y de la dieta de muchos colombianos.

Referencias bibliográficas

- Abete, L. (2025). *Estrategias no invasivas y «on-site» basadas en la espectroscopía infrarroja para el control de fraudes en leche* [Trabajo fin de máster, Universidad de Oviedo]. https://digi-buo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/79943/TFM_LauraAbeteP%c3%a9rez.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Acevedo, D., Jaimes, J. y Espitia, C. (2015). *Efecto de la adición de lactosuero al queso costeño amasado*. *Información Tecnológica*, 26(2). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000200003
- Acuña-Rodríguez, O. Y., Acuña-Rodríguez, B. O., Cobo-Mejía, E. A., Pinzón-Camargo, L. C. y Albesinano-Fernández, L. E. (2022). Producción láctea y quesera, municipio de Paipa en el contexto de la «seguridad alimentaria». *Sociedad y Economía*, (47), e10211382.
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica. (2023). *Salmonelosis: Enfermedades transmitidas por alimentos* (Ficha técnica n.º 9). Ministerio de Salud Argentina: <https://www.argentina.gob.ar/anmat/regulados/alimentos/renapra/banco-de-recursos/fichas-tecnicas-eta>
- Arias, R. A., Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Ballesta, I. (2014). *Evaluación de la calidad del queso costeño elaborado con diferentes tipos de cuajo (animal y microbiano) y la adición o no de cultivos lácticos (Lactococcus lactis subps. lactis y Lactococcus lactis subps. cremoris)* [Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75111>

- Benavides, J. C., Avellaneda, Y., Buitrago, C., Castro, E., Castillo, J., Rendón, C., Romero, J. F., Torres, D. R., Vargas, J. J., Zúñiga, A., Benavides, G., Carrillo, S., Díaz, J., Gómez, C., Hernández, D., Porras, A. y Vela, J. F. (2019). *Guías de mejores prácticas en sistemas de producción de leche con base en pasturas para el trópico alto colombiano*. Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35641>
- Broyaka, A. (2021). Improving The Quality And Safety Management System Of Agri-Food Products In The Context Of European Integration Processes. *Economy, Finances, Management: Topical Issues of Science and Practice*, (3). <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-3-6>
- Brun, M. (2014). Inseguridad alimentaria y nutricional: Un desafío importante para el mundo árabe. *Afkar/Ideas*, (44), 50-52. <https://www.iemed.org/publication/inseguridad-alimentaria-y-nutricional-un-desafio-importante-para-el-mundo-arabe/>
- Burke, N., Zacharski, K., Southern, M., Hogan, P., Ryan, M. y Adley, C. (2018). The Dairy Industry: Process, Monitoring, Standards, and Quality. En A. Valero y R. M. García-Gimeno (Eds.), *Descriptive Food Science* (pp. 3-25). <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.80398>
- Caldeira, L., Valente, G., Barbosa, C., Braga, D., Monção, F., Fonseca, L., Souza, M. R. y Gloria, M. (2024). Profile of lactic acid bacteria (MALDI-TOF-MS) and physico-chemical and microbiological characteristics of the raw milk and fresh artisanal cheese from Serra Geral, Minas Gerais, Brazil. *Food Research International*, 176, 113831. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113831>
- Campos-Salas, C. M., Jiménez-Hernández, J. L., Gómez Leyva, J. y Cruz-Cansino, N. (2019). Evaluación de parámetros de calidad de diferentes marcas comerciales de leche y yogurt, y cambios durante el almacenamiento. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, 7(14), 32-38. <https://doi.org/10.29057/icsa.v7i14.4442>

- Carrillo, O. I. (2024). *Estudio del proceso de elaboración del «queso de hoja» de un municipio del departamento de Boyacá en el marco de la inocuidad, la seguridad y la conservación de las tradiciones alimentarias* [Tesis de maestría en Seguridad Alimentaria y Nutricional, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87280>
- Casas, J., Repullo, J. y Donado, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención Primaria*, 31(8), 527-538. [https://doi.org/10.1016/S0212-6567\(03\)70728-8](https://doi.org/10.1016/S0212-6567(03)70728-8)
- Castellanos-Rozo, J., Pérez, R., Grande, M. J., Lucas, R. y Gálvez, A. (2020). Analysis of the Bacterial Diversity of Paipa Cheese (a Traditional Raw Cow's Milk Cheese from Colombia) by High-Throughput Sequencing. *Microorganisms*, 8(2), 218. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020218>
- Causado, E. y Reátiga, I. (2013). Cadena logística de subproductos residuales en la industria de tajada de plátano para exportación. *Dimensión Empresarial*, 11(2), 9-16. <https://doi.org/10.15665/rde.v11i2.77>
- Causado, E., Díaz, F. y Sánchez, D. (2018). Reubicación de instalaciones productivas mediante método matemático de recálculo de coordenadas – MMRC. *Clío América*, 12(23), 73-86. <https://doi.org/10.21676/23897848.2619>
- Causado, E., Fonseca, E. y Galindo, A. (2023). *Gestión empresarial y asociatividad productiva para la cadena de suministros del queso costeño en el Caribe colombiano*. Uniguajira. <https://repositoriinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/1649>
- Causado, E., Galindo, A. y Peñaloza, A. (2023). *Buenas prácticas de ordeño – BPO y buenas prácticas de manufactura - BPM para la elaboración y manejo del queso costeño*. Cadena de suministros del queso costeño. Uniguajira. <https://repositoriinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/1650>
- Causado, E., Romero, I. y Galindo, A. (2023). *Higiene y manipulación de alimentos: queso fresco – queso costeño*. Cadena de suministros

- del queso costeño*. Uniguajira. <https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/1647>
- Causado, E., Vargas, J. y Peñaloza, A. (2025). Classification and Typification of Costeño Cheese in the Colombian Caribbean Through Multivariate Analysis of Physico-chemical Parameters: Base Study for the department of Magdalena. *Journal of Posthumanism*, 5(5), 1195-1217. <https://doi.org/10.63332/joph.v5i5.1433>
- DANE. (2025). *Inseguridad alimentaria a partir de la escala FIES - 2024*.
- De la Calle, C. (2019). Listeria monocytogenes: epidemiología, clínica y tratamiento. *Pedriatría Integral*, XXIII(8), 429.e1-429.e6. <https://www.pediatriaintegral.es/publicacion-2019-12/listeria-monocytogenes-epidemiologia-clinica-y-tratamiento/>
- Dean, C., Peña, F., Ray, T., Heins, B., Machado, V., Pinedo, P., Caixeta, L. S. y Noyes, N. (2022). Evaluation of Contamination in Milk Samples Pooled From Independently Collected Quarters Within a Laboratory Setting. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 818778. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.818778>
- Decreto 1880 de 2011. *Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional*. 27 de mayo de 2011. D. O. núm. 48085.
- Endres, C., Moreira, E., De Freitas, A., Dal Castel, A., Graciano, F., Mann, M., Frazzon, A. P., Mayer, F. Q. y Frazzon, J. (2023). Evaluation of Enterotoxins and Antimicrobial Resistance in Microorganisms Isolated from Raw Sheep Milk and Cheese: Ensuring the Microbiological Safety of These Products in Southern Brazil. *Microorganisms*, 11(6), 1618. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061618>
- Fan, Y., Yang, Z., Yang, G., Li, C., Ren, X., Chu, C., Liu, T., Liu, G., Bai, W., Sui, H. y Zhang, S. (2024). Research on a new standardization method for milk FT-MIRS on different instruments based on agglomerative clustering and application strategies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109422. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109422>

- Fanelli, V., Mascio, I., Miazzi, M., Savoia, M., De Giovanni, C. y Montemurro, C. (2021). Molecular Approaches to Agri-Food Traceability and Authentication: An Updated Review. *Foods*, 10(7), 1644. <https://doi.org/10.3390/foods10071644>
- FAO. (s. f.). *Portal lácteo*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- FAO. (2007). *Análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos*. <https://openknowledge.fao.org/items/6d4a9aed-b6db-4d89-9072-cb585760674f>
- FAO. (2016). *Technical and investment guidelines for milk cooling centres*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/85eadb51-af17-4de0-b1c9-ac881bccdb32/content>
- FAO. (2024a). *América Latina y el Caribe: Panorama regional de la seguridad alimentaria y la nutrición*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0556ea9c-65bb-46e9-aa6b-39fdeb8afbe7/content/sofi-statistics-rlc-2024/food-security-ending-hunger.html>
- FAO. (2024b). *En 2023, cayó la prevalencia de inseguridad alimentaria moderada o grave en los hogares del país al pasar de 28,1 % a 26,1 %*. <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1682949/#:~:text=Mecanismo%20de%20quejas-,En%202023%2C%20cay%C3%B3%20la%20prevalencia%20de%20inseguridad%20alimentaria%20moderada%20o,1%25%20a%2026%2C1%25&text=Por%20segundo%20a%C3%B1o%20consecutivo>
- Fedegán. (2015, 20 de septiembre). *El consumo per cápita de leche en Colombia*.
- Fusco, V., Chieffi, D., Fanelli, F., Logriego, A., Cho, G.-S., Kabisch, J., Böhnlein, C. y Franz, C. (2020). Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2013-2049. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12568>
- García, E. (2015). *Estudio para la identificación de los productos potenciales en los sectores agropecuarios, agroindustrial y artesanal, que podrían ser protegidos a través de denominaciones de origen*,

- marcas colectivas o de certificación. Departamento Nacional de Planeación. https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/desarrollo%20empresarial/propiedad_intelectual.pdf
- GFSI. (2022). *Índice de seguridad alimentaria mundial*. Economist Impact. <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index>
- Gómez, S. L. (2022). *Evaluación in vitro de las propiedades probióticas de bacterias ácido-lácticas aisladas del queso doble crema*. [Tesis de Maestría en Ciencias – Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83317>
- González, J., Pereira, N., Soto, Z., Hernández, E. y Villarreal, J. (2014). Aislamiento microbiológico de *Salmonella* spp. y herramientas moleculares para su detección. *Salud Uninorte*, 30(1), 73-94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522014000100009
- Granizo, J. (2016). *Presencia de bacterias de los géneros Staphylococcus aureus, Escherichia coli y Brucella abortus y su perfil de resistencia antimicrobiana en leche cruda bovina procedente de Tunshi y San Andrés* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Archivo digital. <https://dspace.esepoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/ea35c10c-6058-43c0-8cc8-70bfc0dd1692/content>
- Gu, S., Zhang, J., Wang, J., Wang, X. y Du, D. (2021). Recent development of HS-GC-IMS technology in rapid and non-destructive detection of quality and contamination in agri-food products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 144, 116435. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116435>
- Guerrero, C. (2024). *Viabilidad del uso de espectroscopía NIRS en la estimación de parámetros de interés agronómico y medioambiental en lodos de depuradora* [Trabajo de fin de máster universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos, Universitas Miguel Hernández]. Archivo digital. <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/33629/1/TFM%20Guerrero%20Pardo%2c%20Catalina.pdf>

- Guíalab. (2020, 27 de marzo). *Espectroscopía de reflectancia NIR y sus aplicaciones*. <https://www.guialab.com.ar/notas-tecnicas/espectroscopia-de-reflectancia-nir-y-sus-aplicaciones>
- Gutiérrez, J., Velandia, A., Muete, C., Poveda, J. y Méndez, E. (2024). *Cooperativa quesera de mujeres campesinas Campo Bello* [Proyecto de diplomado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Archivo digital. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/65412/amvelandiacl.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- ICBF. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/tabla-alimentos>
- Icontec. (2002). *NTC 399:2018. Productos lácteos. Leche cruda. Requisitos*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-lacteos-leche-cruda-requisitos-ntc399-2018.html>
- Icontec. (2009). *NTC 750:2009. Productos lácteos. Queso*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-lacteos-queso-ntc750-2009.html>
- Icontec. (2016). *GTC 263:2016. Leche y productos lácteos. Guía para muestreo*. <https://tienda.icontec.org/gp-leche-y-productos-lacteos-guia-para-muestreo-gtc263-2016.html>
- INS. (2011a). *Evaluación de riesgos de Staphylococcus aureus enterotoxigénico en alimentos preparados no industriales en Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/Er-staphylococcus.pdf>
- INS. (2011b). *Identificación de riesgos biológicos asociados al consumo de leche cruda bovina en Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/Er-peligros-biologicos-en-leche.pdf>
- INS. (2020). *Evaluación de riesgos: Evaluación de riesgos de Listeria monocytogenes para queso fresco en Nariño – Colombia*. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/evaluacion-de-riesgos-de-listeria-monocytogenes-para-queso-fresco-en-nari%C3%B1o.pdf>
- INS. (2025). *Ánisis de señales, notificaciones y alertas de inocuidad de alimentos*. <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/>

[BoletinEpidemiologico/2025_Boletin_epidemiologico_semana_23.pdf](#)

- Kapur, S. (2021). The Regulation of Agri-Food Safety by Regulations: Utilising Traceability and Recalls in India and USA. En G. Aytekin y Ç. Doğru (Eds.), *Handbook of Research on Recent Perspectives on Management, International Trade, and Logistics* (pp. 85-107). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5886-7.ch006>
- Kim, N., Lee, N., Kim, M., Kim, H., Cho, T., Joo, I., Heo, E. J. y Rhee, M. (2018). Microbiological criteria and ecology of commercially available processed cheeses according to the product specification and physicochemical characteristics. *Food Research International*, 106, 468-474. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.014>
- Luna, J. (2020). *Métodos analíticos de microbiología general y aplicada*. Unimagdalena.
- Martelli, F., Giacomozzi, C., Dragone, R., Frazzoli, C. y Grasso, G. (2025). Data Analysis in Newly Developed Milk Sensor Platforms: Good Practices, Common Pitfalls, and Hard-Earned Lessons from Field Application. *Foods*, 14(10), 1724. <https://doi.org/10.3390/foods14101724>
- Milkovska-Stamenova, S., Wölk, M. y Hoffmann, R. (2021). Evaluation of Sample Preparation Strategies for Human Milk and Plasma Proteomics. *Molecules*, 26(22), 6816. <https://doi.org/10.3390/molecules26226816>
- Moreano, N., Arias, G., Martínez, E. y Cevallos, E. (2024). Evaluación de la calidad microbiológica en quesos frescos de producción artesanal: un enfoque en la seguridad alimentaria y la preservación de métodos tradicionales. *Reincisol*, 3(6), 2443-2468. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)2443-2468](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)2443-2468)
- Morenas, J., García, A. y Blanco, J. (2014). Prototype traceability system for the dairy industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 101, 34-41. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2013.12.011>
- Negri, L. y Aimar, M. (Ed.). (2019). *Guía de buenas prácticas para establecimientos lecheros: material de referencia de la Red de BPA.*: Ediciones INTA, Buenos Aires 2019. 69 p. : il.

https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pacl/informacion/archivos/000000_Documentos%20para%20descargar/190702_Gu%C3%ADa%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20para%20establecimientos%20lecheros.pdf

Pascual, M. y Calderón, V. (2007). *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas*. <https://dokumen.pub/microbiologia-alimentaria.html>

Paz, P., Sánchez, M. y Pérez, D. (2021). Aplicación de la Tecnología NIRS (Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano) en el Control de Calidad de la Industria Agroalimentaria. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Núm. especial), 101-104. <https://revistas.univalle.edu/index.php/ciencias/article/view/11>

Possas, A., Bonilla-Luque, O. y Valero, A. (2021). From Cheese-Making to Consumption: Exploring the Microbial Safety of Cheeses through Predictive Microbiology Models. *Foods*, 10(2), 355. <https://doi.org/10.3390/foods10020355>

Primavilla, S., Roila, R., Rocchegiani, E., Blasi, G., Petruzzelli, A., Gabucci, C., Ottaviani, D., Di Lullo, S., Branciarri, R., Ranucci, D. y Valiani, A. (2023). Assessment of the Microbiological Safety and Hygiene of Raw and Thermally Treated Milk Cheeses Marketed in Central Italy between 2013 and 2020. *Life*, 13(12), 2324. <https://doi.org/10.3390/life13122324>

Pu, Y., O'Donnell, C., Tobin, J. y O'Shea, N. (2020). Review of near-infrared spectroscopy as a process analytical technology for real-time product monitoring in dairy processing. *International Dairy Journal*, 103, 104623. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104623>

Ramírez, R. F. y Vargas, P. L. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Revista Espacios*, 41(45), 319-328. <https://revistaespacios.com/a20v41n45/a20v41n45p25.pdf>

Ramírez, J., Aguirre, J., Aristizábal, V. y Castro, S. (2017). La sal en el queso: diversas interacciones. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 303-317. <https://www.redalyc.org/journal/437/43748637024/43748637024.pdf>

- Revilla, A. e IICA. (1982). *Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis*. <https://hdl.handle.net/11324/7125>
- Rincón-Peña, K. (2018). *Elaboración y caracterización de queso costeño con reducción de cloruro de sodio*. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/40106> <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/168d4a2e-b821-4bb3-9c10-c3124d643c3c/content>
- Rojas, A., Dianezi, A., Olaya, E., Vicente, M. E. y Coxshall, W. (2022). Diagnóstico situacional de seguridad alimentaria en Argentina, Brasil Colombia e Inglaterra post COVID-19. *Revista Katálysis*, 25(3), 539-550. <https://doi.org/10.1590/1982-0259.2022.e86289>
- Roldán-Pérez, S., Gómez, S., Sepúlveda-Valencia, J., Ruiz, O. S., Márquez, M., Montoya, O. y Durango-Zuleta, M. (2023). Assessment of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from an artisanal Colombian cheese. *Heliyon*, 9(11), e21558. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21558>
- Ruiz, R., Menco, R. y Chams, L. (2017). Valoración microbiológica de queso costeño artesanal y evaluación higiénico-locativa de expendios en Córdoba, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 19(3), 311-317. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42254536004>
- Salguero, J. (2019). *Calidad de leche cruda de pequeños productores del Cantón Cayambe, por análisis físico químicos y ensayos cualitativos* [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional Universidad Central de Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/e11ccbd6-e864-4531-8ca6-e36a6914e617>
- Salvador, G., De la Cruz, J., Pérez, C. y Aranceta, J. (2015). Escalas de la evaluación de la inseguridad alimentaria en el hogar. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 21(Supl. 1), 270-276. <https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC2015supl1INSEGURALIMENT.pdf>
- Sandoval, J. (2019). *Análisis y caracterización de las propiedades macroscópicas, microscópicas y moleculares del queso tipo costeño madurado* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Séneca

- Repositorio Institucional. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/ea03fb95-5aa3-4fa8-91fa-cb95c47d7ad0>
- Sierra, J., García, J. y Monroy, S. (2016). Diagnóstico del uso de herramientas tecnológicas por parte de los docentes de las instituciones educativas del casco urbano de la ciudad de Riohacha. *Omnia*, 22(2). <https://www.redalyc.org/journal/737/73749821005/html/>
- Soler, J. (2006). *Validación secundaria del método de número más probable y recuento en placa profunda para coliformes totales y fecvales en muestras de alimentos basada en la norma ISO NTC 17025* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8295/tesis273.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UPRA. (2020). *Cadena láctea colombiana: Análisis situacional*. https://www.andi.com.co/uploads/20200430_dt_analsitlechelariga_andreagonzalez.pdf
- Universidad Nacional de Colombia y Junta del Acuerdo de Cartagena. (1988). *Manual de elaboración de queso costeño picado*. Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/29411>
- Wang, K., Li, Z., Li, J. y Lin, H. (2021). Raman spectroscopic techniques for nondestructive analysis of agri-foods: A state-of-the-art review. *Trends in Food Science & Technology*, 118(A), 490-504. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.010>
- WFP. (2024). *Evaluación de la seguridad alimentaria para la población colombiana*. <https://es.wfp.org/publicaciones/evaluacion-de-la-seguridad-alimentaria-para-la-poblacion-colombiana-2024>
- Xue, Z. y Marco, M. (2022). Improved assessments of bulk milk microbiota composition via sample preparation and DNA extraction methods. *PLoS ONE*, 17(9), e0267992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267992>
- Zhou, G. (2018). Highlights in agri-product quality and safety. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 5(3), 289-290. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018236>

Anexo 2. Formatos de ingreso a laboratorio de muestras de leche y queso costeño

FORMATO DE INGRESO A LABORATORIO DE MUESTRAS DE LECHE Y QUESO COSTEÑO										
Director de laboratorio	Responsable de recepción de la muestra			Municipio de origen de la muestra	Responsable de toma de la muestra		Fecha:	Hora de ingreso:		
Código muestra	Nombre de la empresa o productor	Departamento	Municipio	Fecha de recolección de la muestra	Cantidad de leche (mL)	Cantidad de queso (g)	Temperatura leche	Temperatura queso	Hora de recepción de la muestra	Observaciones
Firma del responsable tomador de la muestra:					Firma del responsable receptor de la muestra:					

Anexo 3. Formatos de asignación de análisis de muestras de leche y queso costeño

FORMATO DE ASIGNACIÓN DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE LECHE Y DE QUESO COSTEÑO									
Director de laboratorio		Responsable de los análisis		Municipio de origen de la muestra		Responsable de toma de la muestra		Fecha:	
									Fecha de aprobación:
Código muestra	Tipo de análisis		Nombre del análisis	Fecha de inicio	Hora de inicio	Fecha de finalización	Hora de finalización	Investigador(a) a cargo	Observaciones
	Fisicoquímico/bromatológico	Microbiológico							
Firma del responsable del análisis de las muestras:			Observaciones generales:						

Anexo 4. Formatos de análisis microbiológico para muestras de leche

Registro de análisis microbiológico de muestras de leche																
Director de laboratorio		Responsable de los análisis			Empresa/ productor de origen de la muestra			responsable de toma de la muestra		Fecha:						
										Hora de ingreso:						
Cod. de muestra	Réplica	PARAMETROS														
		Mesofílos aeróbicos (SPC)			Mohos y levaduras (PDA)		<i>Staphylococcus aureus</i> (SMRF)		Coliformes totales (EMB)		<i>Escherichia coli</i> (EMB)					
	1	-3	-4	-5	-3	4	-5	-3	-4	5	3	-4	-5	-3	-4	5
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
	1															
	2															
	3															
Firma del responsable tomador de la muestra:						Firma del responsable análisis de la muestra:										

Anexo 5. Formatos de análisis microbiológico para muestras de queso costeño

Director de laboratorio		Registro de análisis microbiológico de muestras de queso costeño					Fecha:						
		Responsable de los análisis	Empresa/productor de origen de la muestra		Responsable de toma de la muestra	Hora de ingreso:							
Cód. de muestra	Réplica	PARÁMETROS											
		Mohos y levaduras (PDA)		Staphylococcus aureus (SMRF)			Coliformes totales (EMB)			Escherichia coli (EMB)			
		3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
	1												
	2												
	3												
Firma del responsable tomador de la muestra:												Firma del responsable del análisis de la muestra:	

Acerca de los autores

Edwin Causado Rodríguez

Es docente titular del programa de Ingeniería Industrial y de la Maestría en Ingeniería de la Facultad de Ingenierías de la Universidad del Magdalena. Director del Grupo de Investigación Gestión de Recursos para el Desarrollo (GIGRD), reconocido y clasificado en A por MinCiencias. Investigador Junior (I) de la Convocatoria y par evaluador de MinCiencias. Doctor en Ciencias Gerenciales de la Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín (Venezuela). Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales de la Universidad de los Andes (Colombia), Joint Master Environmental Economics and Natural Resources Universidad de los Andes - University of Maryland (EE. UU.). Máster universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, la Calidad, el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa de la Universidad Internacional de La Rioja - UNIR (España). Ingeniero industrial de la Universidad de La Guajira (Colombia). Ha recibido reconocimientos como profesor distinguido en los años 2011, 2016 y 2018. Además, ha fungido como pasante de investigación en el Politécnico de Milano (Italia) y en la Universitat Politècnica de Valencia (España). Certified Quantitative Risk Management - Gestión cuantitativa de riesgos certificada (CQRM) Por International Institute of Professional Education and Research - Instituto Internacional de Educación e Investigación Profesional (IIPER), 2016. Se ha desempeñado como investigador principal de proyectos relacionados con las cadenas de suministro de la industria agroalimentaria. Ha sido autor de más de doce libros, varios capítulos de libro y de numerosos artículos publicados en revistas científicas de gran impacto a nivel nacional e internacional, y ha realizado ponencias en eventos nacionales e internacionales de gran trayectoria.

Andrés Felipe Alvarado Reyes

Ingeniero civil e ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad del Magdalena y candidato a especialista en Desarrollo Territorial de la misma institución. Es coinvestigador del proyecto «Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del queso costeño en las subregiones del Caribe colombiano, departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira». Su actividad científica se centra en identificar, comprender y proponer alternativas de solución a problemas ambientales y civiles, empleando conocimientos técnicos y tecnológicos, priorizando el desarrollo sostenible, optimizando procesos y minimizando costos.

Isaac Manuel Romero Borja

Doctor (c) en Ciencias del Mar de la Universidad del Magdalena, magíster en Manejo Integrado Costero, especialista en Ingeniería Ambiental y Sanitaria y biólogo con Énfasis en Recursos Hídricos de la Universidad del Magdalena. Docente de planta de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Magdalena. Coordinador del Laboratorio de Calidad de Aguas desde septiembre de 2004 a diciembre de 2022. Ha colaborado como autor de varios capítulos de libro y de numerosos artículos publicados en revistas científicas de gran impacto a nivel nacional e internacional, y ha realizado ponencias en eventos nacionales e internacionales de gran trayectoria.