

Calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche cruda bovina en García Rovira, Santander: factores que limitan su viabilidad comercial

Physicochemical and microbiological quality of raw bovine milk in García Rovira, Santander: factors limiting its commercial viability

Qualidade físico-química e microbiológica do leite bovino cru em García Rovira, Santander: fatores que limitam sua viabilidade comercial

Castellanos-Duarte, F.A.₁^{*}
 Esteban-Bautista, E.Y.₂
 Castellanos-Solano, J.M.₃

Recibido: 15 de octubre de 2024

Aprobado: 27 de marzo de 2025

Publicado: 20 de mayo de 2025

Cómo citar este artículo:

Castellanos-Duarte, F.A., Esteban-Bautista, E.Y., Castellanos-Solano, J.M. Calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche cruda bovina en García Rovira, Santander: factores que limitan su viabilidad comercial. Spei Domus. 2024;20(2): 1-20. doi: <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2024.02.02>

Artículo de investigación. <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2024.02.02>

- ¹ Servicios Tecnológicos, SENNOVA, Centro Agroempresarial y Turísticos de los Andes, Málaga, Santander, Grupo de Investigación Frailejones, Semillero de Investigación en Producción Pecuaria, Servicio Nacional de Aprendizaje. Estudiante de la Maestría en Ciencias Veterinarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC.

Correo electrónico: facastellanos@sena.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7761-9691>

- ² Consultor independiente en calidad láctea, Málaga, Santander.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3190-2560>

- ³ Servicios Tecnológicos, SENNOVA, Centro Agroempresarial y Turísticos de los Andes, Málaga, Santander, Grupo de Investigación Frailejones, Semillero de Investigación en Producción Pecuaria, Servicio Nacional de Aprendizaje.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1405-1193>



Resumen

Se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche cruda bovina producida en la provincia de García Rovira, Santander, durante un periodo de 10 meses, mediante el análisis de 440 muestras provenientes de 1376 fincas distribuidas en 22 rutas. Se midieron parámetros como grasa, proteína, sólidos totales, recuento de mesófilos aerobios, recuento de células somáticas (RCS) y nitrógeno ureico en leche (MUN). Los resultados mostraron que la leche cumple con los mínimos requeridos de grasa (3,69%), proteína (3,31%) y sólidos totales (12,31%); sin embargo, el 82% de las muestras presentó recuentos de mesófilos superiores a 1.000.000 UFC/ml, lo que excede los límites normativos y dificulta su comercialización en mercados que exigen altos estándares de calidad. Además, el 78,86 % de las muestras mostró un RCS entre 301 000 y 750 000 células/ml, lo que indica una alta prevalencia de mastitis subclínica. El MUN promedio fue de 10 ± 2.11 mg/dL, pero el 30,23 % de las muestras presentó valores inferiores a 9 mg/dL, lo que sugiere deficiencias en la dieta proteica de los animales. En conclusión, aunque la calidad fisicoquímica de la leche es adecuada, las elevadas cargas microbianas y los altos recuentos de células somáticas limitan su viabilidad comercial. Se destaca la necesidad de mejorar las prácticas de higiene en el ordeño, optimizar la infraestructura para la refrigeración de la leche y ajustar la nutrición del ganado para asegurar la sostenibilidad y competitividad de la producción lechera en García Rovira.

Palabras clave: Ganado vacuno, Producto lácteo, Salud, Microbiología.

Abstract

The physicochemical and microbiological quality of raw bovine milk produced in the province of García Rovira, Santander, was evaluated over a 10-month period through the analysis of 440 samples collected from 1,376 farms distributed along 22 routes. Parameters measured included fat, protein, total solids, aerobic mesophilic counts, somatic cell count (SCC), and milk urea nitrogen (MUN). The results indicated that the milk met the minimum requirements for fat (3.69%), protein (3.31%), and total solids (12.31%). However, 82% of the samples exhibited aerobic mesophilic counts exceeding 1,000,000 CFU/mL, surpassing regulatory limits and hindering commercialization in markets that demand high quality standards. Additionally, 78.86% of the samples had SCC levels between 301 000 and 750 000 cells/mL, indicating a high prevalence of subclinical mastitis. The average MUN was 10 ± 2.11 mg/dL, although 30.23% of the samples showed values below 9 mg/dL, suggesting deficiencies in the animals' protein intake. In conclusion, although the physicochemical quality of the milk is adequate, the high microbial loads and elevated somatic cell counts limit its commercial viability. This underscores the need to improve milking hygiene practices, enhance milk cooling infrastructure, and adjust cattle nutrition to ensure the sustainability and competitiveness of dairy production in García Rovira.

Keywords: Cattle, Dairy products, Health, Microbiology.

Resumo

A qualidade físico-química e microbiológica do leite bovino cru produzido na província de García Rovira, Santander, foi avaliada durante um período de 10 meses, analisando 440 amostras de 1.376 fazendas distribuídas em 22 rotas. Parâmetros como gordura, proteína, sólidos totais, contagem de mesófilos aeróbicos, contagem de células somáticas (CCS) e nitrogênio da ureia do leite (NUR) foram medidos. Os resultados mostraram que o leite atende aos requisitos mínimos de gordura (3,69%), proteína (3,31%) e sólidos totais (12,31%); Entretanto, 82% das amostras apresentaram contagens de mesófilos superiores a 1.000.000 UFC/ml, o que excede os limites regulatórios e dificulta sua comercialização em mercados que exigem altos padrões de qualidade. Além disso, 78,86% das amostras apresentaram CCS entre 301.000 e 750.000 células/ml, indi-

cando alta prevalência de mastite subclínica. O MUN médio foi de $10 \pm 2,11$ mg/dL, mas 30,23% das amostras apresentaram valores abaixo de 9 mg/dL, sugerindo deficiências na dieta proteica dos animais. Concluindo, embora a qualidade físico-química do leite seja adequada, altas cargas microbianas e altas contagens de células somáticas limitam sua viabilidade comercial. A necessidade de melhorar as práticas de higiene na ordenha, otimizar a infraestrutura de refrigeração do leite e ajustar a nutrição do gado é destacada para garantir a sustentabilidade e a competitividade da produção leiteira em García Rovira.

Palavras-chave: Gado, Laticínios, Saúde, Microbiologia.

Introducción

Se define la leche como el “producto de la secreción mamaria normal de animales bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición, destinada al consumo en forma de leche líquida o a elaboración posterior” [1]. La leche es un producto altamente perecedero [2] y ha sido clasificado como un alimento de mayor riesgo en salud pública [1, 3]. Sin embargo, la mayor parte de la producción láctea mundial se consume en forma de lácteos frescos y se proyecta que durante la década 2018-2028 el consumo mundial per cápita aumentará un 1% anual [2].

La productividad colombiana de leche se estima en 6,36 litros por vaca al día y en 993 litros por hectárea al año. Sin embargo, la heterogeneidad de los hatos permite identificar que en el trópico alto la productividad por hectárea al año es de 3460 litros [4]. La producción bovina nacional se ha distribuido en un 68 % en el trópico bajo y el restante en el trópico alto, predominando el sistema de doble propósito con un 56 %, seguido del enfoque lácteo con un 29 % [4]. En términos socioeconómicos, la producción láctea nacional representa el 12 % del valor de la producción agropecuaria, empleando 919 095 personas, lo que constituye el 16 % de la generación de empleo en el sector agropecuario [4, 5]. Según el Censo Nacional Pecuario 2024, en la provincia de García Rovira se contabilizan 123 383 bovinos en 8683 fincas, con un 98 % de participación de hatos constituidos por entre 1 y 50 animales. Este censo también determinó que el 62 % de la población bovina son hembras [6]. La producción ganadera de la provincia se concentra en los municipios de San Andrés con una participación del 16,41 %, Cerrito 13,32 %, Concepción 11,76 %, Guaca 11,39 % y Molagavita 8,36 % [7].

En Colombia, se han adoptado normas que reglamentan el Sistema de Inspección, Vigilancia y Control de la calidad de la leche cruda de bovinos [5]. Este sistema también define los requisitos fisicoquímicos que debe cumplir la leche cruda de vaca [8], como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1. Parámetros composicionales que debe tener la leche cruda en Colombia.

Parámetro	Unidad	Valor mínimo
Grasa	%	3.0
Proteína	%	2.9
Sólidos totales*	%	11.30
Datos tomados de [5, 8].		

Además, se implementó el sistema de pago de la leche cruda al proveedor y los departamentos fueron agrupados en dos regiones lecheras según sus características productivas, incluyendo al departamento de Santander en la Región Lechera número 2 (RL2). De hecho, se definió que la calidad estándar para el recuento total de bacterias en la leche de la RL2 es de 201 000 a 300 000 ufc/ml [9]. En términos fisicoquímicos, la leche producida en Colombia se caracteriza por valores de 3,71 % de grasa y un 3,18 % de proteína. En cuanto a calidad microbiológica, presenta un recuento de unidades formadoras de colonias (ufc/ml) de 650 573, con diferencias entre el trópico alto y el trópico bajo [4].

Dentro de los parámetros importantes, se miden las células somáticas de la leche, definidas como “células nucleadas, consistentes en su totalidad en leucocitos y células epiteliales” [10]. Este recuento está relacionado con la salud de la glándula mamaria; un recuento elevado de células somáticas (RCS) debe interpretarse como daño del tejido glandular causado por microorganismos patógenos, lo que representa una desventaja en términos de productividad y calidad de la leche destinada al abasto público [11].

El control del nitrógeno ureico en leche (MUN) permite evaluar el estado nutricional de las vacas, principalmente en lo que respecta al aporte proteico y energético en la dieta, así como al manejo de la fertilización nitrogenada en praderas [12, 13]. A nivel internacional, se establece que el rango óptimo de concentraciones de MUN es de 8 a 14 mg/dL, y las concentraciones de 15 a 18 mg/dL se consideran críticas, lo que requiere atención. Superar los 18 mg/dL puede provocar generar efectos negativos directos [14]. En Colombia, se ha reportado que las vacas con MUN entre 12 y 18 mg/dL y con un contenido de proteína en la leche superior a 2.8 % tienen una alimentación adecuada, pero si la proteína es inferior que 2.8 %, la dieta presenta una deficiencia de energía [12].

El presente estudio tuvo como objetivo describir las características fisicoquímicas y microbiológicas de la leche cruda bovina producida en la provincia de García Rovira, Santander (Colombia).

Materiales y métodos

Se realizó un estudio descriptivo longitudinal en colaboración con una empresa acopiadora de leche cruda de la provincia de García Rovira, departamento de Santander (Colombia), detallando los parámetros involucrados en el sistema de pago por calidad de la leche cruda, así como de variables relacionadas con la salud de la glándula mamaria y el estado nutricional del ganado lechero.

Se seleccionaron 22 rutas recolectoras de leche provenientes de 1376 fincas ganaderas bovinas, ubicadas en los municipios de Málaga, Carcasí, San José de Miranda, Molagavita, Concepción, San Andrés, Enciso, Cerrito, San Miguel y Macaravita, representando el 16 % del total de fincas de la provincia [6]. Durante el periodo de estudio, se reportó una precipitación mensual promedio de 1418 ± 940 mm en Málaga, la capital de la provincia [15]. La provincia de García Rovira está situada en la cordillera oriental del departamento de Santander, con una extensión de 3062 km² y una población aproximada de 77 954 habitantes [16]. Esta región se caracteriza por su paisaje de bosque húmedo y muy húmedo montano y montano bajo, perteneciendo a la zona de piso térmico muy frío (presión disminuida - Pd), con altitudes entre los 3000 y 4000 metros sobre el nivel del mar, temperaturas que oscilan entre 6 y 12 °C, y una precipitación anual de entre 2000 y 4000 mm [17].

Se tomaron un total de 440 muestras de leche cruda directamente de los tanques de recolección, con 20 réplicas quincenales durante un periodo de 10 meses (agosto de 2023 a mayo de 2024) para cada ruta. Se seleccionaron seis variables cuantitativas relacionadas directamente con la evaluación de la calidad de la leche, en términos de composición, carga microbiológica y expresión celular y nutricional del ganado en producción, asociados con la normatividad vigente [9]. Los datos fueron tabulados y analizados utilizando el software Microsoft Excel® (Office 365, versión 2208). Para las variables de grasa, proteína y sólidos totales, se aplicó un análisis descriptivo; el recuento de aerobios mesófilos (UFC) fue evaluado mediante tablas de frecuencias, basándose en la clasificación del Sistema de Pago de Leche Cruda al Proveedor para la RL2 [9]. El RCS y el MUN se analizaron mediante estadística descriptiva y tablas de frecuencia. El análisis de las muestras fue llevado a cabo en un laboratorio acreditado por la ONAC bajo el código 14-LAB-057, utilizandolas técnicas de ensayo descritas a continuació

Tabla 2. Técnicas de ensayo para leche cruda empleadas en el estudio durante los años 2023 – 2024.

ColoVariable	Unidad de medida	Técnica de ensayo	Documento normativo
Grasa	% o g/100g	Espectroscopía de infrarrojo	Iso 9622-idf 141:2013
Proteína	% o g/100g		
Sólidos totales	% o g/100g		
MUN	Mg/dl	Citometría de flujo	No acreditado
RCS	1000/ml		Iso 13366-2 - idf 148-2: 2006
Ufc	1000/ml		Procedimientos analíticos de Leches, m-ud-001l, v 3,1, 2016-08-23

Resultados y discusión

La composición de la leche cruda producida en la provincia de García Rovira cumple con los límites mínimos establecidos por la normatividad colombiana [5, 8]. Los resultados presentados en la Tabla 3 indican que, en términos de grasa, proteína y sólidos totales, la leche cruda de la provincia tiene el potencial de ser comercializada en los centros de acopio del país. Asimismo, se considera viable que los productores puedan acceder al sistema de pago por calidad de la leche cruda [9]. Sin embargo, para cumplir con los requisitos de dicho sistema, es fundamental que la leche también alcance los niveles permitidos de recuento de mesófilos [9]. Al comparar el promedio de la composición de la leche cruda de la provincia con los valores de la RL2 y el promedio nacional [18], como se muestra en la Tabla 4, se observa que la leche de García Rovira tiene un mayor contenido de proteína. No obstante, en lo que respecta a grasa y sólidos totales, estos valores son inferiores en comparación con los obtenidos en la RL2 y a nivel nacional. Aunque algunas muestras no cumplieron con los límites mínimos establecidos por la normatividad colombiana [5, 8], estas representan un porcentaje reducido en relación con las 440 muestras analizadas durante el estudio.

Tabla 3. Composición de leche cruda en García Rovira durante los años 2023 – 2024.

Variable	Grasa	Proteína	Sólidos totales
Unidad	% o g/100g	% o g/100g	% o g/100g
Promedio	3,69	3,31	12,31
Desviación estándar	0,34	0,13	0,41
Valor Máximo	5,34	4,02	14,97
Valor Mínimo	2,47	2,87	10,75
Límite mínimo según MinSalud [5], ICONTEC [8]	2%	2,9%	11,30%

El contenido de grasa en la leche puede variar debido a varios factores, principalmente relacionados con la gestión de la dieta del ganado. Se ha reportado que ciertos suplementos dietarios administrados durante el parto y la lactancia pueden aumentar los niveles de grasa [19], o que dietas basadas en pastoreo, como es el caso en García Rovira, pueden modificar la composición de la leche [20]. Esto resulta relevante, considerando que la tendencia global en el consumo per cápita de productos lácteos frescos está disminuyendo; sin embargo, la demanda se ha orientado hacia las grasas lácteas y productos menos procesados [2].

En términos de transformación de la leche cruda en productos alimenticios como queso y yogur, las características composicionales de la leche son esenciales para garantizar la calidad de los productos agroindustriales resultantes [21, 22], lo que resalta la importancia de estas condiciones en la calidad final del producto entregado al consumidor. La proteína de la leche, o proteína láctea, es altamente demandada por los consumidores [23], destacándose productos como el yogur griego, que, debido a su alto contenido proteico y bajo en carbohidratos, se ha posicionado como uno de los productos insignia de la industria láctea [24].

Los sólidos totales también juegan un papel importante en la cadena de valor, especialmente en productos como la leche en polvo, ya que permiten estimar los rendimientos tras el proceso de evaporación y están directamente relacionados con el rendimiento de otros productos lácteos. Este parámetro ha cobrado tal relevancia que se han desarrollado métodos de medición más precisos, prácticos y económicos [25]; los sólidos de la leche incluyen carbohidratos, grasa, proteínas, así como minerales y vitaminas como calcio, potasio, fósforo, vitamina D, vitamina B12, vitamina A y riboflavina, lo que define a la leche como un alimento altamente nutritivo [26].

Tabla 4. Comparación de composición leche durante los años 2023 – 2024. con datos [18].

	Grasa	Proteína	ST
García Rovira	3,69	3,31	12,31
RL2	3,73	3,21	12,35
Nacional	3,71	3,09	12,12

La grasa, la proteína y los sólidos totales en la leche son parámetros clave en la agroindustria. En particular, el enfoque se ha orientado hacia la determinación de los niveles de caseína, ya que esta proteína tiene un impacto directo en el rendimiento del proceso de coagulación, fundamental en la producción de cuajada [27]. En

este contexto, es importante destacar que la dieta de las vacas, la raza y la etapa de lactancia influyen significativamente en las características fisicoquímicas y composicionales de la leche, lo cual tiene implicaciones relevantes para su procesamiento y la calidad final de los productos lácteos [28].

Al evaluar la calidad de la leche cruda, un parámetro crucial es el recuento de microorganismos, particularmente de aerobios mesófilos [9]. Este recuento está asociado a factores exógenos como las malas prácticas de ordeño, la insuficiente o inexistente higienización de los pezones, la falta de infraestructura adecuada para el ordeño y la refrigeración de la leche cruda, así como la alta prevalencia de mastitis clínica y subclínica. Además, la baja apropiación de conocimientos por parte del personal o el desinterés de algunas empresas, junto con el manejo inadecuado de la leche durante el transporte, agravan la situación [29-31]. En países donde los sistemas productivos y la cadena de valor láctea son precarios, los recuentos de bacterias mesófilas aeróbicas han superado los cinco millones de UFC, lo que constituye un motivo de preocupación. Estos microorganismos aceleran la descomposición de la leche [32] mediante una actividad lipolítica y proteolítica elevada, lo que genera alteraciones significativas en la calidad, el rendimiento y las características de los productos lácteos derivados [33].

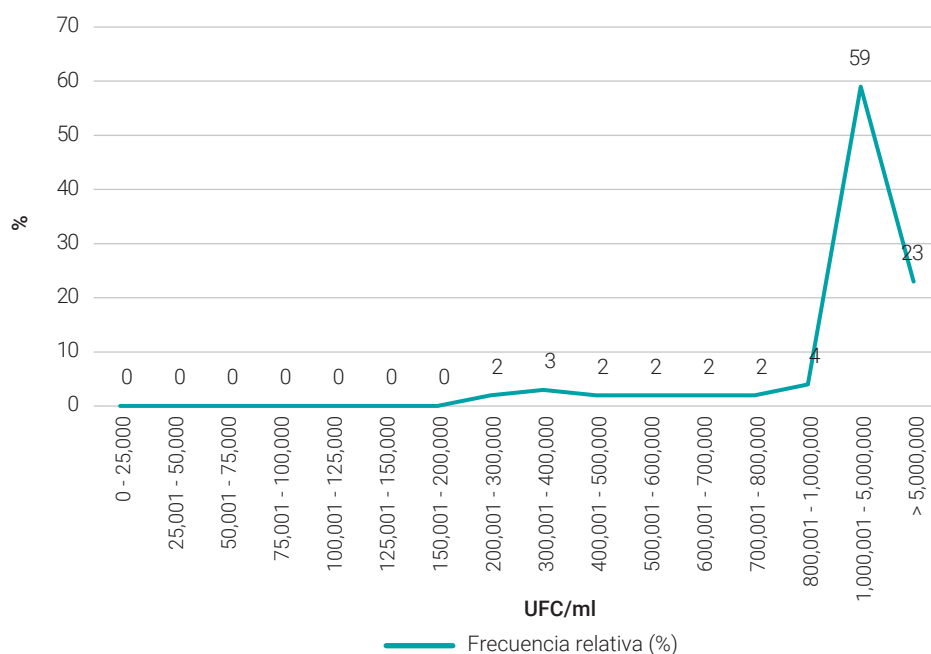


Figura 1. Frecuencia relativa del recuento de UFC/ml (%) en leche cruda de la provincia de García Rovira durante los años 2023 – 2024..

En la provincia de García Rovira, como se muestra en la figura 1, los recuentos de aerobios mesófilos en la leche cruda superan las 300 000 UFC en el 95,91 % de las muestras analizadas, lo que sugiere que la mayoría de la leche producida en esta región excede los límites normativos establecidos para el recuento de microorganismos [9]. Además, la distribución de frecuencias revela un incremento significativo en las muestras que superan el millón de UFC/ml, representando el 82 % del total analizado. Esto constituye una limitante importante para que los productores accedan al sistema de pago por calidad de la leche cruda, resultando en descuentos que se traducen en pérdidas de ingresos para los pequeños ganaderos de la provincia. Cabe destacar que, a nivel mundial, existe una tendencia hacia el desarrollo y optimización de técnicas analíticas para establecer niveles de calidad en los alimentos, particularmente en aquellos que representan un mayor riesgo para la salud pública [34].

Es importante destacar que la leche cruda es un producto altamente perecedero [2] y ha sido clasificado como un alimento de alto riesgo para la salud pública [1,3]. Los altos niveles de microorganismos presentes en la leche pueden hacer que los empresarios agroindustriales la desestimen como un producto de calidad, lo que podría convertirse en una desventaja competitiva y productiva para la provincia, que depende económica y socialmente de la ganadería lechera. En cuanto al desarrollo científico orientado al control de microorganismos en la leche cruda, destaca el uso de bioconservantes mediante la activación del sistema lactoperoxidasa [35] y de aceites esenciales [36] como el romero [37]. No obstante, estas alternativas requieren estudios adicionales para verificar su efectividad microbiana y la posible interferencia que puedan causar en la composición del producto final.

Un recuento de células somáticas (RCS) inferior a 200 000/ml en leche cruda ha demostrado estar asociado a mayores rendimientos tanto en la producción primaria como en la transformación de subproductos lácteos [38]. Sin embargo, en el presente estudio, la figura 1 muestra que en la provincia de García Rovira el 78,86 % de las muestras se ubicó en un RCS/ml entre 301 000 y 750 000, lo que sugiere la presencia de reacciones inflamatorias en la glándula mamaria de las vacas, comúnmente asociadas a la mastitis. El RCS tiene una relación directa con la cantidad de microorganismos en la leche [39], y muestra una correlación inversa: a mayor RCS, menor es la cantidad de caseína en la leche [40]. Un RCS elevado es una característica indeseable para la industria láctea, ya que afecta la calidad del producto final. Sin embargo, es importante señalar que el RCS no siempre está vinculado a infecciones bacterianas; las reacciones inflamatorias de la glándula mamaria también pueden ser causadas por virus, hongos, algas o factores traumáticos propios del sistema productivo, que también pueden inducir mastitis [41]. Estudios previos han revelado que los factores

socioeconómicos y el nivel de conocimiento de los ganaderos son elementos clave que influyen en la calidad de la leche en términos de RCS [42].

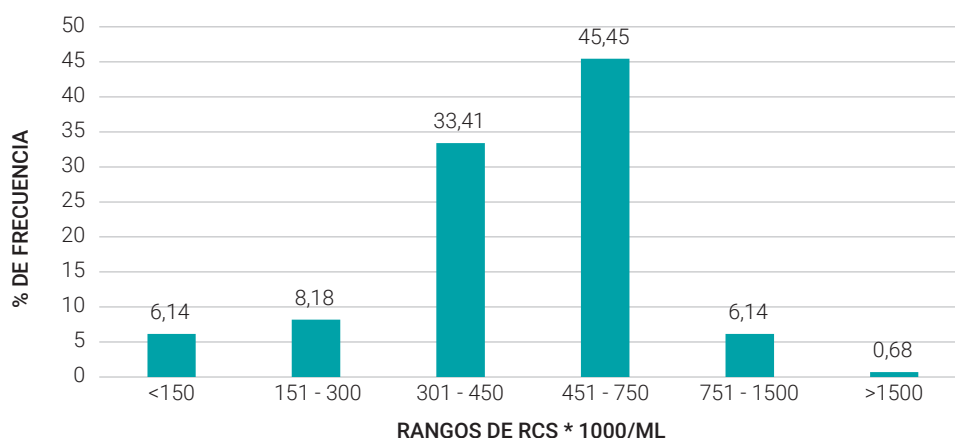


Figura 2. RCS en leche cruda de García Rovira durante los años 2023 – 2024.

Los niveles elevados de RCS (>200 000) sugieren la necesidad de estudiar en profundidad los microorganismos asociados, ya que es posible que no se trate de una infección primaria en la glándula mamaria de las vacas, sino de una disbiosis en los microbiomas intramamarios [43]. Al igual que con el RCS, se promueven diversas técnicas de medición para evaluar el estado de salud de la glándula mamaria, ya que esto no solo impacta los índices productivos y agroindustriales, sino que también está estrechamente relacionado con el bienestar de los animales utilizados en la producción [44].

Los resultados de UFC y RCS obtenidos en este estudio permiten concluir que el estado microbiológico y la sanidad de la glándula mamaria de las vacas representan una limitante sanitaria y productiva en esta provincia, situación que también ha sido identificada en diversas regiones del país [45]. Esto subraya la necesidad de una gestión integral por parte de todos los estamentos y entidades del sector ganadero. Además, se propone que la apropiación del conocimiento por parte de los actores del sector, en relación con la calidad microbiológica de la leche y la salud de la glándula mamaria, desempeña un papel fundamental. La gestión realizada por asociaciones y cooperativas es clave en este contexto, especialmente en regiones donde las unidades productivas lácteas son pequeñas y cuentan con una baja capacidad financiera [46].

La concentración de nitrógeno ureico en la leche del ganado de la provincia de García Rovira muestra una tendencia hacia niveles óptimos, como se observa en la figura 3, y de acuerdo con lo descrito por Muñoz *et al.* [12]. En promedio, el MUN se

sitúa en 10 ± 2.11 mg/dL; sin embargo, se identificó que el 30,23 % de las muestras analizadas presentaron un valor inferior a 9 mg/dL, lo que sugiere la posibilidad de un aporte insuficiente de proteína degradable en la dieta en relación con la disponibilidad de energía. Es posible que la práctica de un solo ordeño diario en la provincia influya en la tendencia a valores más bajos de MUN, ya que se han reportado diferencias significativas con valores más altos de MUN en vacas que son ordeñadas dos veces al día [47].

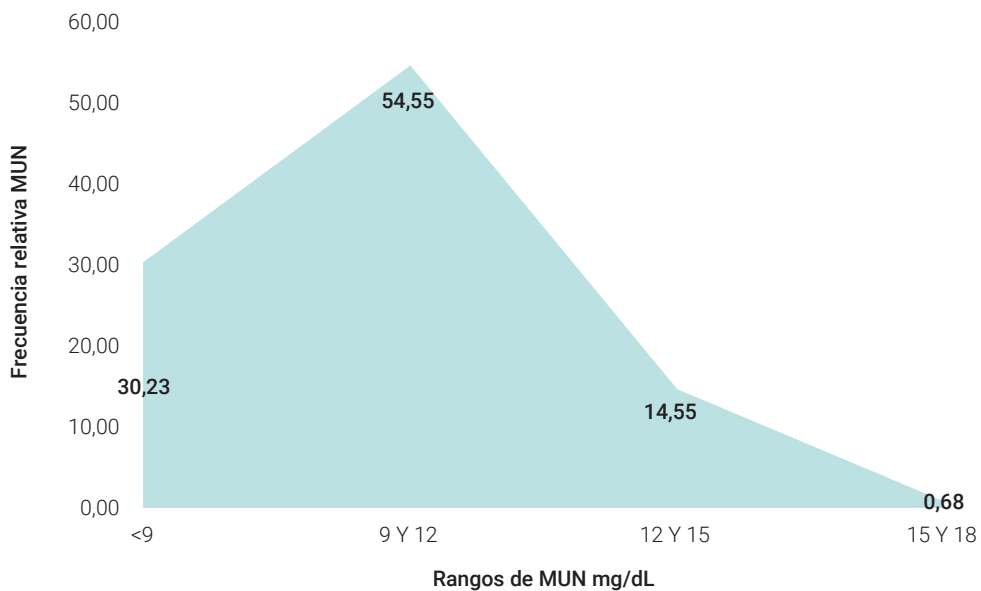


Figura 3. MUN en leche cruda de García Rovira durante los años 2023 – 2024.

El MUN es un parámetro clave para identificar de manera oportuna posibles afectaciones metabólicas en los animales [47]. Cuando la dieta del ganado lechero es baja en energía o la relación proteína/energía es elevada, las bacterias ruminales muestran ineficiencia en la utilización del amoníaco libre para la síntesis proteica, lo que resulta en un aumento del MUN [48]. Estudios que individualizan el MUN en la leche de vacas revelan que el monitoreo de este parámetro debe priorizarse entre los días 95 y 125 después del parto [49], ya que puede indicar un desequilibrio nutricional que requiere atención e intervención, lo que a su vez puede mejorar las condiciones metabólicas y de salud de las vacas. Con base en los valores reportados de MUN en vacas Holstein de Marruecos (17.6 ± 8.17 mg/dL) [49] y en vacas de raza Jersey y cruces F1 Jersey*Holstein (15.5 ± 2 mg/dL) [50] se sugiere realizar un seguimiento continuo del comportamiento del MUN en las vacas de la provincia de García Rovira a lo largo del

año, con mediciones individuales. Se ha documentado que el MUN tiene una relación inversa con el porcentaje de grasa en la leche, lo que puede ser un resultado indirecto de variables nutricionales o un efecto negativo directo de la grasa sobre el MUN [47].

En términos generales, las condiciones endógenas de las unidades productivas están estrechamente relacionadas con la cantidad y calidad de la leche que se oferta, lo que responde a un conjunto de factores asociados [51] que requieren mayor atención para garantizar la entrega de leche inocua al consumidor. Cabe destacar que se ha identificado la presencia de *Staphylococcus aureus* en hatos colombianos [52], bajo condiciones productivas similares a las de la provincia de García Rovira. El departamento de Santander ha señalado que el sector ganadero de la provincia de García Rovira se caracteriza por una limitada productividad y rentabilidad, debido a la baja gestión ambiental y a la escasa infraestructura disponible para agregar valor a la actividad ganadera en la región [7]. A pesar de ello, se ha registrado que la productividad láctea en la provincia de García Rovira ha superado la del departamento de Santander, siendo catalogada como la principal actividad económica de las comunidades de la provincia [53]. En este contexto, se plantea que la inclusión de herramientas tecnológicas que apoyen la toma de decisiones en la ganadería de la provincia de García Rovira podría representar una ventaja frente a las limitaciones actuales [54], incluyendo el fortalecimiento de los análisis de laboratorio en zonas lecheras caracterizadas por un gran número de pequeños productores, lo que representa una asociación significativamente favorable para mejorar la calidad de la leche cruda [46].

Conclusiones

La composición de la leche cruda producida en la provincia de García Rovira cumple con los límites establecidos por la normatividad colombiana, destacándose en los parámetros de grasa, proteína y sólidos totales. Estos resultados indican que la leche de esta región tiene el potencial de acceder a los mercados nacionales y al sistema de pago por calidad, siempre y cuando también se cumplan los estándares microbiológicos como el recuento de mesófilos. La comparación con los promedios nacionales y de la RL2 muestra que la leche de García Rovira tiene una mayor concentración de proteína, lo que podría ofrecer una ventaja competitiva, aunque el contenido de grasa y sólidos totales es menor. Estas diferencias pueden estar influenciadas por factores como la dieta y el manejo del ganado, lo que sugiere la necesidad de ajustar ciertas prácticas de producción para mejorar la calidad fisicoquímica. Los resultados subrayan la importancia de la composición de la leche en la agroindustria, especialmente

para productos derivados como quesos y yogures, donde las características nutricionales son fundamentales para satisfacer las demandas del mercado.

Los altos niveles de microorganismos mesófilos aerobios en la leche cruda producida en la provincia de García Rovira representan una limitante crítica para el acceso al sistema de pago por calidad de leche, lo cual afecta significativamente los ingresos de los pequeños ganaderos de la región. El 82 % de las muestras analizadas superan los 1 000 000 UFC/ml, lo que excede ampliamente los límites normativos y sugiere la presencia de malas prácticas de manejo, higiene deficiente durante el ordeño y la falta de infraestructura adecuada para la refrigeración. Este panorama pone en riesgo la competitividad del sector lechero de la provincia, ya que la leche de mala calidad es menospreciada por los empresarios agroindustriales, lo que genera pérdidas económicas y limita las oportunidades de comercialización. Si bien existen alternativas emergentes, como el uso de bioconservantes y aceites esenciales, su implementación efectiva requiere mayor investigación para garantizar la inocuidad y calidad del producto final sin afectar su composición nutricional. Es imprescindible, entonces, implementar medidas correctivas en la cadena de producción y mejorar las condiciones sanitarias para asegurar la sostenibilidad y viabilidad económica del sector lechero en la región.

Los elevados niveles de Recuento de Células Somáticas (RCS) en la leche cruda de la provincia de García Rovira, con un 78,86 % de las muestras superando los 300 000 RCS/ml, indican un alto grado de inflamación en las glándulas mamarias, lo que sugiere la presencia generalizada de mastitis, tanto clínica como subclínica, en el ganado lechero. Este parámetro, estrechamente relacionado con la calidad de la leche y la eficiencia en la transformación de subproductos lácteos, constituye una desventaja importante para la industria láctea de la región, ya que un RCS elevado afecta negativamente el rendimiento industrial. Aunque el RCS suele estar asociado a infecciones bacterianas, el presente estudio sugiere la posibilidad de una disbiosis intramamaria o la presencia de otros patógenos como virus, hongos o factores traumáticos.

Estos resultados resaltan la necesidad urgente de implementar estrategias de control sanitario y de capacitación en las prácticas de manejo del hato lechero, especialmente en regiones con limitaciones económicas y pequeñas unidades productivas. La participación de asociaciones y cooperativas ganaderas es crucial para mejorar el conocimiento sobre la calidad de la leche y la salud mamaria, así como para garantizar la sostenibilidad productiva y el bienestar animal. Esto permitirá enfrentar de manera integral los desafíos microbiológicos que actualmente afectan tanto la productividad como la competitividad del sector lechero en García Rovira.

La concentración de nitrógeno ureico en leche (MUN) en la provincia de García Rovira muestra valores promedio cercanos a los niveles óptimos (10 ± 2.11 mg/dL), aunque un 30,23 % de las muestras presentaron valores inferiores a 9 mg/dL, lo que sugiere posibles deficiencias en la dieta del ganado, particularmente en la relación proteína degradable-energía disponible. El monitoreo continuo del MUN es clave para identificar desequilibrios nutricionales que puedan afectar la salud y productividad de las vacas, especialmente durante los días 95 a 125 postparto. Se recomienda realizar mediciones individuales a lo largo del año para optimizar la nutrición del ganado y mejorar la calidad de la leche producida en la provincia. Además, la implementación de herramientas tecnológicas para la toma de decisiones en la gestión ganadera podría ser una solución efectiva para enfrentar las limitaciones actuales en infraestructura y productividad.

Con base a este estudio se sugiere la identificación en leche cruda de *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, neutralizantes, almidón, antibióticos, peróxidos, mohos y levaduras, enterobacterias, coliformes totales, y cloruros [55], también se considera pertinente analizar las estrategias más efectivas para mejorar la calidad de la leche en términos microbiológicos, fisicoquímicos y organolépticos en la provincia de García Rovira, y proponer un modelo de intervención que integre la apropiación social del conocimiento por parte de los ganaderos para garantizar la sostenibilidad de las mejoras en el sistema productivo, articulando el Plan de Ordenamiento Productivo para la Cadena Láctea Bovina en Colombia [56].

Referencias

- [1] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 5024:2024. Leche y productos lácteos. Norma general para el uso de términos lecheros. 2024.
- [2] OECD/FAO.OECD-FAOAgriculturalOutlook2019-2028.2019.doi:10.1787/agr_outlook-2019-en
- [3] Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 0719 de 2015, por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública. Diario Oficial n.º 49.452. 13 de marzo de 2015.
- [4] González Cárdenas AC, Samacá Prieto HA, Quintero Leal LE, Argüello Cuervo LR, Parra Camacho LF, Viveros Barrera JS, et al. Plan de Ordenamiento Productivo - Análisis Situacional de la Cadena Láctea. 2021 [citado 5 de agosto de 2024].

- [5] Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 616 de 2006, por la cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano. Diario Oficial n.º 46.196. 28 de febrero de 2006.
- [6] Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Censo Nacional Pecuario [Internet]. 2024 [citado 7 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- [7] Cárdenas MC, Patiño EG, Toloza Quintero CF. Plan de Ordenamiento Departamental Santander. Gobernación de Santander, FINDETER; 2021.
- [8] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 399:2018. Productos lácteos. Leche cruda. Requisitos. 2018.
- [9] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 000017 de 2012, por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor. Diario Oficial n.º 48.335. 20 de enero de 2012.
- [10] Asociación Española de Normalización (AENOR). UNE-EN ISO 13366-1. Leche. Recuento de células somáticas. Parte 1: Método del microscopio (Método de referencia). 2009.
- [11] Hernández-Reyes J, Bedolla-Cedeño J. Importancia del conteo de células somáticas en la calidad de la leche. REDVET. Rev Electrón Vet. 2008;IX(9):1–34. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617329004.pdf>
- [12] Muñoz MFC, Henao Velásquez AF, Múnera Bedoya OD, Herrera Ríos AC, Díaz Giraldo A, Parra Moreno AM, et al. Concentración de nitrógeno ureico en leche: Interpretación y aplicación práctica. Fondo Editorial Biogénesis. 2014;1–26. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/326014>
- [13] Hammond AC. Use of BUN and MUN as Guides for Protein and Energy Supplementation in Cattle. Rev Acta Agron. 1998;2(2):44–48. Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/171/175>
- [14] Yu Q, Wang H, Qin L, Wang T, Zhang Y, Sun Y. Interpretable machine learning reveals microbiome signatures strongly associated with dairy cow milk urea nitrogen. iScience. 2024;27(6):109955. doi:10.1016/j.isci.2024.109955
- [15] IDEAM. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá: IDEAM; 2023. Disponible en: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- [16] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). DIVIPOLA - División Político-Administrativa de Colombia: Centros Poblados. 2024. Disponible en: https://geoportal.dane.gov.co/descargas/divipola/DIVIPOLA_CentrosPoblados.xlsx
- [17] García CH, Uribe N, Peinado J, Serrano CA. Caracterización biofísica y socioeconómica de sistemas de producción para estudio epidemiológico de *Fasciola hepatica*. REDVET. Rev Electrón Vet. 2013;14(11):1–9. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111113B/111327B.pdf>
- [18] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Unidad de Seguimiento de Precios de Leche - USP. 2024. Disponible en: <https://uspleche.minagricultura.gov.co/index.html>
- [19] Leão G, Santos S, Askel E, Michelotti T, Negro G, Lopes F, et al. Feeding rumen-protected methionine during the peripartum period improved milk fat content and reduced the culling rate of Holstein cows. J Dairy Sci. 2024;107(9):6758–6770. doi:10.3168/JDS.2024-24636
- [20] Shan-shan S, Na Z, Qing-zhang L. Effect of Different Roughages on Milk Protein and Milk Fat Synthesis in Dairy Cows. J Northeast Agric Univ (Engl Ed). 2016;23(4):40–46. doi:10.1016/S1006-8104(17)30005-3
- [21] Buccioni A, Mannelli F, Daghighi M, Rapaccini S, Scicutella F, Minieri S. Influence of milk quality and cheese-making procedure on functional fatty acid transfer in three Italian dairy products: Mozzarella, Raveggiolo and Ricotta. LWT. 2022;163:113476. doi:10.1016/J.LWT.2022.113476
- [22] Li D, Cui Y, Wu X, Li J, Min F, Zhao T, et al. Graduate Student Literature Review: Network of flavor compounds formation and influence factors in yogurt. J Dairy Sci. 2024;107(11):8874–8886. doi:10.3168/JDS.2024-24875
- [23] García A, Fernández-García T. Use of thermal-treated or high-pressure treated liquid micellar casein concentrate as an ingredient to manufacture a high-protein content yogurt. Int Dairy J. 2024;148:105794. doi:10.1016/J.IDAIRYJ.2023.105794
- [24] Viquez-Barrantes D, Lau-Lee N, Cubero-Castillo E, Cordero-García M. Comparing consumer acceptance, sensory profile, and chemical properties in artisanal and industrial Greek-style yogurts. NFS J. 2023;11:100156. doi:10.1016/J.NFS.2023.100156
- [25] Bista A, Tobin JT, Kennedy D, O'Donnell CP, O'Shea N. Effect of composition and total solids content of dairy samples on acoustic transmission and impedance signals. Measurement. 2023;214:112757. doi:10.1016/J.MEASUREMENT.2023.112757

- [26] Piazenski IN, Candelário JPM, Soccol VT, Vandenberghe LPS, Pereira GVM, Soccol CR. From lab to table: The path of recombinant milk proteins in transforming dairy production. *Trends Food Sci Technol*. 2024;149:104562. doi:10.1016/J.TIFS.2024.104562
- [27] Jiménez L, Caballero-Villalobos J, Garzón A, Oliete B, Pérez-Guzmán MD, Arias R. Exploring the relationships between coagulation, composition, and hygienic quality of bulk tank milk from Manchega sheep. *Small Rumin Res*. 2023;228:107106. doi:10.1016/J.SMALLRUMRES.2023.107106
- [28] Kostovska R, Kelly AK, McDonnell R, Welch K, McAuliffe S, O'Donovan M, et al. Multispecies pasture diet and cow breed impacts on milk composition and quality in a seasonal spring-calving dairy production system. *J Dairy Sci*. 2024 Jul. doi:10.3168/JDS.2024-24975
- [29] Calderon-Rangel A, Suárez-Grisales JA, Bustamante-Yáñez MJ, Martínez-Humanez N, Palomino-Cantillo M, et al. Evaluation of Good Milking Practices (GMP) and their effect on the quality of fresh (raw) milk in small-cattle farms in Montería, Córdoba, Colombia. *Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2024;25(2):3387. doi:10.21930/rcta.vol25_num2_art:3387
- [30] Valdivia-Avila AL, Rubio-Fontanills Y, Pérez-Hernández Y, Sarmenteros-Bon I, Vega-Alfonso J, Mendoza-Rodríguez A, et al. Factores que influyen en la calidad higiénico-sanitaria de la leche en dos lecherías. *Pastos Forrajes*. 2020;43:267–74. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000400267
- [31] Gwandu SH, Nonga HE, Mdegela RH, Katakweba AS, Suleiman TS, Ryoba R. Assessment of raw cow milk quality in smallholder dairy farms in Pemba Island Zanzibar, Tanzania. *Vet Med Int*. 2018;2018(1):1031726. doi:10.1155/2018/1031726
- [32] Ogwaro BA, Gibson H, Hill DJ, O'Gara EA. Microbiological quality of typical traditional fermented milk from Northern Uganda and Western Kenya. *Dairy*. 2023;4(3):445–61. doi:10.3390/DAIRY4030030
- [33] Marioto LRM, Daniel GC, Gonzaga N, Mareze J, Tamanini R, Beloti V. Potencial deteriorante da microbiota mesófila, psicrotrófica, termodúrica e esporulada do leite cru. *Ciênc Anim Bras*. 2020;21:e-44034. doi:10.1590/1809-6891V21E-44034
- [34] Ferreira MM, Marins-Gonçalves L, De Souza D. An integrative review of analytical techniques used in food authentication: A detailed description for milk and dairy products. *Food Chem*. 2024;457:140206. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2024.140206

- [35] Silva E, Oliveira J, Silva Y, Urbano S, Sales D, Moraes E, et al. Lactoperoxidase system in the dairy industry: Challenges and opportunities. *Czech J Food Sci.* 2020;38(6):337–46. doi:10.17221/103/2020-CJFS
- [36] Souza HF, dos Santos FR, Cunha JS, Pacheco FC, Pacheco AFC, Soutelino MEM, et al. Microencapsulation to harness the antimicrobial potential of essential oils and their applicability in dairy products: A comprehensive review of the literature. *Foods.* 2024;13(14):2197. doi:10.3390/FOODS13142197
- [37] Kong F, Wang S, Dai D, Cao Z, Wang Y, Li S, et al. Preliminary investigation of the effects of rosemary extract supplementation on milk production and rumen fermentation in high-producing dairy cows. *Antioxidants.* 2022;11(9). doi:10.3390/antiox11091715
- [38] Carmo RM, Nascimento LEC, Leão PVT, Paula GH, Castro Dias MB, Fernandes PB, et al. Influence of somatic cell removal on milk quality and yield. *Beverages.* 2024;10(1). doi:10.3390/BEVERAGES10010005
- [39] Kadriu G, Trajkovska B. Determination of raw milk quality by total bacterial count and somatic cell count in different regions in Republic of Kosovo. *Agric For.* 2023;69(2):237–44. doi:10.17707/AGRICULTFOREST.69.2.19
- [40] Wickström E, Persson-Waller K, Lindmark-Månsson H, Östensson K, Sternesjö Å. Relationship between somatic cell count, polymorphonuclear leucocyte count and quality parameters in bovine bulk tank milk. *J Dairy Res.* 2009;76(2):195–201. doi:10.1017/S0022029909003926
- [41] Hisira V, Zigo F, Kadaši M, Klein R, Farkašová Z, Vargová M, et al. Comparative analysis of methods for somatic cell counting in cow's milk and relationship between somatic cell count and occurrence of intramammary bacteria. *Vet Sci.* 2023;10(7). doi:10.3390/VETSCI10070468
- [42] Cortinhas CS, Fidelis CE, Sharma N, dos Santos MV. The association between socioeconomic profiles, attitudes, and knowledge of dairy farmers regarding somatic cell count and milk quality. *Animals.* 2023;13(17). doi:10.3390/ANI13172787
- [43] Liu J, Liu H, Cao G, Cui Y, Wang H, Chen X, et al. Microbiota characterization of the cow mammary gland microenvironment and its association with somatic cell count. *Vet Sci.* 2023;10(12). doi:10.3390/VETSCI10120699
- [44] Neculai-Valeanu AS, Arifton AM. Udder health monitoring for prevention of bovine mastitis and improvement of milk quality. *Bioengineering.* 2022;9(11). doi:10.3390/BIOENGINEERING9110608

- [45] Suárez GJ, Pomarez JV, Rangel AC, Rodríguez VR, Angulo LM, Garay OV. Raw milk quality in northwestern Colombia. *Rev Colomb Cienc Pecuarias*. 2016;29(3):210–7. doi:10.17533/UDEA.RCCPV29N3A06
- [46] Fadillah A, van den Borne BHP, Poetri ON, Hogeveen H, Umberger W, Hetherington J, et al. Smallholder milk-quality awareness in Indonesian dairy farms. *J Dairy Sci*. 2023;106(11):7965–73. doi:10.3168/JDS.2023-23267
- [47] Hettinga K, Vitte K. Cattle claw lesions and their impact on lameness and production [Internet]. Lithuania: ProQuest; 2023. Disponible en: <https://www.proquest.com/dissertations-theses/cattle-claw-lesions-their-impact-on-lameness/docview/3098805022/se-2?accountid=29068>
- [48] Mahecha L, Angulo J, Salazar B, Cerón M, Gallo J, Molina CH, et al. Supplementation with bypass fat in silvopastoral systems diminishes the ratio of milk saturated/unsaturated fatty acids. *Trop Anim Health Prod*. 2008;40(3):209–16. doi:10.1007/S11250-007-9082-5
- [49] Boujenane I. Non-genetic effects on daily milk yield and components of Holstein cows in Morocco. *Trop Anim Health Prod*. 2021. doi:10.1007/s11250-021-02663-w
- [50] Molina-Botero IC, Gaviria-Urbe X, Rios-Betancur JP, Medina-Campuzano M, Toro-Trujillo M, González-Quintero R, et al. Methane Emission, Carbon Footprint and Productivity of Specialized Dairy Cows Supplemented with Bitter Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Animals*. 2024;14(1). doi:10.3390/ANI14010019
- [51] Hanuš O, Kučera J, Samková E, Němečková I, Čítek J, Kopec T, et al. Raw cow milk protein stability under natural and technological conditions of environment by analysis of variance. *Foods*. 2021;10(9). doi:10.3390/FOODS10092017
- [52] Ágredo-Campos ÁS, Fernández-Silva JA, Ramírez-Vásquez NF. *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Klebsiella* spp. prevalence in bulk tank milk of Colombian herds and associated milking practices. *Vet World*. 2023;16(4):869–81. doi:10.14202/VETWORLD.2023.869-881
- [53] Llanez-Anaya HF. Desarrollo local en la provincia de García Rovira: análisis y propuesta para la implementación de una agencia de desarrollo local. *Estrategias*. 2013;11(21):15. doi:10.16925/es.v11i21.680
- [54] Rodríguez Rodríguez OJ, Luna Gómez MA. Dinámica de sistemas aplicada a la toma de decisiones en la producción y comercialización pecuaria de Santander (Colombia). Un caso de aplicación en un hato ganadero de la provincia de García Rovira [Internet]. 2020 [citado 5 ago 2024]. Disponible en: https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/12083/2020_Tesis_Olga_Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [55] Salazar Beleño AM, Pacheco Valderrama MM, Ortiz Araque LC, Carreño Castaño LA, Montesinos Rincón SM, Paz Díaz HJ. Aprovechamiento de subproductos agroindustriales para la obtención de polímeros para un potencial empaque alimentario. [Artículo sin datos de publicación disponibles].
- [56] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 00160 de 2022, por la cual se adopta el Plan de Ordenamiento Productivo para la Cadena Láctea Bovina en Colombia y se dictan otras disposiciones. República de Colombia; 2022.