

Características composicionales y microbiológicas de la leche de vaca en sistemas de doble propósito del Piedemonte Llanero, Colombia

Compositional and microbiological characteristics of cow's milk in dual-purpose systems in the Piedemonte Llanero, Colombia

Jaime Anibal Rosero Alpala¹ ; Wilson David Rangel¹ ; David A Gomez-Beltran^{1*} .

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia.

*Correspondencia: dagomez@agrosavia.co

Recepción: 18 julio 2024 | Aprobación: 20 diciembre 2024 | Publicación: 1 febrero 2025

RESUMEN

Objetivo. Evaluar el estado productivo, composicional e higiénico-sanitario de la leche de vaca en sistemas de producción de doble propósito en seis municipios del Piedemonte Llanero, Colombia. **Materiales y métodos.** Se realizó un estudio descriptivo en siete fincas de los municipios de Mesetas, San Juan de Arama, Castilla La Nueva, Acacías, Villavicencio y Cumaral. Se tomaron muestras de leche directamente del balde de ordeño y se analizaron en laboratorios especializados. Los análisis incluyeron la composición fisicoquímica de la leche y el recuento de microorganismos aerobios mesófilos y células somáticas. También se evaluó la condición sanitaria de la ubre mediante el California Mastitis Test (CMT). **Resultados.** Los sólidos no grasos (SNG) promediaron 8.06%, la proteína 3.44%, y la lactosa 4.03%. El 58.2% de las ubres evaluadas estaban sanas, mientras que el 28.8% mostró algún grado de mastitis subclínica. El 69.6% de las muestras de leche presentó un recuento de células somáticas menor a 200 RCS/mL, indicando buena sanidad de la ubre. En cuanto a la calidad microbiológica, el 57.7% de las muestras tuvo un recuento de bacterias mesófilas aerobias inferior a 5,000 UFC/mL. **Conclusiones.** La calidad composicional y microbiológica de la leche en los hatos evaluados está dentro de los parámetros aceptables para la industria y el consumo humano. El monitoreo continuo de estos parámetros, junto con la implementación de buenas prácticas de ordeño, puede mejorar la calidad de la leche y la salud pública en la región del Piedemonte Llanero.

Palabras clave: Calidad; higiene de la leche; ordeño; composición de la leche; mastitis; Piedemonte Llanero.

ABSTRACT

Objective. To evaluate the productive, compositional, and hygienic-sanitary status of cow's milk in dual-purpose production systems in six municipalities of the Piedemonte Llanero, Colombia. **Materials and methods.** A descriptive study was conducted on seven farms in the municipalities of Mesetas, San Juan de Arama, Castilla La Nueva, Acacías, Villavicencio, and Cumaral. Milk samples were taken directly from the milking bucket and analyzed in specialized laboratories. Analyses included the physicochemical composition of the milk and the count of mesophilic aerobic microorganisms and somatic cells. The sanitary condition of the udder was also evaluated using the California Mastitis Test (CMT). **Results.** Non-fat solids (NFS) averaged 8.06%, protein 3.44%, and lactose 4.03%. Of the udders evaluated, 58.2% were healthy, while 28.8% showed some degree of subclinical mastitis. 69.6% of the milk samples had a somatic cell count below 200 RCS/mL, indicating good udder health. Regarding microbiological quality, 57.7% of the samples had a mesophilic aerobic bacteria count below 5,000 CFU/mL. **Conclusions.** The compositional and microbiological quality of milk in the evaluated herds is within acceptable parameters for the industry and human consumption. Continuous monitoring of these parameters, along with the implementation of good milking practices, can improve milk quality and public health in the Piedemonte Llanero region.

Keywords: Quality; milk hygiene; milking; milk composition; mastitis; Piedemonte Llanero.

Como citar (Vancouver).

Rosero AJA, Rangel WD, Gomez-Beltran DA. Características composicionales y microbiológicas de la leche de vaca en sistemas de doble propósito del Piedemonte Llanero, Colombia. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia. 2025; 17(1):e1083. <https://doi.org/10.24188/recia.v17.n1.2025.1083>

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera es crucial para el avance sostenible de la agricultura, influyendo directamente en aspectos como la seguridad alimentaria, la nutrición, la mitigación de la pobreza y el avance económico (1). Colombia, siendo el cuarto mayor productor de carne bovina en Latinoamérica en 2022, solo superado por Brasil, Argentina y México, quienes ocuparon el segundo, sexto y séptimo lugar respectivamente (2), juega un papel vital en el PIB nacional. Datos del Instituto Nacional Agropecuario revelan que en 2019, los departamentos con mayor producción ganadera fueron Antioquia con un total de 2'890.467 cabezas de ganado, seguido por Córdoba con 2'058.009, Casanare con 1'951.243, Meta con 1'850.270, Santander con 1'518.590 y Cesar con 1'381.916 (2).

Dentro de este sistema de producción pecuaria, la industria lechera es una actividad principal, teniendo una participación del 40% en producción especializada y un 60% de doble propósito (3). En el año 2018, los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Córdoba, Boyacá, Magdalena, Cesar, Nariño, Meta, Santander y Sucre fueron los principales contribuyentes a la producción láctea en Colombia, alcanzando un total de 20,159,014 litros diarios. Esta producción significativa resalta la importancia de estas regiones en el sector lechero del país, a pesar de los desafíos climáticos que afectan la producción de forrajes y, consecuentemente, la producción de leche y carne (4).

Estos departamentos tienen una mayor importancia en la cría de ganado para sacrificio y una menor en la lechería. Sin embargo, se ha generado una pequeña tendencia al incremento en el acopio de leche cruda, considerando una mejora en la calidad de la leche en la región (5). Además, es relevante destacar los esfuerzos recientes en la implementación de prácticas sostenibles de manejo ganadero, que no solo buscan aumentar la producción sino también mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia del uso de recursos en estas áreas (6).

La calidad de la leche se puede comprender mediante dos referentes principales: composicional (composición fisicoquímica) e higiénico-sanitario (contenido microbiano). A través de estos parámetros, la calidad comercial de la leche puede ser evaluada, generando respuestas al grado de cumplimiento de las necesidades nutricionales (7). A pesar de que en Colombia existe una normativa que regula el pago por calidad, los productores aún no priorizan estos factores. Su esfuerzo se centra en una mayor producción de leche por animal/día, y dejan de lado parámetros como el sanitario, aspecto importante para la salud del consumidor (8). Según el Decreto 1880 de 2011 y con el propósito de garantizar la calidad de la leche y la protección de la salud de la población, se definieron unos requisitos para el cumplimiento en la comercialización y consumo en el territorio nacional. De esta manera, la leche debe contener como mínimo 2,9% de proteína, 3% de grasa, 11,3% de sólidos totales y un máximo de 700.000 UFC/ml en el recuento de mesófilos aerobios (9;10). Por esta razón, conocer la calidad de la leche exigiendo el cumplimiento de indicadores de composición, calidad higiénico-sanitaria y tecnificar la producción primaria es fundamental (11).

El objetivo de este estudio fue la evaluación del estado composicional e higiénico-sanitario de la leche de vaca bajo el sistema productivo de doble propósito con la intención de sentar las bases para el desarrollo de estrategias para mejorar la calidad láctea en el piedemonte llanero del departamento del Meta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio. Se diseñó un estudio descriptivo cuyas unidades observacionales fueron los predios productores de leche en seis municipios del Piedemonte Llanero, departamento del Meta, Colombia. Además, contó con una fase de campo y análisis de laboratorio. Este enfoque permitió caracterizar y evaluar las propiedades composicionales y microbiológicas de la leche de vaca en los sistemas de producción de doble propósito, así como las condiciones higiénico-sanitarias de la producción en la región del Piedemonte Llanero del departamento del Meta.

Selección de predios. Se seleccionaron en total siete fincas productoras en los municipios en el Tabla 1, que participaron libremente en este estudio. Se implementaron tres rutas para el seguimiento y muestreo de animales en municipios que forman parte del piedemonte llanero, en el departamento del Meta. A cada hato se le realizó una encuesta para determinar datos demográficos, de manejo e indicadores productivos y sanitarios.

Tabla 1. Distribución de Fincas Productoras en Municipios del Piedemonte Llanero (Meta) Participantes en el Estudio.

Municipio	Finca
Mesetas	MES
San Juan de Arama	SJA
Castilla La Nueva	CLN
Acacias	ACA
Villavicencio	VLL
Cumaral	CUM1
Cumaral	CUM2

Toma de muestras. Se extrajo leche de las vacas, utilizando métodos manuales o mecánicos según las características específicas de cada hato. Inmediatamente después del ordeño, se recolectaron cuidadosamente 50 ml de leche de cada vaca directamente del recipiente de ordeño. Este procedimiento se alineó con la Norma ISO 707:2008, que estipula directrices para el muestreo de leche y productos lácteos. Entre 2018 y 2019, se realizaron cinco sesiones de muestreo con intervalos de 60 días. Posteriormente, las muestras se mantuvieron refrigeradas a una temperatura de 1-6°C durante el transporte a los laboratorios del Centro de Investigación La Libertad y Tibaitatá, donde se procesaron dentro de las primeras 24 horas tras la recolección para garantizar la integridad de los datos.

Análisis de laboratorio. Se llevaron a cabo análisis de microorganismos aerobios mesófilos y de células somáticas. Para el Recuento de Células Somáticas (RCS) por mililitro y el análisis de microorganismos aerobios mesófilos, medidos en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), se utilizó tecnología de citometría de flujo mediante equipos específicos: el sistema óptico portátil DeLaval® para el RCS y el BactoScan FOSS FC+® para los microorganismos mesófilos. Todos los procedimientos, desde el manejo de muestras hasta la preparación de reactivos, se ajustaron a los protocolos estándar del laboratorio y a las directrices proporcionadas por los fabricantes. Además, el conteo de coliformes totales (UFC/ml) se efectuó utilizando el método de placas con Petrifilm de 3M®.

El análisis composicional se llevó a cabo mediante un auto-analizador de leche Ekomil, el cual utiliza el ultrasonido para determinar las concentraciones porcentuales de grasa, sólidos no grasos (SNG), proteína y lactosa, datos registrados directamente el día de toma de muestra en las fincas seleccionadas. Como control negativo se utilizó agua destilada, desmineralizada y desionizada ajustando la calibración cuando había desvíos en los porcentajes de composición.

Evaluación Sanitaria de la Ubre. Se evaluó la condición sanitaria de la ubre realizando la prueba de California Mastitis Test (CMT) según Ferronato et al (12). Después de limpiar la ubre y descartar el primer chorro de leche, se tomó una muestra de leche de cada cuarto mamario, la cual fue depositada directamente en la paleta para CMT, marcada según el cuarto correspondiente (13) clasificando los resultados según la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de Resultados del California Mastitis Test (CMT).

Tipo	Descripción
Negativo	La mezcla reactiva/leche no cambia de consistencia y presenta un color azul pálido.
Grado 1	La mezcla reactiva/leche cambia de consistencia de líquida a ligeramente viscosa, sin moco, y con un color azul intenso.
Grado 2	La mezcla reactiva/leche cambia de consistencia de líquida a viscosa con moco y presenta un color azul intenso o violeta.
Grado 3	La mezcla reactiva/leche cambia de consistencia a muy viscosa, con moco denso que se adhiere al fondo de la paleta y un color generalmente violeta intenso, ocasionalmente amarillo verdoso.

Finalmente, y teniendo en cuenta la cantidad de pezones afectados según los resultados de la lectura de CMT, se realizaron cuatro clasificaciones:

Clasificación Sana: ningún pezón afectado.

Clasificación A: la sumatoria de los grados en los cuatro pezones resulta entre 1-4.

Clasificación B: la sumatoria de los grados en los cuatro pezones resulta entre 5-8.

Clasificación C: la sumatoria de los grados en los cuatro pezones resulta entre 9-12.

RESULTADOS

Calidad composicional. Los Sólidos No Grasos (SNG) tuvieron un valor promedio de 8.06%, la proteína promedio de 3.44% y lactosa un promedio de 4.03% (Tabla 3). Debido a la alta variabilidad en los porcentajes de grasa, asociados las limitaciones que representa tomar muestras durante el ordeño mecánico.

La de variación para los contenidos nutricionales de la leche entre hatos fue relativamente baja entre los hatos evaluados, los porcentajes de los contenidos anterior mencionados por hato se pueden observar en la tabla 3.

Condición sanitaria de la ubre. Se realizó el monitoreo periódico de la condición sanitaria de la ubre. Para ello, se evaluaron 344 muestras de leche mediante el uso de la técnica CMT propuesta por Jm S et al (15) y mediante recuento de células somáticas (RCS/ml).

Para el análisis de la lectura de CMT se realizaron agrupaciones de acuerdo con el grado de afectación en los cuatro pezones, determinado rangos para establecer su afectación en la salud de la ubre descrita en materiales y métodos

Tabla 3. Promedio y desviación estándar para los contenidos nutricionales de la leche en los hatos doble propósito muestreados.

IDENTIFICACIÓN	SNG g/L %	PROTEINA g/L %	LACTOSA g/L%
	\bar{x} (SD)	\bar{x} (SD)	\bar{x} (SD)
SJA	8,21 ± 0,48	3,51 ± 0,17	4,12 ± 0,18
CLN	7,87 ± 0,25	3,37 ± 0,09	3,93 ± 0,14
CUM1	8,39 ± 0,87	3,57 ± 0,33	4,20 ± 0,46
ACA	8,05 ± 0,53	3,44 ± 0,19	4,01 ± 0,30
VLL	8,21 ± 0,42	3,49 ± 0,16	4,11 ± 0,23
MES	8,17 ± 0,21	3,47 ± 0,07	4,10 ± 0,13
CUM2	7,65 ± 0,07	3,26 ± 0,04	3,79 ± 0,05
Promedio	8,06 ± 0,40	3,44 ± 0,15	4,03 ± 0,21

*Valores de referencia: SNG (9.2-8.4 %); PROTEINA (3.2-3.3 %); LACTOSA (5.2-5.3) valores tomados de Calderón, A. et al (14) y datos no publicados de J.L.P. Arango, del trabajo titulado 'Caracterización nutricional, perfil lipídico y buenas prácticas ganaderas para mejorar la calidad de la leche cruda del Piedemonte Llanero para la industria.** la unidades expresadas g/L

Para el total de fincas evaluadas se encontró que el 58.2% de las ubres se encontraba en estado sano, no obstante, un 28.8% se encontró en rango A es decir al menos un pezón tenía grado 1 para CMT, el porcentaje de ubres con grados superiores a 2 y 3 en al menos 2 pezones fue 12.7%. La distribución de los porcentajes por cada rango por cada hato evaluado se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Intensidad de mastitis subclínica en proporción (%) de pezones afectados en vacas de los hatos evaluados.

Clasificación*	ACA	CUM1	VLL	MES	CUM2	SJA	CLN	Total
A	29,1	32,4	25,0	28,3	17,5	31,6	29,2	28,8
B	3,6	29,7	0,0	2,2	9,3	8,8	2,1	7,4
C	1,8	16,2	0,0	0,0	16,3	5,3	4,2	5,3
SANA	65,5	21,6	75,0	69,6	51,2	54,4	64,6	58,2

*Sana= Ningún pezón afectado, A de 1- 4 donde entre 1 a 4 pezones tiene grado 1(o donde cualquier otra combinación no supere a 4 en la sumatoria). Para el caso de B donde cualquier sumatoria de los grados resulte entre 5-8. Para el caso de C donde la sumatoria de los grados resulte entre 9-12.

Para el recuento de células somáticas (RCS/ml), se encontró que un 69.6% de la leche de las vacas evaluadas se encontraba en el rango de 0-200 RCS/mL (Tabla 5), lo que se considera una glándula mamaria sana y se relaciona efectivamente los resultados obtenidos con la prueba de CMT (Tabla 4). Solo un 10.8% (201-400 RCS/mL) y 14.7% (401-1200 RCS/mL) (Tabla 5) estuvo asociado a la clasificación A de prueba de CMT (Tabla 4). Para este estudio únicamente en CUM1 se encontró un 22.2% para recuentos en el rango de 1201-5000 RCS/mL, y confirmo lo determinado con la prueba de CMT. Estos valores podrían estar asociados a una deficiente rutina de ordeño y bajo nivel de control de mastitis subclínica en el hato.

Tabla 5. Proporción (%) de animales por rangos para conteo de células somáticas (RCS/mL) en vacas de los hatos evaluados.

Rangos	ACA	CUM1	VLL	MES	CUM2	SJA	CLN	Total
0-200	75	18,5	50	86,2	56,5	76,5	87	69,6
201-400	20,8	7,4	50	9,2	0	14,7	0	10,8
401-1200	4,2	51,9	0	4,6	34,8	5,9	8,7	14,7
1201-5000	0	22,2	0	0	8,7	2,9	4,3	4,9

Calidad microbiológica. Se analizaron 137 muestras de leche cruda para bacterias mesófilas en los hatos evaluados. Se distribuyeron en 5 intervalos de clase para recuento de bacterias mesófilos aerobios. Un total de 57.7% de las muestras presentó un valor de UFC/mL inferior a 5.000 UFC/mL, En este estudio la mayoría de los hatos presentó valores inferiores a 100.000 UFC/mL como se observa en la Tabla 6. No obstante, en el ACA el 100% de las muestras estuvieron por encima de los 20.000 UFC/mL.

Tabla 6. Proporción (%) de muestras distribuidas en rangos para recuentos de bacterias mesófilos aerobios (UFC/mL*) en los hatos evaluados.

Rangos UFC/mL	ACA	CUM1	MES	CUM2	SJA	CLN	Total
<5000	0,0	30,0	79,4	69,0	75,7	6,7	57,7
5001-10000	0,0	20,0	8,8	10,3	18,9	6,7	11,7
10001-15000	0,0	20,0	2,9	6,9	2,7	20,0	6,6
15001-20000	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,7
>20001	100,0	30,0	5,9	13,8	2,7	66,7	23,4

*Unidades formadoras de colonias de bacterias mesófilos aeróbicos /mL

** VLL no se tomó este indicador por el reducido número de animales en lactancia.

Se evaluaron 93 muestras de leche cruda para coliformes totales en los hatos evaluados. Por la alta variabilidad de los datos se distribuyeron en 3 intervalos de clase para recuento de coliformes totales (Tabla 7). El 40,9% de las muestras presentó un valor superior a las 100 UFC/mL pero este valor afectado principalmente por las muestras tomadas en ACA donde el 100% de las muestras estuvo por encima del rango considerado regular. Recuentos superiores a 100 UFC/mL se consideran de regulares a deficientes sin embargo un 19,4% del total de las fincas está en un rango inferior a 10 UFC/mL siendo este valor considerado como excelente. Un restante 39,8% resultó en un intervalo considerado como bueno, como se observa tabla 3. Los resultados obtenidos en ACA en particular podrían estar asociados en inadecuados hábitos de ordeño y deficientes instalaciones del corral, lo que estuvo confirmado la baja calidad mediante las estimaciones de recuentos de bacterias mesófilos aerobios (Tabla 2).

Tabla 7. Proporción (%) de animales por rangos para recuentos de Coliformes totales (UFC/mL*) en los hatos evaluados.

Rangos	ACA	CUM1	MES	CUM2	SJA	CLN	Total
<10	0,0	40,0	21,1	20,0	31,8	0,0	19,4
11-100	0,0	60,0	52,6	60,0	45,5	13,3	39,8
>101	100,0	0,0	26,3	20,0	22,7	86,7	40,9

*Unidades formadoras de colonias de bacterias mesófilos aeróbicos /mL

DISCUSIÓN

La leche bovina es muy importante para la seguridad alimentaria y económica del país (16). Así, debe cumplir con requisitos mínimos para garantizar la salud humana, sea como producto final o en sus subproductos. Estos requisitos incluyen controles estrictos de calidad higiénico-sanitaria, composicional y microbiológica, asegurando que tanto la leche como sus derivados sean seguros para el consumo humano y contribuyan de manera positiva a la nutrición de la población.

La evaluación de la leche bovina en sistemas de doble propósito del Piedemonte Llanero, Meta, Colombia, realizada en este trabajo ha dado información importante sobre su calidad composicional y microbiológica. Los resultados indican que, en promedio, los sólidos no grasos (SNG) fueron del 8,06%, la proteína del 3,44% y la lactosa del 4,03%. Estos valores están dentro de los rangos aceptables para la industria láctea (17), aunque los SNG estuvieron ligeramente por debajo de los valores de referencia reportados por Calderón et al (18).

La evaluación sanitaria de la ubre mostró que el 58% de las vacas evaluadas estaban sanas, mientras que el 42% presentaba algún grado de infección en los pezones. Esto se correlaciona con el análisis microbiológico, que reflejó la necesidad de mejorar las prácticas higiénicas en el manejo de los operarios, las fincas y el almacenamiento de la leche durante el ordeño. Las fincas requieren tener un mayor control en el uso estricto de las buenas prácticas ganaderas para mejorar la productividad y competitividad con otras regiones (21).

El análisis microbiológico reveló que el 57,7% de las muestras tenía un recuento de bacterias mesófilas aerobias inferior a 5.000 UFC/mL, lo que indica una buena calidad microbiológica en general. Sin embargo, las fincas ACA y CLN presentaron valores significativamente superiores, con el 100% y el 67% de las muestras, respectivamente, superando los 20.001 UFC/mL. Esto sugiere problemas específicos en el manejo de la higiene y el almacenamiento de la leche en estas fincas. La calidad microbiológica de la leche cruda es afectada por factores como el manejo higiénico del ordeño y la temperatura del ambiente, siendo el manejo de ordeño uno de los impactos más importantes para la afectación de calidad (19).

En cuanto al recuento de células somáticas, el 69,6% de las muestras estuvo por debajo de 200 RCS/mL, indicando una buena salud de la ubre en la mayoría de los casos. No obstante, la finca CUM1 presentó un 22,2% de muestras en el rango de 1201-5000 RCS/mL, lo que sugiere problemas de mastitis subclínica y posibles deficiencias en las rutinas de ordeño y manejo de la salud de la ubre. Finalmente, el recuento de células somáticas para este estudio únicamente en CUM1 se encontró un 22,2% para recuentos en el rango de 1201-5000 RCS/ml, y confirmó lo determinado con la prueba de CMT. Estos valores podrían estar asociados a una deficiente rutina de ordeño y bajo nivel de control de mastitis subclínica en el hato.

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la importancia de la implementación de buenas prácticas de ordeño y manejo de la salud de la ubre para mejorar la calidad de la leche. Las fincas deben enfocarse en la capacitación continua de los operarios en técnicas de ordeño higiénico, el mantenimiento regular del equipo de ordeño y la implementación de programas de monitoreo de la salud de la ubre. Teniendo en cuenta estos resultados y las visitas realizadas en las diferentes rutas establecidas para el Piedemonte Llanero, se puede inferir la falta en la implementación de protocolos de buenas prácticas de ordeño como el lavado y la desinfección de pezones para minimizar las cargas bacterianas (18), siendo el hombre la herramienta fundamental para dicho control ya que es un producto interactivo entre animal, medioambiente y microorganismos (20).

En conclusión, la calidad composicional y microbiológica de la leche en los hatos evaluados está dentro de los parámetros aceptables para la industria y el consumo humano. Sin embargo, la implementación de buenas prácticas ganaderas es crucial para mejorar aún más estos indicadores. La vigilancia continua y el monitoreo de la calidad de la leche pueden desempeñar un papel vital en la producción y la salud pública, asegurando que los productos lácteos sean seguros y de alta calidad para los consumidores. Es importante extender estos tipos de estudios para fortalecer un sistema de seguimiento de parámetros productivos, de calidad láctea y sanidad de la ubre, con el fin de desarrollar una estrategia integral para el manejo y orientación de bovinos de doble propósito en el Piedemonte Llanero.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA por el apoyo de recursos económicos y técnicos para el desarrollo de esta investigación y a los productores del sistema bovino doble propósito del Meta que hicieron parte de esta investigación por permitir obtener las muestras de leche y facilitar la información requerida para el desarrollo de esta.

Conflicto de intereses

Los autores certifican la no existencia de intereses en el presente trabajo.

Financiación

Este artículo fue financiado en el marco del proyecto de investigación “Estrategias integrales y participativas de fortalecimiento tecnológico del sistema bovino doble propósito del piedemonte llanero (Fase 1)”, desarrollado en la agenda de investigación de AGROSAVIA.

Contribución de los autores

J.A.R.A: Supervisión general, diseño del estudio y revisión crítica del manuscrito. W.D.R.G: Coordinación de la toma de muestras y análisis de datos. D.A.G.B.: Análisis de resultados y redacción principal del texto. Todos los autores contribuyeron significativamente al trabajo y aprobaron la versión final del manuscrito. Asimismo, participaron en la revisión y corrección final del texto.

REFERENCIAS

1. FAO. La ganadería y el medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2020. <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>
2. FEDEGAN. Inventario Ganadero de Potencias Ganaderas FAO (Para Colombia Información ICA -FEDEGAN/FNG). FEDEGAN: Colombia; 2023 <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>
3. Barrios Hernández D, Olivera Ángel M. Análisis de la competitividad del sector lechero: caso aplicado al norte de Antioquia, Colombia. Innovar. 2013;23(48):33-41. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/73628>.
4. Tapasco J, Martínez J, Calderón S, Romero G, Ordóñez DA, Álvarez A, et al. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 254, Washington D.C.; 2015. <https://doi.org/10.18235/0000131>
5. Molina-Benavides R, Bustamante ZC, Martínez A, Uribe CJ, Redondo OJ. Caracterización espacial de la ganadería bovina en la Orinoquia colombiana. Rev MVZ Córdoba. 2020;25(3). <https://doi.org/10.21897/rmvz.1720>
6. Ortiz-Valdes C, Barajas-Pardo DP, Velásquez-Penagos JH, Rangel-García WD, Neira-Rivera E, Velásquez-Penagos JG. Estudio técnico-económico de tres alternativas de producción del sistema doble propósito bovino en Meta, Colombia. Agronomía Mesoamericana. 2023;34(3). <https://doi.org/10.15517/am.2023.51254>

7. Martínez MM, Gómez CA. Calidad composicional e higiénica de la leche cruda recibida en industrias lácteas de Sucre, Colombia. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2013;11(2):93-100. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/309/506>
8. Lima Rodríguez C, Jurado-Gómez H, Pazos-Moncayo A. Evaluación de calidad composicional, sanitaria y microbiológica de la leche en el municipio de Sapuyes, departamento de Nariño, en el año 2021. *Salud UIS*. 2022;54. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.54.e:22049>
9. Ministerio de Protección Social. Decreto 616 de 2006. 2006; Bogotá, D.C. <https://www.ica.gov.co/getattachment/15425e0f-81fb-4111-b215-63e61e9e9130/2006d616.aspx>
10. Ministerio de Protección social. Decreto Número 1880 de 2011. 2011 Bogotá, D.C. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-nacionales/decretos/2011>
11. Contero R, Requelme N, Cachipiendo C, Acurio D. Calidad de la leche cruda y sistema de pago por calidad en el Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 2021 Mar 1;33(1):31-43. doi: [10.17163/lgr.n33.2021.03](https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.03).
12. Ferronato JA, Ferronato TC, Schneider M, Pessoa LF, Blagitz MG, Heinemann MB, et al. Diagnosing mastitis in early lactation: use of Somaticell®, California mastitis test and somatic cell count. *Italian Journal of Animal Science*. 2018; 17(3):723-729. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1426394>
13. Escalante MCB. Determinación de la sensibilidad de Streptococcus spp A antimicrobianos en vacas lactantes positivas a California mastitis test en tambos del Departamento Cordillera, Paraguay. *Ciencia Veterinaria*. 2019; 21(2):13-28. <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/veterinaria/article/view/4275/4997>
14. Calderón A, Rodríguez V, Arrieta G, Martínez N, Vergara O. Calidad fisicoquímica y microbiológica de leches crudas en empresas ganaderas del sistema doble propósito en Montería (Córdoba). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 2012;15(2):399-407. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.841>
15. Jm S, Ke L, Je S, Bj P, Gh L. Sensitivity and specificity of somatic cell count and California Mastitis Test for identifying intramammary infection in early lactation. *J Dairy Sci*. 2001; 84(9):2018-2024. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)74645-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)74645-0)
16. Peralta-Torres JA, Hernández-Hernández M, López-Segovia N, Boldo-León XM, Trujillo-Castillo LF, Quiñonez-Díaz LJ, et al. Estudio comparativo de calidad higiénico-sanitaria, fisicoquímica y microbiológica de leche bovina en el sureste mexicano. *Revista MVZ Córdoba*. 2021; 26(3):e2106-e2106. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2106>
17. Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con Tithonia diversifolia1. *Agronomía Mesoamericana*. 2017; 28(2):357-370. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>
18. Calderón A, Rodríguez V, Arrieta G, Martínez N, Vergara O. Calidad fisicoquímica y microbiológica de leches crudas en empresas ganaderas del sistema doble propósito en Montería (Córdoba). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2012; 15(2):399-407. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.841>
19. María D, Rojas-Ronquillo R, Cruz-Bautista E, Iliana D, Daniel I, Miguel Á, et al. Determinación de la calidad microbiológica de la leche cruda de vaca durante la temporada invernal en Tuxpan, Veracruz. 2014. <https://doi.org/10.13140/2.1.1624.4163>
20. Alfonso-Insua D, León-Gómez N, Pérez-García C, Kent Ruiz-Gil A, Álvarez-Herrera I. Comportamiento de la mastitis bovina en hatos lecheros del sector campesino de la provincia Villa Clara, Cuba. *Rev. Salud Anim*. [Disponible en: <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RSA/article/view/1117>
21. Pinzón SM, Correal WA, Cerinza OJ, Rodríguez NP, Rojas Barreto A, Parra Arango JL. Buenas prácticas de ordeño manual para mejorar la calidad de la leche. [Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA; 2006. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2151>