



CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA Y SALUD DE LA UBRE EN EL NORTE DE ANTIOQUIA, COLOMBIA †

[CHARACTERIZATION OF DAIRY PRODUCTION SYSTEMS AND UDDER HEALTH IN NORTH ANTIOQUIA, COLOMBIA]

Richard Zapata-Salas^{1*}, José F. Guarín² and Leonardo A. Ríos-Osorio¹

¹ Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Salud y Sostenibilidad, Grupo de Investigación en Microbiología Veterinaria, calle 67 #53-108 Medellín, Antioquia, Colombia. E-mail: richard.zapata@udea.edu.co*, leonardo.rios@udea.edu.co

² Facultad de Ciencias agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias, Calle 73 #73^a-79 Medellín, Antioquia, Colombia. E-mail: fernando.guarin@udea.edu.co

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The sociodemographic characterization of milk producers allows knowing their particular conditions in terms of social, political and economic structure through indicators that describe them as social actors, interaction networks, conflict situations and events related to milk production. **Objective:** To characterize the diversity of dairy production systems in Northern Antioquia with a focus on the producer, the farms, access to services and their impact on the biological indicators of udder health. **Methodology:** A cross-sectional study was designed that including 216 milk producers within distributed in 9 dairy municipalities in northern Antioquia. Surveys to characterize the producer, the farm and access to services for health and milk production were carried out. As biological indicators of udder health, the annual averages of bulk tank somatic cell counts (BTSCC) and colony-forming units (CFU) of each farm were analyzed. Statistical analyzes were performed with SPSS version 25.0 and a $p < 0.05$. **Results:** The biological indicators of udder health in the studied farms presented poor sanitary quality according to the BTSCC for 67 % of the producers and poor hygienic quality with CFU in for 22 % of the participating farms. Briceño producers showed the lowest production in contrast to Santa Rosa de Osos milk producers, who have the highest production. In the linear regression models, 18.2 % of the BTSCC was explained by the location in relation to the municipality, the size of the production system and the type of milking. The CFU values were explained in 29.8 % by the municipality, the cooperative association or livestock association, the milk storage system, the offer of laboratory services for milk and cows, the area of the farm dedicated to grazing, the number of animals on the farm and the average daily production per cow. **Implications:** This study shows the importance of understanding udder health issues not only at the cow level from a biomedical approach. The understanding of udder health from the farm in the sociodemographic context shows that its location, access to services, technology, education and associativity establish opportunities to improve production and competitiveness of milk production. **Conclusions:** udder health can be positively or negatively affected by the location of the production system, the size of the production system, the type of milking, the association to a cooperative or livestock association, the milk storage system, the supply of laboratory services for milk and cows, the area of the farm dedicated to grazing, the number of animals on the farm and the average daily production per cow. To consider these variables is fundamental in decision-making in mastitis control and preventive care for udder health. **Key words:** Udder health; hygienic-sanitary indicators; sociodemographic characterization; milk producer; dairy production system.

RESUMEN

Antecedentes: La caracterización sociodemográfica de los productores de leche permite conocer sus condiciones particulares en materias de estructura social, política y económica a través de indicadores que los describen como actores sociales, redes de interacción, situaciones de conflicto y eventos relacionados con producción de leche. **Objetivo:** Caracterizar la diversidad de sistemas de producción lechera en el Norte de Antioquia con un enfoque en el productor, las fincas, acceso servicios y su impacto en los indicadores biológicos de la salud de la ubre. **Metodología:** Se diseñó un estudio transversal que incluyó 216 productores de leche distribuidos en 9 municipios lecheros del norte

† Submitted February 17, 2023 – Accepted May 21, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4791>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Richard Zapata Salas: <https://orcid.org/0000-0001-5883-5201>

de Antioquia. Se realizaron encuestas de caracterización del productor, la finca y acceso a servicios para la salud y la producción de leche. Como indicadores biológicos de la Salud de la ubre se analizaron los promedios anuales de recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y unidades formadoras de colonias (UFC) de cada finca. Se realizaron análisis estadísticos con SPSS versión 25.0 y un $p < 0.05$. **Resultados:** Los indicadores biológicos de la salud de la ubre en las fincas estudiadas presentaron una deficiente calidad sanitaria de acuerdo con el RCSTL para el 67% de los productores y una deficiente calidad higiénica con UFC para el 22 % de las fincas participantes. Los productores del municipio de Briceño mostraron la más baja producción en contraste con los productores de leche de Santa Rosa de Osos, quienes tuvieron la producción más alta. En los modelos de regresión lineal el RCSTL fue explicado en un 18.2 % por la ubicación en relación al municipio, el tamaño del sistema de producción y el tipo de ordeño. Los valores de UFC fueron explicados en un 29.8 % por el municipio, la asociación cooperativa o asociación ganadera, el sistema de almacenamiento de leche, la oferta de servicios de laboratorio para la leche y las vacas, el área de la finca dedicado al pastoreo, la cantidad de animales en la finca y el promedio de producción diario por vaca. **Implicaciones:** Este estudio muestra la importancia de comprender los problemas de la salud de la ubre no solo a nivel de vaca desde un enfoque biomédico. La comprensión de la salud de la ubre desde la finca en el contexto sociodemográfico muestra que su ubicación, el acceso a servicios, tecnología, educación y la asociatividad establecen oportunidades para mejorar la producción y la competitividad de la producción de leche. **Conclusiones:** la salud de la ubre puede estar afectada positiva o negativamente por la ubicación del sistema productivo, el tamaño del sistema de producción, el tipo de ordeño, la asociación a cooperativa o asociación ganadera, el sistema de almacenamiento de leche, la oferta de servicios de laboratorio para la leche y las vacas, el área de la finca dedicado al pastoreo, la cantidad de animales en la finca y el promedio de producción diario por vaca. Considerar estas variables es fundamental en la toma de decisiones en el control de la mastitis y el cuidado preventivo de la salud de la ubre. **Palabras clave:** Salud de la ubre; indicadores higiénico sanitarios; caracterización sociodemográfica; productor de leche; sistema productivo lechero.

INTRODUCCIÓN

Antioquia es el departamento con mayor acopio de leche cruda en Colombia, esto representa, en cifras del primer semestre de 2020, una participación de un $39.2 \pm 1.3\%$ del acopio de leche mensual en el país, seguido por Cundinamarca con $28 \pm 0.5\%$, y en el tercer lugar Boyacá con una producción del $7.9 \pm 0.3\%$ (Hoyos *et al.*, 2020). Gran parte de la producción de leche en Antioquia se concentra en el altiplano Norte en los municipios de San Pedro, Entreríos, Don Matías, Santa Rosa de Osos, Yarumal, Belmira, San José de la Montaña, Carolina del Príncipe y Briceño. Cada municipio por su ubicación y contexto social, cultural, político y económico presenta una serie de condiciones que favorecen o desfavorecen la competitividad de la producción primaria y la salud de la ubre (Cámara de comercio de Medellín para Antioquia, 2017).

La salud de la ubre es definida como un proceso de salud-enfermedad de la ubre en animales de sistemas de producción lechera, la cual tiene implicaciones en la productividad, la economía, el bienestar animal y la salud pública. Este proceso dinámico y complejo está condicionado por factores de riesgo, factores protectores, microbiológicos, sociales, políticos, económicos entre otros (Zapata-Salas *et al.*, 2022a, Zapata-Salas *et al.*, 2022b).

Lo anterior denota la importancia de caracterizar los productores, los sistemas de producción, la oferta de servicios de diagnóstico en mastitis y la calidad de la leche en relación con el recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y las unidades formadoras de colonia (UFC). Caracterizar una población es un

acercamiento para conocer las condiciones particulares que la distinguen en materia de estructura social, política y económica a través de una serie de indicadores que de forma sincrónica y asincrónica hacen un reconocimiento de actores sociales, escenarios donde interactúan tales actores, situaciones de conflicto, acontecimientos o eventos recientes que hayan impactado la configuración social, los modos de producción y formas de subsistencia (Gallo *et al.*, 2014).

En la actualidad los productores de leche y en especial los pequeños productores lecheros están siendo desafiados por las demandas del mercado, la competencia y el acceso limitado a insumos para la producción, lo que contribuye a reducir su participación en este sector productivo. Este panorama ha planteado la necesidad de evaluar la sostenibilidad para el desarrollo de pequeños productores y, por tanto, de caracterizar la diversidad de los sistemas de producción a través de indicadores sociales, productivos, de acceso a servicios e indicadores de la salud de la ubre (Silveira *et al.*, 2022).

El análisis prospectivo de la cadena láctea bovina colombiana, realizado en el plan de ordenamiento productivo del 2021 plantea según el análisis de los sistemas productivos por tamaño, que el pequeño y mediano productor de leche enfrentarán una situación compleja para su sostenibilidad debido a la entrada de producto lácteo internacional. Estos productores tienen mayor susceptibilidad ante la entrada masiva de productos lácteos con bajo o ningún arancel, tendiendo a desaparecer dejando sus tierras para otra actividad agrícola o pecuaria. Sin embargo, se pronostica

continuidad de una parte de microproductores de leche de economía campesina que surte los mercados informales de leche y productos lácteos (González *et al.*, 2021). Un estudio de caracterización de fincas en Boyacá, Colombia permitió identificar una serie de indicadores productivos y de salud, y así mismo limitantes y necesidades de los sistemas productivos y de los productores de leche, con las cuales se plantearon como necesidades la implementación de estrategias de capacitación a mayordomos y trabajadores en manejo, prevención y control de enfermedades, y en gestión de empresas agropecuarias para mejorar la productividad (Andrade *et al.*, 2008). En este contexto, se propuso como objetivo de este estudio, caracterizar los sistemas de producción lechera en el Norte de Antioquia con un enfoque en el productor, las fincas, el acceso a servicios y su impacto en los indicadores biológicos de la salud de la ubre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Estudio descriptivo transversal. Se diseñó un muestreo no probabilístico por conveniencia, estratificado por municipio, población similar entre pequeños, medianos y grandes productores, que comercializaran su leche a empresas transformadoras, acopios y/o mercado informal. Se eligieron 216 fincas productoras de leche distribuidas en los 9 municipios lecheros del Norte de Antioquia, es decir 24 fincas por municipio. Este estudio hizo parte de una investigación de posgrado denominada “Comportamiento planificado y capital social relacionado con el mejoramiento de la salud de la ubre y la salud pública. Una aproximación desde los métodos mixtos con productores de leche y veterinarios del Norte de Antioquia”. El estudio se desarrolló entre julio de 2019 y junio de 2021.

Criterios de inclusión y exclusión

De cada finca se incluyeron propietarios, administradores u ordeñador líder a cargo de la producción que tuvieran completo conocimiento sobre el manejo del sistema de producción, las redes de abastecimiento y comercialización. Estos funcionarios dieron libremente su consentimiento para participar del estudio y suministrar los datos requeridos para el estudio.

Se excluyó del estudio a cualquiera de los participantes que por decisión propia u otra razón no pudiera participar en todos los encuentros.

Recolección de la información

Se elaboró un instrumento de caracterización sociodemográfica de los productores, de los sistemas de producción, de la oferta de servicios, y del

rendimiento productivo con 23 preguntas. Se realizó una prueba piloto con 40 sujetos de la población de estudio quienes evaluaron el instrumento preliminar determinando su aceptabilidad y aplicabilidad.

Los datos indicadores de la calidad sanitaria, calidad higiénica, calidad composicional y producción de la leche fueron obtenidos directamente de la empresa lechera a la cual el productor vende su leche, previo aval del productor. Los laboratorios se encuentran acreditados bajo la norma técnica complementaria-Organización internacional de normalización / comisión electrotécnica internacional (NTC-ISO / IEC) 17025: 2005. Se calcularon los promedios para estas variables tomando datos quincenales durante el período septiembre de 2019 a agosto de 2020, con base en el promedio se realizaron los análisis bivariados y multivariado. Las variables RCSTL y UFC se recodificaron según rangos basados en la normatividad colombiana (Múniera-Bedoya *et al.*, 2017). Para la variable UFC se presentan los rangos: excelente (<75.000 unidades/mL), buena (entre 75.000 y 150.000 unidades/mL), aceptable (entre 150.000 y 250.000 unidades/mL) y deficiente (> 250.000 unidades/mL). Los rangos para RCSTL fueron: excelente (<150.000 células/mL), bueno (entre 150.000 y 250.000 células/mL), aceptable (entre 250.000 y 400.000 células/mL) y deficiente (> 400.000 células/mL).

Análisis de la información

Las variables categóricas fueron descritas a través de frecuencias absolutas y relativas. Se presentan resultados de medias con su desviación estándar y/o medianas con su rango inter cuartil (RIC) para las variables cuantitativas. Se definieron cómo variables dependientes el RCSTL y las UFC. Se evaluó la asociación de las variables de las encuestas de caracterización del productor, sistema de producción y oferta de servicios con las variables dependientes a través de la prueba U de Mann-Whitney y la prueba H de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, se realizaron pruebas Post-Hoc a través de la prueba de Bonferroni para H de Kruskal-Wallis para determinar en el análisis bivariado las diferencias de las medianas entre las categorías de cada variable politómica. Se evaluaron también correlaciones de Spearman entre las variables dependientes y las variables independientes cuantitativas, tras la verificación del incumplimiento del supuesto de normalidad evaluado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors.

Posteriormente, se llevó a cabo un modelo de regresión lineal múltiple para las variables dependientes RCSTL y UFC, siguiendo el proceso descrito por Dohoo *et al.*, 2003. El objetivo era determinar si las asociaciones y correlaciones encontradas en el análisis bivariado

estaban mediadas por variables de confusión. Las variables incluidas en el modelo fueron aquellas con un valor de $p < 0.05$ en el análisis inicial. Con los modelos multivariados, además de confirmar variables de confusión y variables realmente asociadas al RCSTL y UFC, se buscó definir cuáles de las variables de caracterización sociodemográfica, sistemas productivos, oferta de servicios, mano de obra en los sistemas de producción, indicadores de rendimiento productivo e indicadores de calidad de la leche permiten comprender los incrementos o disminuciones en el RCSTL y UFC. Para cada modelo, se verificó la independencia de los residuos mediante la prueba Durbin Watson, el factor de inflación de la varianza VIF para diagnosticar colinealidad, así como los supuestos de homocedasticidad, histograma, gráficos de normalidad y gráfico de dispersión.

Todos los análisis se realizaron utilizando SPSS versión 25.0, y se consideró que un valor de $p < 0.05$ indicaba significancia estadística.

RESULTADOS

En el estudio participaron 216 productores de leche, de los cuales destaca que el 5.1% fueron jóvenes y el 6% mujeres. Más de la mitad de la población no está asociada a una agremiación de ganaderos. La mayoría de los participantes solo alcanzó la educación primaria, y solo el 1.4% cumple funciones específicas en el sistema de producción, como ser propietario, administrador o asistente técnico-veterinario (ver tabla 1).

Se observó que en las fincas donde los productores tienen formación académica en áreas de salud y/o producción animal se registran los valores más bajos de RCSTL y UFC. Briceño y Carolina del Príncipe fueron los municipios con los RCSTL y UFC más altos, respectivamente. Por otro lado, Santa Rosa de Osos fue el municipio con los indicadores RCSTL y UFC más bajos (ver tabla 1).

La mayoría de la población se encuentra en los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3, que corresponden a la clasificación poblacional de menor capacidad económica. Se encontró que los RCSTL más elevados se observaron en los estratos socioeconómicos 5 y 6, mientras que el RCSTL más bajo se encontró en el estrato socioeconómico 4. En cuanto al indicador UFC, los mayores valores se registraron en el estrato socioeconómico 1, mientras que el valor más bajo se observó en el estrato socioeconómico 4 (ver tabla 1).

Se encontraron diferencias en las medianas del RCSTL entre municipios. La comparación por parejas a través de la prueba de Bonferroni indicó que entre Santa Rosa de Osos y los municipios Briceño, Yarumal y Belmira existen diferencias, donde Santa Rosa de Osos presentó el RCSTL más bajo. También se identificaron diferencias de las medianas del RCSTL entre San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia y Briceño, siendo este último el municipio con el RCSTL más alto. En cuanto al estrato socioeconómico se encontró que la mediana del RCSTL de fincas clasificadas en el estrato socioeconómico 1 es más alto en comparación con el RCSTL de las fincas de los estratos socioeconómicos 2 y 3. Por su parte, se encontraron diferencias en las medianas de las UFC entre Santa Rosa de Osos y Entreríos, en comparación con las UFC de los municipios Briceño, Yarumal, Carolina del Príncipe, Don Matías y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, donde Santa Rosa de Osos y Entreríos presentaron las UFC más bajas. Por su parte, el indicador UFC en leche de fincas clasificadas en estrato socioeconómico 1 es mayor que en la leche de fincas de los estratos socioeconómicos 3 y 4, de forma similar este indicador es mayor en leche de fincas del estrato socioeconómico 2 en comparación con el 4 ($p < 0.05$). Ver tabla 1.

El promedio del número de hijos del productor es de 2.3 ± 1.75 , mientras que el promedio de hijos del productor que trabajan en la finca es de 0.26 ± 0.56 . Esta diferencia sugiere un relevo generacional de 1 hijo por cada 4 familias dedicadas a la producción lechera en el Norte de Antioquia. Los análisis de correlaciones indican que a medida que aumenta el número de trabajadores, tanto el RCSTL como las UFC disminuyen ($p = 0.011$, coeficiente de correlación -0.174 para RCSTL; $p = 0.019$, coeficiente de correlación -0.159 para UFC). Del mismo modo, se observa que a medida que aumenta el número de hijos del productor, el RCSTL también disminuye ($p = 0.044$, coeficiente de correlación -0.137) (ver tabla 2).

Se calcularon las diferencias en las medianas del número de hijos entre el municipio de Briceño y los municipios Carolina del príncipe, Don Matías y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, donde Briceño presenta mayor número de hijos. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el número de hijos que trabajan en la finca entre los municipios, resaltando que tanto las medianas como las medias son inferiores a 1. A su vez, se obtuvo que la mediana del número de trabajadores es mayor en Santa Rosa de Osos comparada con Belmira. Los valores de las medianas se describen en la tabla 2.

Tabla 1. Comparación de las medianas del recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y unidades formadoras de colonia (UFC) según características sociodemográficas de productores de leche de municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

		n	%	RCSTL	UFC	
				Mediana (RIC)	Mediana (RIC)	
Edad	Joven (20 a 26 años)	11	5.1	465822 (262355-661075)	23481 (15555-50555)	
	Adulto (27 a 59 años)	168	77.8	487557 (360550-670480)	67211 (25056-152473)	
	Adulto mayor (a partir de 60 años)	37	17.1	665500 (471667-818358)	84133 (17853-303134)	
Sexo	Mujer	13	6.0	543000 (437178-690933)	34422 (26600-79000)	
	Hombre	203	94.0	495089 (365800-670480)	66400 (22166-220057)	
Nivel de escolaridad	Sin estudios	8	3.7	670480 (609622-670480)	176834 (35611-303134)	
	Primaria	112	51.9	487800 (368717-670480)	79222 (29634-281397)	
	Secundaria	54	25.0	561123 (398235-687727)	68678 (19867-212625)	
	Estudiante universitario	1	0.5	421000 (421000-421000)	23481 (23481-23481)	
	Técnica	10	4.6	383523 (256444-495156)	48099 (20556-132578)	
	Tecnológica	6	2.8	520501 (363973-644000)	62899 (22682-229889)	
	Profesional	23	10.6	651067 (269000-810854)	24844 (11067-95500)	
	Especialista	2	0.9	340523 (243867-437178)	21278 (14444-28111)	
	Municipio † ‡	Carolina del príncipe	24	11.1	487955 (338978-670480)	206726 (39278-303134)
Briceño		24	11.1	670480 (670480-725989)	116367 (50155-303134)	
Don Matías		24	11.1	563756 (381808-665662)	110150 (41847-288942)	
San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia		24	11.1	429922 (327811-635489)	85361 (36989-139045)	
Entrerriós		24	11.1	442255 (377349-708054)	18322 (7351-55411)	
San Pedro de los Milagros		24	11.1	503157 (389229-741250)	31180 (15782-114767)	
Yarumal		24	11.1	634350 (401812-1054925)	174992 (50367-647397)	
Santa Rosa de Osos		24	11.1	366679 (245389-446881)	16776 (14256-39032)	
Belmira		24	11.1	516789 (452736-665778)	46250 (26600-88334)	
Estrato socioeconómico † ‡		Estrato 1	22	10.2	670480 (670480-947511)	303134 (84133-303134)
		Estrato 2	107	49.5	490200 (367558-670480)	75222 (28667-220467)
		Estrato 3	60	27.8	478533 (320425-651123)	39047 (15422-119294)
		Estrato 4	18	8.3	404743 (305000-675466)	15265 (8468-44267)
	Estrato 5	3	1.4	810854 (357127-820067)	85689 (7673-250518)	
	Estrato 6	6	2.8	777679 (543000-1128208)	62056 (8000-212625)	
Función en el sistema de producción	Ordeñador	10	4.6	564370 (506155-656155)	62878 (26267-169444)	
	Propietario sin funciones en la finca	34	15.7	644097 (375678-811176)	99200 (53758-303134)	
	No propietario, administrador	8	3.7	439650 (268200-635340)	69394 (43694-185122)	
	Propietario, administrador	44	20.4	488386 (380669-672973)	31224 (14489-119869)	
	Propietario, administrador, comercializador	9	4.2	405780 (269000-644111)	48220 (24461-77577)	
	Propietario, administrador, ordeñador, comercializador	108	50.0	490882 (368717-670480)	68911 (25853-216341)	
	Propietario, administrador, asistente técnico-veterinario	3	1.4	260542 (258044-997666)	11067 (6000-28022)	
Asociado a cooperativa y/o asociación ganadera	Si	95	44.0	481533 (354288-670480)	39400 (21444-110267) *	
	No	121	56.0	541200 (387937-670480)	89000 (23481-303134) *	

† Diferencia de medianas del RCSTL entre categorías de la variable independiente politómica. Prueba Bonferroni $p < 0.05$ ‡ Diferencia de medianas del UFC entre categorías de la variable independiente politómica. Prueba Bonferroni $p < 0.05$ * $p < 0.05$

Tabla 2. Características de la mano de obra en los sistemas de producción de leche en municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

Municipio † ‡	Número de hijos		Número de hijos que trabajan en la finca		Número de trabajadores	
	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)
Carolina del príncipe	1.88 ± 1.54	2.0 (1.0-2.5)	0.25 ± 0.44	0 (0-0.5)	1.04 ± 0.86	1 (0.5-1.0)
Briceño	3.54 ± 1.84	3.5 (2.0-4.5)	0.5 ± 0.83	0 (0-1)	1.04 ± 1.16	1 (0.0-2.0)
Don Matías	1.96 ± 1.85	2.0 (0.0-3.0)	0.083 ± 0.28	0 (0-0)	1.25 ± 1.15	1 (0.0-2.0)
San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia	1.88 ± 1.19	2.0 (1.0-2.5)	0.25 ± 0.61	0 (0-0)	1.21 ± 0.83	1 (1.0-2.0)
Entrerrios	2.13 ± 1.26	2.0 (1.0-3.0)	0.21 ± 0.41	0 (0-0)	1.08 ± 0.93	1 (0.5-1.5)
San Pedro de los Milagros	2.04 ± 1.49	2.0 (1.0-3.0)	0.38 ± 0.71	0 (0-0.5)	1.13 ± 0.85	1 (1.0-1.5)
Yarumal	2.42 ± 2.21	2.0 (1.0-2.5)	0.13 ± 0.34	0 (0-0)	0.96 ± 1.20	0.5 (0.0-2.0)
Santa Rosa de Osos	2.71 ± 2.01	2.0 (2.0-3.0)	0.29 ± 0.69	0 (0-0)	1.88 ± 1.39	2 (1.0-3.0)
Belmira	2.17 ± 1.69	2.0 (0.5-3.0)	0.29 ± 0.46	0 (0-1)	0.71 ± 1.23	0 (0.0-1.0)
Total	2.3 ± 1.75	2.0 (1.0-3.0)	0.26 ± 0.56	0 (0-0)	1.14 ± 1.11	1 (0.0-2.0)

† Diferencia de medianas del número de hijos entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

‡ Diferencia de medianas del número de trabajadores en los sistemas de producción entre municipios. Prueba de Bonferroni $p < 0.05$

En lo que respecta a las capacitaciones de los productores de leche, se observa que el 73.1% de ellos y el 27.3% de sus trabajadores han recibido capacitación relacionada con la producción de leche. Con respecto a los sistemas de producción, se encontró que el 71.8% de las fincas corresponden a hatos cerrados. Además, el 83.3% de estas fincas no están certificadas en buenas prácticas ganaderas en producción de leche, mientras que el 69% están certificadas como libres de brucelosis y el 63.4% como libres de tuberculosis. Por otro lado, el 45.4% de las fincas son arrendadas (ver tabla 3).

En cuanto al tamaño del sistema de producción, el 40.3% corresponde a pequeños productores, y se observa que en este subgrupo se encontraron los RCSTL y UFC más altos. Asimismo, se destaca que en las fincas donde aún se realiza el ordeño manual se obtuvieron los RCSTL y UFC más altos (ver tabla 3).

Se encontraron diferencias en las medianas del RCSTL y UFC entre los pequeños productores en comparación con grandes productores, donde los primeros presentan el RCSTL y las UFC más altas. A su vez, existen diferencias entre las medianas de las UFC entre los grandes y medianos productores, siendo las UFC más bajas para grandes productores.

Por su parte, el RCSTL de fincas donde se hace ordeño manual es mayor en comparación con fincas donde se realiza ordeño mecánico en sala y ordeño mecánico en vacío. De forma similar, el indicador UFC en leche de fincas con ordeño manual es mayor que en la leche de

fincas con ordeño mecánico en sala, ordeño mecánico en vacío, ordeño mecánico en establo. Así mismo, el indicador UFC en leche de fincas con ordeño mecánico en vacío es mayor que en la leche de fincas con ordeño mecánico en establo y ordeño mecánico en sala. En otra comparación se observa que tanto el RCSTL como las UFC de leche son más altos en fincas que utilizan tanque de refrigeración compartido que en fincas con su propio tanque de refrigeración. Por último, se encontró que el indicador UFC de leche de fincas arrendadas es mayor en comparación con fincas propias más parte arrendada (ver tabla 3).

El promedio anual del RCSTL evidenció una deficiente calidad sanitaria para el 67.6% de las fincas, en contraste, la calidad higiénica de la leche representada por el promedio anual de UFC presentó una excelente calidad para el 54% de los sistemas de producción (ver tabla 4).

Además de las diferencias estadísticas encontradas entre la localización del sistema de producción según municipio y el RCSTL y las UFC, se identificó una correlación entre el RCSTL y UFC (coeficiente de correlación 0.406; $p = 0.000$). Las fincas lecheras en Briceño presentan los valores de RCSTL más altos, seguidos por Yarumal y Don Matías (con deficiente calidad sanitaria). Santa Rosa de Osos mostró los valores de RCSTL más bajos (con calidad sanitaria aceptable). Por otro lado, las fincas lecheras ubicadas en Don Matías (con deficiente calidad higiénica), seguidas de Carolina del Príncipe y Yarumal (con calidad higiénica aceptable) obtuvieron las UFC más

Tabla 3. Comparación de las medianas del recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y unidades formadoras de colonia (UFC) según características de los sistemas de producción y la oferta de servicios en municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

		n	%	RCSTL	UFC
				Mediana (RIC)	Mediana (RIC)
Tamaño del sistema de producción † ‡	Pequeño productor (Menor a 1529 litros/semana)	87	4 0.3	670480 (469755-752458)	206622 (56822-303134)
	Mediano productor (Entre 1530 y 3822 litros/semana)	71	32.9	488444 (309088-656155)	54186 (24844-17066)
	Grande productor (Más de 3822 litros/semana)	58	26.9	418378 (307911-481533)	22077 (13424-42950)
Tipo de ordeño † ‡	Manual	61	28.2	670480 (650755-844044)	303134 (79000-303134)
	Manual y mecánico en vacío	2	0.9	452600 (305000-600200)	118622 (4000-233244)
	Mecánico en vacío	86	39.8	449825 (345356-614822)	69367 (31867-126400)
	Mecánico en establo	6	2.8	421096.5 (257625-654786)	7500 (5000-26466)
	Mecánico en sala	61	28.2	437178 (297291-640608)	20556 (14000-50555)
Sistema de almacenamiento de leche † ‡	Caneca	3	1.4	670480 (670480-772000)	303134 (22166-303134)
	Tanque de refrigeración	194	89.8	484344.5 (354733-670480)	53099 (20866-131453)
Propiedad sobre la tierra, potreros o finca donde produce leche †	Tanque de refrigeración compartido	19	8.8	670480 (595622-670480)	303134 (220467-333696)
	Arrendada	98	45.4	490882 (369875-670480)	71900 (25267-229889)
	Familiar	18	8.3	482422 (332600-670480)	102211 (26600-212625)
	Propia	87	40.3	534743 (357127-731889)	56797 (22222-150489)
La empresa a la que vende su leche le ofrece el servicio de laboratorio para sus vacas	Propia más parte arrendada	13	6.0	477066 (436377-670480)	14844 (13267-49777)
	Si	113	52.3	465822 (332600-670480)*	48220 (25267-110267)*
La empresa a la que vende su leche le ofrece el servicio de laboratorio para su vacas	No	103	47.7	634350 (398235-687727)*	110000 (18640-303134)*
	Si	113	52.3	465822 (332600-670480)*	48220 (25267-110267)*
La empresa a la que vende su leche le ofrece el servicio de laboratorio para su leche	No	103	47.7	634350 (398235-687727)*	110000 (18640-303134)*
	Si	194	89.8	492986 (365800-670480)	56810 (22682-201353)
Disponibilidad de los servicios de atención veterinaria para su finca	No	19	8.8	538422 (416687-670480)	79444 (21444-303134)
	En ocasiones	3	1.4	670480 (188400-752458)	70111 (13555-303134)
Le ofrecen los insumos para la producción y salud animal que necesita	Si	191	88.4	495156 (367558-670480)	53758 (21444-150489)*
	No	25	11.6	488813 (398444-670480)	148630 (46804-303134)*

† Diferencia de medianas del RCSTL entre categorías de la variable independiente politómica. Prueba Bonferroni $p < 0.05$ ‡ Diferencia de medianas del UFC entre categorías de la variable independiente politómica. Prueba Bonferroni $p < 0.05$ * $p < 0.05$

Tabla 4. Calidad de la leche según recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y unidades formadoras de colonia (UFC) de fincas lecheras de municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

	RCSTL		UFC		
	n	%	n	%	
Excelente. Menor a 150.000	3	1.4	Excelente. Menor a 75.000	117	54
Buena. 150.001 a 250.000	19	8.8	Buena. 75.001 a 150.000	39	18
Aceptable. 250.001 a 400.000	48	22.2	Aceptable. 150.001 a 250.000	12	6
Deficiente. Mayor a 400.000	146	67.6	Deficiente. mayor a 250.000	48	22

altas, resultados que contrastan con Santa Rosa de Osos, Entrerriós y San Pedro de los Milagros, los cuales obtuvieron los resultados más bajos (con excelente calidad higiénica). Además, se encontró una correlación positiva entre el promedio del porcentaje de grasa en leche y las UFC (coeficiente de correlación 0.195; $p=0.004$), donde el incremento en UFC se da en la medida en que se incrementa la grasa en leche. Por otra parte, Briceño y Carolina del Príncipe fueron los municipios con mayor concentración de grasa en leche, mientras que el complejo San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia registró la concentración más baja (ver tabla 5).

En relación con la calidad composicional de la leche se obtuvieron diferencias en las medianas del porcentaje de proteína entre el municipio de Belmira y los municipios Briceño y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, donde la leche producida en Belmira presenta mayor porcentaje de proteína. Así mismo, se estableció que el porcentaje de grasa es

mayor en Briceño en comparación con Entrerriós y San Pedro de los milagros. En cuanto a los sólidos totales se estableció que Briceño presenta una mediana del porcentaje de sólidos totales mayor en comparación con los municipios Don Matías, San Pedro de los milagros y Yarumal. Así mismo, este indicador es menor en San Pedro de los milagros en comparación con Carolina del príncipe, Santa Rosa de Osos y Belmira. Los valores de las medianas se describen en la tabla 5.

Los indicadores del rendimiento productivo revelan que Briceño es el municipio con la más baja productividad, con un promedio de 8.2 litros por vaca al día o 2460 litros por vaca al año, mientras que Santa Rosa de Osos lidera con la más alta productividad, con un promedio de 14.8 litros por vaca al día o 4440 litros por vaca al año. El promedio general se sitúa en 12 litros por vaca al día o 3600 litros por vaca al año. Esta baja productividad está influenciada por la relación entre hectáreas en pastoreo y número de animales en la

Tabla 5. Calidad composicional de la leche de fincas de municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

Municipio † ‡ ¥	Proteína (%)		Grasa (%)		Sólidos totales (%)	
	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)
Carolina del príncipe	3.26 ± 0.16	3.25 (3.21-3.29)	3.84 ± 0.25	3.86 (3.78-3.96)	12.45 ± 0.30	12.48 (12.31-12.64)
Briceño	3.19 ± 0.08	3.25 (3.13-3.25)	3.90 ± 0.12	3.86 (3.85-3.97)	12.55 ± 0.18	12.64 (12.38-12.64)
Don Matías	3.28 ± 0.09	3.25 (3.24-3.32)	3.81 ± 0.17	3.80 (3.67-3.91)	12.29 ± 0.25	12.30 (12.06-12.50)
San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia	3.22 ± 0.08	3.23 (3.17-3.26)	3.70 ± 0.13	3.66 (3.61-3.82)	12.36 ± 0.21	12.31 (12.21-12.58)
Entrerriós	3.29 ± 0.14	3.29 (3.19-3.43)	3.74 ± 0.27	3.73 (3.57-3.84)	12.29 ± 0.43	12.22 (11.94-12.62)
San Pedro de los Milagros	3.22 ± 0.10	3.24 (3.17-3.30)	3.72 ± 0.21	3.70 (3.60-3.85)	12.16 ± 0.29	12.14 (11.97-12.31)
Yarumal	3.26 ± 0.09	3.26 (3.18-3.30)	3.88 ± 0.30	3.83 (3.76-3.91)	12.30 ± 0.26	12.27 (12.21-12.36)
Santa Rosa de Osos	3.30 ± 0.13	3.27 (3.23-3.35)	3.80 ± 0.21	3.74 (3.72-3.88)	12.52 ± 0.33	12.51 (12.36-12.57)
Belmira	3.31 ± 0.07	3.32 (3.27-3.35)	3.75 ± 0.14	3.77 (3.66-3.83)	12.47 ± 0.21	12.48 (12.34-12.64)
Total	3.26 ± 0.11	3.25 (3.19-3.32)	3.79 ± 0.21	3.80 (3.66-3.87)	12.38 ± 0.30	12.37 (12.20-12.60)

† Diferencia de medianas del porcentaje de proteína en leche entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

‡ Diferencia de medianas del porcentaje de grasa en leche entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

¥ Diferencia de medianas del porcentaje de sólidos totales en leche entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

finca, que es de 3 animales por cada hectárea en general. Sin embargo, este dato varía según el municipio, siendo Briceño y el complejo San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia los municipios con el rendimiento productivo más bajo, con 1 animal por cada hectárea y 1.6 animales por hectárea respectivamente. En contraste, Belmira y Santa Rosa de Osos son los municipios con el más alto aprovechamiento de la tierra, con 5.06 animales por hectárea y 4.8 animales por hectárea respectivamente (ver tabla 6).

Inicialmente se encontraron correlaciones entre el RCSTL y el área de la finca dedicada al pastoreo (coeficiente de correlación -0.204; $p= 0.003$), el número de animales en la finca (coeficiente de correlación -0.391; $p= 0.000$), el número de animales en producción (coeficiente de correlación -0.391; $p= 0.000$), el promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras (en litros por semana) (coeficiente de correlación -0.379; $p= 0.000$) y el promedio de producción de leche diario por vaca en producción (coeficiente de correlación -0.148; $p= 0.029$). Además, la variable UFC también se correlacionó con estas mismas variables independientes: (coeficiente de correlación -0.157; $p= 0.021$), (coeficiente de correlación -0.388; $p= 0.000$), (coeficiente de correlación -0.407; $p= 0.000$), (coeficiente de correlación -0.562; $p= 0.000$) y (coeficiente de correlación -0.480; $p= 0.000$) respectivamente. Sin embargo, después de los análisis multivariados, solo tres de estas variables ingresaron al modelo. Se observó que a medida que se incrementa el área de pastoreo disminuyen las UFC (coeficiente de correlación -0.157; $p= 0.021$). En el mismo orden de ideas, se encontró que cuando se incrementa el número de animales en una finca disminuyen las UFC (correlación -0.407; $p= 0.000$). Finalmente, a medida que disminuyen las UFC, se incrementa el promedio de producción de leche diario por vaca en producción (Litros/día) (correlación -0.480; $p= 0.000$) (ver tabla 6).

En relación con los indicadores del rendimiento productivo se obtuvieron diferencias en las medianas del área de la finca dedicada al pastoreo entre el municipio de Santa Rosa de Osos y los municipios Carolina del príncipe, San Pedro de los milagros y Belmira. Esta misma diferencia se presentó para San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia y los mismos municipios anteriormente descritos, encontrando que las fincas lecheras ubicadas en Santa Rosa de Osos y en San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia tienen áreas mayores dedicadas al pastoreo (ver tabla 6).

Por su parte, Santa Rosa de Osos fue el municipio con más animales en producción por finca en comparación con los municipios Briceño, Carolina del príncipe, Don

Matías, Yarumal, San Pedro de los milagros y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia. De otro lado, Briceño fue el municipio con menos animales en producción por finca comparado con los municipios Yarumal, San Pedro de los milagros y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, Belmira, Entrerríos y Santa Rosa de Osos. De forma similar en Carolina del príncipe se identificó un menor número de animales en comparación con Belmira, Entrerríos y Santa Rosa de Osos (ver tabla 6).

En relación con el número de animales en producción se identificó que Briceño posee un menor número en comparación con los municipios San Pedro de los milagros, San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, Belmira, Entrerríos y Santa Rosa de Osos. Por el contrario, las fincas en Santa Rosa de Osos poseen mayor número de animales en producción en comparación con los municipios Briceño, Carolina del príncipe, Yarumal, Belmira y Don Matías. Este mismo comportamiento se encontró al comparar Entrerríos y los municipios Carolina del príncipe y Yarumal, siendo el primero el municipio con mayor número de animales en producción (ver tabla 6).

En cuanto a la leche comercializada, se obtuvo que el promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras en Briceño es más bajo en comparación con los municipios Don Matías, San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia, San Pedro de los milagros, Belmira, Entrerríos y Santa Rosa de Osos. Este mismo fenómeno se evidenció en la comparación entre Carolina del príncipe y los municipios Belmira, San Pedro de los milagros, Entrerríos y Santa Rosa de Osos, donde Carolina del príncipe tiene un promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras más bajo. Por el contrario, el promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras en Santa Rosa de Osos es más alto comparado con los municipios Briceño, Carolina del príncipe, Yarumal, Don Matías y San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia. De forma similar, en Entrerríos se encontró un promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras más alto comparado con Yarumal (ver tabla 6).

Un último indicador productivo, muestra que el promedio de producción de leche diario por vaca en producción en Briceño y en Carolina del príncipe fue menor en comparación con los municipios San Pedro de los milagros, Entrerríos, Santa Rosa de Osos y Belmira. Así mismo, el promedio de producción de leche diario por vaca en producción en San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia fue más bajo comparado con los municipios Entrerríos, Santa Rosa de Osos y Belmira (ver tabla 6).

En los modelos de regresión lineal múltiple, se observó que el RCSTL fue explicado en un 18.2% por el tipo de ordeño, el tamaño del sistema de producción y la ubicación con relación al municipio, en ese orden de

importancia. Este análisis revela que los sistemas de producción más pequeños y con ordeño manual tienden a tener RCSTL más altos (ver tabla 7).

Tabla 6. Indicadores del rendimiento productivo de municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

Municipio † ‡ ¥	Área de la finca dedicada al pastoreo (en hectáreas)		Animales en la finca		Animales en producción Mediana (RIC)	
	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)
Carolina del príncipe	11.6 ± 1 0.9	8.0 (3.9-15.5)	26.6 ± 21.72	22 (12.5-30)	22.1 ± 18.24	18 (1 0.5-25)
Briceño	24.85 ± 29.1	12.0 (7.0-34.5)	17.7 ± 13.66	13 (9-21.5)	14.8 ± 11.54	11 (7.5-17.5)
Don Matías	14.9 ± 1 0.5	14.0 (7.3-19.0)	38.6 ± 3 0.59	29 (17-47.5)	32.3 ± 25.84	24.5 (14-40)
San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia	31.3 ± 19.9	27.0 (18.0-47.5)	4 0.5 ± 18.49	43 (27-49)	34.1 ± 15.51	36 (23-41)
Entrerriós	13.5 ± 8.6	11.5 (9.0-15.3)	58.4 ± 44.38	46.5 (38.5-6 0.5)	49.1 ± 37.30	39 (32.5-5 0.5)
San Pedro de los Milagros	1 0.1 ± 4.3	9.5 (6.4-13.8)	39.9 ± 17.60	40 (28-50)	33.5 ± 14.79	34 (24-42)
Yarumal	23.4 ± 39.6	12.0 (7.0-19.0)	49.7 ± 5 0.47	35 (23-45.5)	26.0 ± 24.34	19 (12.5-26.5)
Santa Rosa de Osos	25.7 ± 17.1	19.5 (14.0-33.5)	106.2 ± 68.37	94 (70-123.5)	57.79 ± 35.74	51 (43-66)
Belmira	13.1 ± 14.4	7.9 (6.0-15.0)	54.9 ± 41.08	40 (38-59.5)	3 0.54 ± 29.56	24 (16-32.5)
Total	18.74 ± 2 0.99	12.4 (7.0-2 0.0)	48.06 ± 44.47	38 (20-60)	33.38 ± 27.68	26.5 (15-42)

Municipio φ	Promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras (Litros/semana)		Promedio de producción de leche diario por vaca en producción (Litros/día)	
	Media ± DS	Mediana (RIC)	Media ± DS	Mediana (RIC)
Carolina del príncipe	1345.3 ± 1371.38	1173 (542.5-1501)	9.0 ± 4.69	8.9 (5.05-11.85)
Briceño	844.5 ± 673.79	570 (400-1240)	8.5 ± 3.30	8.2 (5.55-11.25)
Don Matías	2784.1 ± 2373.20	1234.5 (1012.5-5241.5)	12.2 ± 5.45	11.6 (9.5-14.45)
San José de la Montaña - San Andrés de Cuerquia	2321.0 ± 1353.98	2199 (1309.5-3129.5)	9.5 ± 3.96	1 0.3 (7.05-11.85)
Entrerriós	5018.0 ± 4279.97	4303 (2496.5-5571)	14.3 ± 4.52	14.7 (11.25-16.05)
San Pedro de los Milagros	3387.2 ± 196 0.72	3056.5 (2104.5-4944.5)	14.0 ± 5.05	14.1 (11.95-17.55)
Yarumal	2154.9 ± 2096.60	1274.5 (975-2537.5)	12.0 ± 4.19	12.3 (8.9-15.6)
Santa Rosa de Osos	585 0.7 ± 3584.69	5114.5 (3612-7950)	14.6 ± 5.14	14.8 (11.4-17.75)
Belmira	2964.1 ± 227 0.14	2500 (1627.5-3295.5)	15.3 ± 5.15	14.4 (11.45-17.95)
Total	2963.32 ± 2855.40	2158.5 (107 0.25-4074.75)	12.17 ± 5.18	12.0 (8.60-15.40)

† Diferencia de medianas del área de la finca dedicada al pastoreo entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

‡ Diferencia de medianas de animales en la finca entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

¥ Diferencia de medianas de animales en producción entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

φ Diferencia de medianas del promedio del volumen de leche comercializado con empresas lecheras entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

ο Diferencia de medianas del promedio de producción de leche diario por vaca en producción entre municipios. Prueba Bonferroni $p < 0.05$

Tabla 7. Modelos de regresión lineal para recuento de células somáticas en tanque de leche (RCSTL) y unidades formadoras de colonia (UFC) de fincas lecheras de municipios del Norte de Antioquia, Colombia.

Variable Dependiente	VARIABLES DEL MODELO	p valor	Coefficiente de regresión (Beta)	Coefficiente de determinación
RCSTL	Municipio	0.040	0.143	18.2%
	Tamaño del sistema de producción	0.005	-0.239	
	Tipo de ordeño	0.001	-0.278	
UFC	Municipio	0.023	0.152	29.80%
	Área de la finca dedicada al pastoreo (en hectáreas)	0.000	0.401	
	Animales en producción	0.000	-0.269	
	Promedio de producción de leche diario por vaca en producción (Litros/día)	0.007	-0.178	
	Asociado a cooperativa y/o asociación ganadera	0.009	0.179	
	Sistema de almacenamiento de leche	0.005	0.172	
	La empresa a la que vende su leche le ofrece el servicio de laboratorio para sus vacas	0.002	0.204	
	La empresa a la que vende su leche le ofrece el servicio de laboratorio para su leche	0.002	0.204	

Por otro lado, las UFC fueron explicadas en un 29.8% por algunas variables, entre las que se incluyen el municipio, la asociación a cooperativa o asociación ganadera, el sistema de almacenamiento de leche, la oferta de servicios de laboratorio para la leche y las vacas, el área de la finca dedicada al pastoreo, la cantidad de animales en la finca y el promedio de producción diario por vaca. Las variables con mayor peso sobre las UFC fueron el área de la finca dedicada al pastoreo, el número de animales en producción y el acceso al servicio de laboratorio para las vacas y la leche. Este análisis sugiere que conforme aumenta el área de pastoreo y el número de animales en una finca, la tendencia es obtener UFC más bajas, mientras que los sistemas productivos que reciben oferta de servicios de laboratorio para las vacas y la leche tienden a obtener UFC más altas (ver tabla 7).

DISCUSIÓN

Indicadores de la salud de la ubre

Los hallazgos sobre la calidad higiénica en las fincas lecheras del Norte de Antioquia participantes en el estudio revelan que el 25.5% presenta una calidad higiénica deficiente, caracterizada por recuentos bacterianos elevados (UFC mayor a 200.000/mL). Además, al considerar los rangos establecidos por Munera-Bedoya *et al.*, 2017 para el RCSTL, utilizados por algunas industrias lácteas para el pago de bonificaciones y con fines comparativos internacionales, como la Unión Europea (específicamente países como Suiza, Nueva Zelanda y Noruega), así como Australia, se encontró que el 67.7% de la leche de las fincas en este estudio presenta una calidad sanitaria deficiente (RCSTL mayor a

400.000), y el 39.8% muestra una calidad higiénica deficiente (UFC mayor a 100.000/mL).

A partir de estos resultados, surge un primer problema para mejorar la calidad de la leche en Colombia: la falta de inclusión del RCSTL como indicador obligatorio de calidad sanitaria. Mientras que la legislación colombiana, según la Resolución 017 de 2012, considera únicamente la calidad higiénica medida en UFC, con un límite máximo entre 175.000 y 200.000 unidades/mL para la región 1, donde se ubican las fincas participantes en este estudio. El RCSTL no está contemplado en la normativa colombiana, siendo considerado como un indicador de salud de la ubre sujeto a bonificaciones voluntarias y, por lo tanto, de pago discrecional por parte de las empresas acopiadoras (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2012; Vásquez *et al.*, 2012). En segundo lugar, los deficientes indicadores de calidad de la leche registrados en las fincas del Norte de Antioquia evidencian los limitados avances de las políticas de competitividad en Colombia, a pesar de los tratados comerciales que facilitan la exportación (Consejo Nacional Lácteo, 2010; CONPES *et al.* 2010), y los esfuerzos de política pública en los últimos 12 años. Esta falta de progreso puede estar vinculada a desafíos de equidad en municipios con menor desarrollo, lo que representa obstáculos significativos para los productores de leche.

En el presente estudio, se observó una menor proporción de calidad higiénica deficiente y una marcada superioridad en la calidad sanitaria deficiente en comparación con los hallazgos reportados por Munera-Bedoya *et al.* en 2017. El estudio realizado por Munera-Bedoya *et al.*, 2017 en ocho municipios del

Norte de Antioquia durante el año 2015 reveló que el 34.8% de las fincas presentaban una calidad higiénica deficiente, la cual se asociaba con prácticas como el manejo de la ubre sucia y el sitio de ordeño, mientras que el 10.9% mostraba una calidad sanitaria deficiente, vinculada a factores como ordeñadores sin conocimiento sobre el secado adecuado de los pezones, mayor número de fincas, ordeñadores jóvenes, entre otros. El análisis de UFC evaluadas en leche cruda en San Pedro, Santa Rosa de Osos y Yarumal en un estudio realizado en 2010 mostró UFC de 68.000, 81.000 y 82.000, respectivamente (Vásquez *et al.*, 2012). En nuestro estudio, los resultados para estos tres municipios fueron de 31.180, 16.776 y 174.992 UFC/mL, respectivamente. Asimismo, se identificó una mayor deficiencia en la calidad sanitaria en 2011 en un estudio en el Oriente de Antioquia, donde se encontró que el 58.3% de las vacas en fincas productoras de leche tenían RCS mayores a 500.000 (Trujillo *et al.*, 2011). Estos resultados sugieren una mejora en el indicador para San Pedro y Santa Rosa de Osos, municipios con mayor desarrollo e industrialización del sector lechero en la actualidad. Sin embargo, también reflejan un lento progreso social, económico y comercial en Yarumal y, de manera similar, en la mayoría de los municipios estudiados.

Ubicación del municipio y salud de la ubre

Se encontraron diferencias entre la localización del sistema de producción según el municipio y los indicadores de calidad sanitaria e higiénica, representados por el RCSTL y las UFC. En las fincas lecheras del estudio, se observaron diferencias significativas en los indicadores de calidad sanitaria e higiénica. Briceño, Yarumal y Don Matías exhibieron los valores más altos de RCSTL, lo que sugiere una calidad sanitaria deficiente. En contraste, Santa Rosa de Osos mostró los valores más bajos de RCSTL, indicando una calidad sanitaria aceptable. Por otro lado, las fincas en Don Matías, Carolina del Príncipe y Yarumal presentaron las UFC más altas, lo que refleja una deficiente calidad higiénica. Estos resultados contrastan con los obtenidos en Santa Rosa de Osos, Entreríos y San Pedro de los Milagros, donde se registraron los valores más bajos de UFC, indicando una excelente calidad higiénica. Estos hallazgos, junto con los resultados obtenidos para otras variables que ingresaron al modelo multivariado, como la oferta de servicios de diagnóstico de la leche y las vacas, y el ser o no asociado a una cooperativa de productores de leche, sugieren que el acceso a servicios relacionados con la salud de la ubre, la salud general, la producción de leche y la educación pueden verse afectados según la ubicación del productor. La centralización de la oferta de servicios en los municipios con mayor desarrollo de la industria láctea podría explicar los mejores indicadores biológicos de salud de la ubre observados

en estos lugares en comparación con los municipios más alejados y menos desarrollados.

Estudios realizados en otros países, como los Países Bajos y Los Estados Unidos, respaldan la importancia de los programas veterinarios de gestión de la salud del rebaño para mejorar los estándares de calidad en la producción lechera. Estos programas fomentan una transición hacia la gestión de la salud preventiva, lo que se ha asociado con una mayor producción de leche y una menor incidencia de RCS (Derks *et al.*, 2013). Sin embargo, se identifican desafíos relacionados con los tiempos limitados para asistir a reuniones y capacitaciones en sitios alejados a las fincas (Russell y Bewley, 2011) y desafíos relacionados con la comunicación y acceso a la información para los productores, especialmente aquellos ubicados en áreas remotas con limitado acceso a tecnologías de comunicación modernas (Derks *et al.*, 2013). Los resultados de la presente investigación resaltan la necesidad de implementar estrategias específicas para mejorar la formación y capacitación en salud de la ubre y promover la competitividad en la producción lechera, especialmente para los productores ubicados en áreas remotas con limitaciones de acceso a servicios y tecnologías de comunicación.

Oferta de servicios de laboratorio para calidad de leche y mastitis

En el Norte de Antioquia no existen laboratorios privados que oferten los servicios de diagnóstico de mastitis bovina y calidad de la leche. Solo a los productores que venden su leche a una de las empresas lecheras les ofrecen los servicios de diagnóstico para leche y mastitis. Los resultados del estudio muestran que los valores del RCSTL y UFC son significativamente más bajos para los productores a quienes ofrecen estos servicios.

Es habitual que la mastitis se trate según los signos clínicos o el RCS sin considerar los resultados del cultivo bacteriológico de la leche. En muchos países, un tratamiento apropiado de la mastitis considera la eficacia de la terapia, el uso prudente de antimicrobianos y la economía de la granja. Los productores de leche pueden ser asertivos en la toma de decisiones sobre el tratamiento de la mastitis si conocen cual es la bacteria causante de la mastitis. La única forma de obtener información sobre el agente etiológico de la mastitis y su susceptibilidad a los antibióticos es utilizando las pruebas basadas en cultivos (Griffioen *et al.*, 2018).

Muchas de las vacas con mastitis son tratadas con antibióticos (Santman-Berends *et al.*, 2015), aunque en algunos casos no son necesarios (Pinzón-Sánchez *et al.*, 2011; Fuenzalida y Ruegg, 2019). Partiendo de la perspectiva del uso prudente de antibióticos y el ahorro

de costos innecesarios, los antibióticos deben usarse solo en los casos en que el laboratorio confirme mastitis y, además, cuando la probabilidad de curación sea alta (Kromker y Leimbach, 2017). Por lo tanto, para cada vaca con mastitis se debe decidir si se requiere tratamiento con antimicrobianos y esto solo lo define el diagnóstico por el laboratorio, de aquí la importancia de la oferta de servicios diagnósticos microbiológicos en las zonas dedicadas a la producción láctea (Royster y Wagner, 2015). El costo innecesario de administrar antibióticos intramamarios a vacas que no lo requieren es alto e insostenible (Ruegg, 2018). Los análisis en 400 vacas con mastitis clínica de un tratamiento de corta duración y muy bajo costo (2 tubos de antibióticos intramamarios que cuestan \$ 3.25 dólares cada uno) demostró que de aproximadamente \$3000 dólares en costos anuales del producto, se puede esperar que menos de \$1000 dólares resulten en una curación por efectividad del antibiótico superior a la esperada por curación espontánea, explicado por una falla en la curación debido a la resistencia bacteriana a los antibióticos (Ruegg, 2018). El uso excesivo y no selectivo de antibióticos afecta la sostenibilidad económica de la producción láctea (Ruegg, 2018). Un buen uso del laboratorio en la zona Norte de Antioquia podría representar un ahorro en gastos innecesarios por tratamientos inespecíficos en ausencia del laboratorio.

La ausencia de oferta de servicios de laboratorio clínico veterinario y calidad de la leche en la zona Norte de Antioquia independientes de la industria láctea, establece a este como uno de los principales problemas para hacer un diagnóstico apropiado del agente etiológico y la toma de decisiones en la elección y dosis del antibiótico para el tratamiento. En otros países con oferta de servicios de laboratorio para los productores, la preocupación se centra en promover el uso del laboratorio. En este sentido, los veterinarios influyen a los productores de leche para que cultiven muestras de leche de forma regular para poder controlar la salud de la ubre, ya sea para decidir el tratamiento frente a un caso clínico, o enviando regularmente muestras de leche a un laboratorio para hacer vigilancia epidemiológica sobre el tipo de patógenos de mastitis y susceptibilidad antimicrobiana presente en la finca (Lam *et al.*, 2009; Ruegg *et al.*, 2009). Adicionalmente, la ausencia de servicios de laboratorio para diagnóstico de mastitis y calidad de la leche en las zonas lecheras tiene impacto sobre la salud pública, dado que en ausencia de pruebas de susceptibilidad a los antibióticos los productores de leche tratan vacas que pueden ser resistentes a los antibióticos elegidos indiscriminadamente, generándose problemas como la permanencia de la mastitis, afectaciones al bienestar animal y, la salida de leche con bacterias, toxinas y antibióticos al comercio informal. Los residuos de antibióticos en los productos alimenticios de origen animal, como la leche, cuando

se ha realizado uso indiscriminado de este tipo de medicamentos, pueden luego transferirse a la cadena alimentaria humana promoviendo genes de resistencia en los patógenos humanos y el desarrollo potencial de resistencia a diversos antimicrobianos. Los productores de leche deben cumplir con las recomendaciones de los profesionales de la salud, incluidas las pautas sobre el uso prudente de antimicrobianos, el uso del laboratorio para reconocer la susceptibilidad a los antibióticos y la garantía de los períodos de retiro (Hassan *et al.*, 2021).

Asociación a cooperativas

Se encontró que los productores asociados a una cooperativa de productores de leche presentan valores de UFC significativamente más bajos que quienes no hacen parte de una agremiación. El ser asociado a una cooperativa ganadera provee al productor de beneficios y posibilidades que pueden favorecer la salud de la ubre, la salud general del hato y la producción de alimentos inocuos. Esto se debe a que el asociado a una cooperativa, generalmente, accede a servicios en salud y establece redes de colaboración basadas en principios como: autoayuda, responsabilidad de ayudar, democracia, igualdad, equidad y solidaridad. En este sentido, los cooperativistas creen en los valores éticos de honestidad, apertura, responsabilidad social y preocupación por los demás (Forney y Häberli, 2017). El principal propósito de los productores de leche del Norte de Antioquia para asociarse es garantizar la venta de su leche en todas las épocas del año. No obstante, las asociaciones a las que pertenecen los productores les ofrecen otros servicios como son la venta de agroinsumos y medicamentos en ocasiones con precios diferenciales, asistencia técnica, créditos y algunas tienen como interés el mejoramiento genético. En concordancia con nuestros resultados sobre asociatividad y calidad de la leche, en Suiza cuando se dio la abolición de las cuotas lecheras para los productores de leche, esta comunidad se vio forzada a reorganizarse a través de la creación de nuevas organizaciones de productores de leche y las cooperativas tradicionales tuvieron que buscar estrategias en múltiples niveles, como son los mercados, membresía, prestación de servicios y diversificación, con el propósito de fortalecerse y ser competitivas. Este proceso de resiliencia favoreció la producción de alta calidad sanitaria, higiénica y composicional (Forney y Häberli, 2017). Así mismo, en Kenia, los pequeños productores de leche han encontrado en ser miembros de organizaciones de productores la posibilidad de ser competitivos para responder a los estrictos requisitos de inocuidad alimentaria a través de la adopción de medidas de seguridad alimentaria relacionadas con el almacenamiento de la leche y el área de ordeño, donde la adopción a dichas medidas ha estado mediada por el

control social y el control de procesos (Mwambi, *et al.*, 2020). En concordancia con el 44% de asociatividad de productores de leche identificado en el Norte de Antioquia, un estudio en Boyacá, Colombia encontró que el 60% de los productores de leche se encuentran asociados a una agremiación de ganaderos. Sin embargo, este estudio no estableció asociaciones con variables en salud de la ubre o indicadores productivos (Andrade *et al.*, 2008). Esta asociación encontrada presenta a la salud de la ubre cómo un fenómeno complejo mediado en parte por las relaciones que establecen o no acciones colectivas a través del establecimiento de redes de cooperación.

Tamaño del sistema de producción y productividad basada en área en pastoreo, animales en producción y promedio de producción por vaca

En cuanto al tamaño del sistema de producción, los pequeños productores son el grupo que presenta el RCSTL más alto significativamente comparado con los medianos y grandes productores. A su vez, es el subgrupo con más baja productividad: pequeños productores (9.1 litros/día/vaca), medianos productores (12.5 litros/día/vaca) y grandes productores (16.4 litros/día/vaca).

En términos generales el sector lechero colombiano padece de prácticas de manejo poco eficientes y ostenta las dinámicas propias de una organización carente de estructura empresarial, de planificación en salud y productividad, de políticas tecnológicas asertivas, de mercados modernos y presenta dificultades financieras, productivas, sociales, políticas y empresariales. Estas condiciones, sumadas a la localización de fincas alejadas de los centros de servicios, insumos y comercialización y el desinterés de la organización social de productores limitan la capacidad de inversión, dificultan la adopción de tecnologías que promuevan la competitividad, la planificación en salud y un mejoramiento de la salud de la ubre (Barrios *et al.*, 2016).

Los sistemas de producción lechera en Colombia se caracterizan por la baja productividad (5.2 litros/vaca/día o 1560 litros/vaca/año) (Barrios *et al.*, 2016) en comparación con los principales países productores de leche, como los Estados Unidos de América (10.394 litros/vaca/año), la Unión Europea (6.521 litros/vaca/año), Argentina (6.035 litros/vaca/año), Ucrania (4.735 litros/vaca/año) y Nueva Zelanda (4.429 litros/vaca/año) (de Souza Almeida *et al.*, 2021). Adicionalmente, la cifra de costos de producción de leche para Colombia para 2014 es más elevada (0.36 USD/Kg) que la cifra para la Unión Europea y los Estados Unidos (0.28 USD/Kg) (Barrios *et al.*, 2016). Los resultados de productividad en las fincas participantes del estudio indican que Briceño es el municipio con la más baja

productividad (8.2 litros/vaca día o 2460 litros/vaca/año) y un promedio general de 12 litros/vaca/día o 3600 litros/vaca/año. En 5 de los 9 municipios el promedio de producción fue superior al promedio nacional, pero muy por debajo en comparación con los países citados. Se encontró que a medida que disminuyen las UFC se incrementa el promedio de producción de leche diario por vaca en producción (litros/día). Altas UFC en leche, están asociadas con problemas en sanidad o deficiencias en la cadena de frío, es decir, ubres con mastitis, contaminación ambiental, contaminación por recipientes, tiempo y temperatura de almacenamiento y problemas en transporte (Ruiz-Cortés *et al.*, 2012). Por su parte, Briceño fue el municipio con el mayor RCSTL lo que es coherente con el proceso fisiopatológico que explica una relación entre mastitis y baja producción de leche debido a la posibilidad de destrucción progresiva de las células secretoras de leche en una infección intramamaria (Bedolla y de León, 2008). Se ha demostrado que además de la ineficiencia en la productividad, las ineficiencias en el manejo técnico y de la salud de la ubre en sistemas lecheros son complejas y dinámicas. En Wisconsin, Estados Unidos se encontró que los productores de leche fueron más ineficientes en el manejo de la salud de la ubre que en la producción. Se demostró que las precipitaciones de verano, la relación deuda-activo, los subsidios agrícolas y los ingresos no agrícolas promueven la ineficiencia técnica en las fincas (Skevas y Cabrera, 2020).

Sistemas de almacenamiento de leche y tipo de ordeño

Según FAO/OMS (2011) en el Códex alimentarius para la leche y productos lácteos donde se identifican más de 40 medidas de seguridad alimentaria en un sistema de producción lechero (FAO y WHO, 2011) y las 21 medidas de inocuidad de la leche planteadas en un estudio en Kenia, el tipo de equipo de ordeño, la limpieza del equipo y el sistema de almacenamiento de leche son cruciales para garantizar leche apta para el consumo humano y el cuidado de la salud pública (Mwambi *et al.*, 2020).

Los productores de leche del Norte de Antioquia que realizan ordeño manual en sus sistemas de producción registraron el RCSTL más alto en comparación con otros sistemas de ordeño. De forma similar, un estudio previo en municipios de la misma zona encontró una asociación entre el tipo de ordeño y la mastitis subclínica, donde el ordeño manual fue considerado un factor de riesgo para desarrollar altas prevalencias de infecciones en la ubre por organismos contagiosos y mastitis subclínicas con RCS mayores a 200.000 células/mL (Ramírez *et al.*, 2014). Así mismo, el ordeño manual se identificó como un riesgo de infección por *Streptococcus agalactiae* en

comparación con el ordeño mecánico (Ramírez *et al.*, 2014). Pyörälä, 1995 citado por Ramírez *et al.*, 2014 plantea que la ubre con mastitis subclínica ha sido considerada una fuente de transmisión para otras vacas, donde las manos del ordeñador en una rutina de ordeño inapropiada van a favorecer la transmisión (Ramírez *et al.*, 2014).

Así mismo, los productores que almacenan la leche en tanques de refrigeración obtuvieron las UFC más bajas en comparación con quienes almacenaban la leche en canecas o en tanque de refrigeración compartidos. Con relación al uso de tecnologías, los productores de leche del Norte de Antioquia participantes del estudio han avanzado en el uso de tanques de refrigeración (89.8%). Por otro lado, el sistema de producción en el Norte de Antioquia muestra un atraso tecnológico de más de 50 años en el uso de sistemas de ordeño, dado que de los participantes del estudio el 28.2% de los productores de leche aún carecen de máquinas de ordeño. La fundación de la Asociación Americana de Ciencias Lecheras afirmó que en la década del 50', el número promedio de vacas por finca era de seis y, aunque el 93% de las fincas tenían energía eléctrica, solo el 51% de las vacas se ordeñaban a máquina (Ruegg, 2017). Este atraso tecnológico evidente en las fincas de productores de leche participantes del estudio puede ser comprendido en parte por la gran cantidad de pequeños productores de leche, la baja productividad, la baja rentabilidad y, por tanto, la poca capacidad de inversión en equipos. Se ha demostrado que el almacenamiento en frío inmediatamente después de la extracción de la leche constituye un proceso crucial para mejorar su calidad higiénica. La leche cruda proporciona un hábitat altamente nutritivo para el crecimiento microbiano que por contaminación podría llegar allí, dado que posee gran cantidad de agua (alrededor del 87% de su composición), macronutrientes (carbohidratos, grasas y proteínas), y micronutrientes (vitaminas, aminoácidos y minerales), además tiene un pH que oscila entre 6.4 y 6.7 (Quigley *et al.*, 2013). Altas tasas de crecimiento microbiano son eficientes especialmente si las temperaturas de almacenamiento están dentro del rango de crecimiento de los microorganismos, de allí la importancia de los tanques de refrigeración de la leche como método de conservación de la leche cruda desde el momento del ordeño hasta la recolección por la empresa acopiadora. Las fuentes de contaminación de la leche son versátiles, incluida la superficie de la ubre de la vaca, las bacterias en la ubre, el alimento, las heces o el equipo de ordeño (Quigley *et al.*, 2013; Hahne *et al.*, 2019).

Sin embargo, garantizar tecnologías en almacenamiento de leche y sistemas de ordeño no es suficiente, ambos requieren además del uso apropiado de la tecnología y de un mantenimiento riguroso, protocolos de limpieza y agua de buena calidad. El

agua utilizada para la limpieza de la ubre, para la limpieza del equipo de ordeño y el almacenamiento de la leche, deberá ser de tal calidad que no afecte negativamente a la inocuidad e idoneidad de la leche. Deben adoptarse precauciones para asegurar que los animales lecheros no consuman o tengan acceso a agua contaminada u otros contaminantes ambientales que puedan causar enfermedades transmisibles a los humanos o contaminar la leche (FAO y WHO, 2011). En el Norte de Antioquia el acceso a agua de buena calidad es un problema en la mayor parte del territorio y la posibilidad de plantas de tratamiento de agua dentro de la finca es remota, lo que implica pensar en la necesidad de políticas que garanticen agua de alta calidad que a su vez promueva producción inocua de leche para consumo humano. En concordancia con la situación del agua en el Norte de Antioquia, en la región semiárida brasilera, un estudio de caracterización de los sistemas de producción, leche y agua de uso en la producción lechera corresponde a agua sin tratamiento, con resultados microbiológicos insatisfactorios, donde se determinó que el agua utilizada en el manejo del ordeño presentó altos conteos de bacterias aerobias mesófilas, coliformes totales y termotolerantes, aguas duras y pH neutro, lo que condicionó la salud de la ubre al alterar la calidad higiénica y sanitaria de la leche (Silveira *et al.*, 2022).

En Colombia es baja la adopción de tecnologías debido a los altos costos de la inversión y al pobre acompañamiento educativo al que acceden los productores de leche con relación a la información, selección y adopción tecnológica. Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA 2001) citado por Barrios *et al.*, 2016, la producción primaria de leche presenta cómo debilidades: escaso uso de sistemas de información tecnológica y de mercados, baja calidad higiénica de leche, baja utilización de sistemas de información, uso inapropiado del suelo y baja productividad por unidad de área, consumo inadecuado y excesivo de insumos, precio elevado de insumos para la producción, bajo nivel técnico de la mano de obra y deficiencia en la infraestructura de apoyo a la producción lechera. En términos generales la producción primaria de leche en Colombia se caracteriza desde hace muchos años por un manejo empírico en las prácticas de manejo, el campo técnico y tecnológico. La mayor parte corresponden a pequeños y medianos productores, cuyo principal objetivo productivo y social se entiende desde la resiliencia limitada por la economía y otros factores, lo que ha limitado la competitividad (Barrios *et al.*, 2016). A pesar de esta caracterización de la producción primaria, las necesidades y problemas de los productores de leche del Norte de Antioquia no trascienden, los eslabones de la cadena láctea tienen intereses particulares, lo que dificulta acciones colectivas. Adicionalmente, la intervención de las

entidades gubernamentales con responsabilidades en la producción pecuaria es insuficiente.

Limitantes del estudio

Son pocos los estudios en Colombia sobre el objeto de estudio propuesto, por tanto, gran parte de nuestros hallazgos fueron contrastados con literatura internacional. Aunque los resultados muestran un panorama acerca de algunas características de las fincas de nueve municipios del Norte de Antioquia, el tipo de muestreo no permite extrapolar los resultados a todas las fincas de la región. La evaluación de ingresos, gastos, rentabilidad, capacidad de inversión e intereses en inversión hubiese complementado satisfactoriamente el análisis de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Según los indicadores biológicos de la salud de la ubre, el RCSTL y las UFC, se observa que un gran porcentaje de productores primarios tiene una calidad deficiente en su leche. Factores como la ubicación de las fincas, la disponibilidad de servicios de laboratorio, la afiliación a agremiaciones de ganaderos, el tamaño del sistema de producción, el método de ordeño, el sistema de almacenamiento de leche, el número de animales en producción, la extensión de las áreas de pastoreo y el rendimiento diario promedio por vaca pueden influir positiva o negativamente en estos indicadores de salud de la ubre. Dado que el acceso a servicios de laboratorio para el diagnóstico de mastitis y la evaluación de la calidad de la leche está ligado a la pertenencia a cooperativas, es esencial promover la asociación de los productores no afiliados y establecer nuevos centros de diagnóstico en la región para mejorar tanto el RCSTL como las UFC. Asimismo, para mejorar la salud de la ubre, especialmente en lo que respecta al RCSTL, se necesita la implementación de tecnología en los sistemas de ordeño. Sin embargo, esta medida es compleja, ya que los pequeños sistemas de producción aún practican el ordeño manual, tienen menos animales y, en consecuencia, menores ingresos, lo que dificulta la inversión en tecnología. La solución a estos desafíos complejos no recae únicamente en los productores de leche, sino que requiere acciones colectivas que involucren redes de colaboración entre los productores de leche, otros actores de la cadena láctea, el gobierno y programas y políticas destinadas a mejorar la salud de la ubre.

Agradecimientos

Agradecemos a los productores de leche, veterinarios y empresas lecheras por participar del estudio. A Minciencias por hacer viable la ejecución del Proyecto.

Funding: RZS received funding from Minciencias <https://minciencias.gov.co/> - National PhD Funding

Program, Call 757 of 2016. The funders had no role in the study design, data collection and analysis, decision publishing or preparing the manuscript.

Conflict of interests. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. This study was approved by the bioethics committee of the University–SIU of the University of Antioquia, approval record 19-101-876. Which is governed by Resolution 8430 of 1993 of the Ministry of Health of Colombia, the principles of the Declaration of Helsinki, the code of federal regulations, title 45, part 46, for the protection of human subjects, the department of health and human services of the National Institutes of Health of the United States (1991) and resolution 2378 of 2008 of the Ministry of Social Protection of Colombia. Signed informed consent was obtained from each participant and endorsement to request data on volume, hygienic, sanitary and compositional quality of the milk from the dairy company to which they sell their milk. The analyzes were based on data that do not contain information that could lead to the identification of the participants.

Data availability. Data are available upon reasonable request from the corresponding author. Email: richard.zapata@udea.edu.co

Author contribution statement (CRediT). **R. Zapata-Salas:** Conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, validation, visualization, writing—original draft, writing—review and editing. **J.F. Guarín-Montoya:** Conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, validation, visualization, writing—original draft, writing—review and editing. **L.A. Ríos-Osorio:** Conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, validation, visualization, writing—original draft, writing—review and editing.

REFERENCES

- Andrade, R., Manrique, F., and Peters, K., 2008. Características productivas y de gestión de fincas lecheras en Boyacá. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), pp. 1333-1342. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-02682008000200008&script=sci_arttext
- Barrios, D., Restrepo-Escobar, F.J. and Cerón-Muñoz M.F., 2016. Antecedentes sobre gestión tecnológica como estrategia de competitividad en el sector lechero colombiano. *Livestock Research for Rural*

- Development*, 28(7), pp. 125.
<http://www.lrrd.org/lrrd28/7/barr28125.html>
- Bedolla, C.C. and de León, M.P., 2008. Pérdidas económicas ocasionadas por la mastitis bovina en la industria lechera. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9(4), pp. 1-26.
<https://www.redalyc.org/pdf/636/63611952010.pdf>
- Cámara de comercio de Medellín para Antioquia., 2017. Informes estudios económicos. Cadena láctea de Antioquia.
<https://www.camamedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones regionales/5 Lacteos Oct19.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia and Departamento Nacional de Planeación., 2010. Conpes 3675. Política nacional para mejorar la competitividad del Sector lácteo colombiano. Bogotá.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3675.pdf>
- Consejo Nacional Lácteo., 2010. Acuerdo de competitividad de la cadena láctea colombiana. Bogotá.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12013/110521_12013.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- de Souza Almeida, F.M., Gomes, A.P. and de Freitas, A.F., 2021. Social networks and efficiency in dairy farming: The case of the Program for the Development of Dairy Farming in Minas Gerais, Brazil. *Livestock Science*, 244, pp. 104401.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104401>
- Derks, M., Van Werven, T., Hogeveen, H. and Kremer, W.D.J., 2013. Veterinary herd health management programs on dairy farms in the Netherlands: use, execution, and relations to farmer characteristics. *Journal of Dairy Science*, 96(3), pp. 1623-1637.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6106>
- Dohoo, I.R., Martin, W., and Stryhn, H.E., 2003. Veterinary epidemiologic research. Charlottetown: University of Prince Edward Island. <https://projects.upei.ca/ver/>
- FAO and WHO., 2011. Codex Alimentarius Commission. Codex alimentarius. Milk and milk products. Rome: FAO. WHO. <https://www.fao.org/3/i2085e/i2085e00.pdf>
- Forney, J. and Häberli, I., 2017. Co-operative values beyond hybridity: The case of farmers' organisations in the Swiss dairy sector. *Journal of Rural Studies*, 53, pp. 236-246.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.003>
- Fuenzalida, M.J. and Ruegg, P.L., 2019. Negatively controlled, randomized clinical trial to evaluate use of intramammary ceftiofur for treatment of nonsevere culture-negative clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 102(4), pp. 3321-3338.
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15497>
- Gallo, N.E., Meneses, Y.A. and Minotta, C., 2014. Caracterización poblacional vista desde la perspectiva del desarrollo humano y el enfoque diferencial. *Investigación y Desarrollo*, 22(2), pp. 360-401.
<http://www.scielo.org.co/pdf/indes/v22n2/v22n2a09.pdf>
- González, A., Valderrama, P., Samacá, H., Quintero, L., Becerra, I., Arguello, R., Parra, L.F., Viveros, J.S., Giraldo, J. and Castellanos, J.M., 2021. Plan de ordenamiento productivo. Análisis prospectivo de la cadena láctea bovina colombiana. Bogotá: UPRA. https://www.andi.com.co/Uploads/20200831_DT_AnalisisProspectivoVF.pdf
- Griffioen, K., Velthuis, A.G., Lagerwerf, L.A., Heuvelink, A.E. and Lam, T.J., 2018. Agreement between four commercial diagnostic tests and routine bacteriological culture of milk to determine the udder infection status of dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 157, pp. 162-173.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.07.003>
- Hahne, J., Isele, D., Berning, J. and Lipski, A., 2019. The contribution of fast growing, psychrotrophic microorganisms on biodiversity of refrigerated raw cow's milk with high bacterial counts and their food spoilage potential. *Food Microbiology*, 79, pp. 11-19.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.10.019>
- Hassan, M.M., El Zowalaty, M.E., Lundkvist, Å., Järhult, J.D., Nayem, M.R.K., Tanzin, A., Badsha, M.R., Khan, S.A., Ashour, H.M., 2021. Residual antimicrobial agents in food originating from animals. *Trends in Food Science & Technology*, 111, pp. 141-150.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.075>

- Hoyos, J., García, C. and Currea, I. 2020. Una mirada a la industria láctea de Antioquia. Lo que nos dicen las series de tiempo. Boletín estadístico 3. Octubre 2020. CEDAIT – FEDEGAN. <https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/de5fcf8d-8700-45bb-83fe-9f8827b5337a/Boleti%CC%81n+Estadistico+una+mirada+a+la+industria+lactea+en+antioquia.+boleti%CC%81n+para+publicar+pa%CC%81gina+del+cedait+octubre.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nmvYLbl>
- Kromker, V. and Leimbach, S., 2017. Mastitis treatment-Reduction in antibiotic usage in dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 52, pp. 21-29. <https://doi.org/10.1111/rda.13032>
- Lam, T.J.G.M., Olde Riekerink, R.G.M., Sampimon, O.C. and Smith, H., 2009. Mastitis diagnostics and performance monitoring: a practical approach. *Irish Veterinary Journal*, 62, pp. 34-39. <https://doi.org/10.1186/2046-0481-62-S4-S34>
- Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. Bogotá. Resolución 017 de 2012. (Enero 20 de 2012). <https://www.ica.gov.co/getattachment/0675ddef-933f-4436-95bd-6f757ec88872/2012R17.aspx>
- Múniera-Bedoya, O.D., Cassoli, L.D., Machado, P.F. and Cerón-Muñoz, M.F., 2017. Influence of attitudes and behavior of milkers on the hygienic and sanitary quality of milk. *PLoS One*, 12(9), pp. e0184640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184640>
- Mwambi, M., Bijman, J., Mshenga, P. and Oosting S., 2020. Adoption of food safety measures: The role of bargaining and processing producer organizations. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 92, pp. 100337. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2020.100337>
- Pinzón-Sánchez, C., Cabrera, V. and Ruegg, P., 2011. Decision tree analysis of treatment strategies for mild and moderate cases of clinical mastitis occurring in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 94, pp. 1873-1892. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3930>
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T.B., Paul Ross, R., Fitzgerald, G.F., and Cotter, P.D., 2013. The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37, pp. 664–698. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>
- Ramírez, N.F., Keefe, G., Dohoo, I., Sánchez, J., Arroyave, O., Cerón, J., Jaramillo, M. and Palacio, L.G., 2014. Herd-and cow-level risk factors associated with subclinical mastitis in dairy farms from the High Plains of the northern Antioquia, Colombia. *Journal of Dairy Science*, 97(7), pp. 4141-4150. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6815>
- Royster, E. and Wagner, S., 2015. Treatment of mastitis in cattle. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 31, pp. 17-46. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.11.010>
- Ruegg, P., Godden, S., Lago, A., Bey, R. and Leslie, K., 2009. On-farm culturing for better milk quality. In *Proceedings of 2009 Western Dairy Management Conference*, pp. 149-159. <http://wdmc.org/2009/On%20Farm%20Culturing%20for%20Better%20Milk%20Quality.pdf>
- Ruegg, P.L., 2017. A 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 100(12), pp. 10381-10397. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13023>
- Ruegg, P.L., 2018. Making antibiotic treatment decisions for clinical mastitis. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 34(3), pp. 413-425. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.06.002>
- Ruiz-Cortés, T., Orozco, S., Rodríguez, L.S., Idárraga, J. and Olivera, M., 2012. Factores que afectan el recuento de UFC en la leche en tanque en hatos lecheros del norte de Antioquia-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 15(1), pp. 147-155. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.812>
- Russell, R.A. and Bewley, J.M., 2011. Producer assessment of dairy extension programming in Kentucky. *Journal of Dairy Science*, 94(5), pp. 2637-2647. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3840>
- Santman-Berends, I.M.G.A., Lam, T.J.G.M., Keurentjes, J. and van Schaik, G., 2015. An estimation of the clinical mastitis incidence per 100 cows per year based on routinely collected herd data. *Journal of Dairy Science*, 98, pp. 6965-6977. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9642>

- Silveira, R.M.F., da Silva, V.J., Ferreira, J., dos Santos, R.O., Vega, W.H.O., Sales, D.C., Sales, A.P., Castro, M.S.M., Toro-Mujica, P. and Vasconcelos, A.M., 2022. Diversity in smallholder dairy production systems in the Brazilian semiarid region: Farm typologies and characteristics of raw milk and water used in milking. *The Journal of Arid Environments*, 203, pp. 104774. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104774>
- Skevas, T. and Cabrera, V.E., 2020. Measuring farmers' dynamic technical and udder health management inefficiencies: The case of Wisconsin dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 103(12), pp. 12117-12127. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18656>
- Trujillo, C.M., Gallego, A.F., Ramírez, N., and Palacio, L.G., 2011. Prevalence of mastitis in dairy herds in Eastern Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(1), pp. 11-18. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-06902011000100003&lng=pt&nrm=iso&tln_g=en
- Vásquez, J.F., Loaiza, E.T. and Olivera, M., 2012. Calidad higiénica y sanitaria de leche cruda acopiada en diferentes regiones colombianas. *Orinoquia*, 16(2), pp. 13-23. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000200002
- Zapata-Salas, R., Guarín, J.F. and Rios, L.A., 2022a. Conceptual characterization of udder health in dairy systems: a systematic review 1962 – 2019. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(103), pp. 103. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4168>
- Zapata-Salas, R., Guarín, J.F. and Ríos-Osorio, L.A., 2022b. Udder health, conceptual construct, and uses of the term: A systematic review from 1962 to 2019. *Veterinary World*, 15(4), pp. 855-69. <http://www.doi.org/10.14202/vetworld.2022.855-869>