

Evaluación de la calidad composicional, sanitaria y microbiológica de la leche en el municipio de Sapuyes, departamento de Nariño, en el año 2021

Evaluation of the compositional, sanitary and microbiological quality of milk in the municipality of Sapuyes, department of Nariño, in the year 2021

Carlos Lima Rodríguez¹ ; Henry Jurado-Gómez*¹ ; Álvaro Pazos-Moncayo¹ 

*henryjugam@gmail.com

Forma de citar: 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: e22049. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.54.e:22049> 

Resumen

Introducción: la leche bovina es un producto de primera necesidad, con alto valor nutricional para la población. Sin embargo, en el departamento de Nariño, los estudios para valorar su calidad son escasos. **Objetivo:** evaluar la calidad composicional, sanitaria y microbiológica de la leche cruda de vacas Holstein mestizas en Nariño. **Métodos:** se incluyeron 1056 muestras de leche tomadas cada 15 días después del parto a 45 hembras. La calidad composicional se evaluó mediante densidad, punto crioscópico y acidez por NTC4987, y a partir de los porcentajes de grasa, proteína, sólidos no grasos (SNG) y lactosa. La calidad sanitaria se determinó mediante antibióticos en leche, recuento de células somáticas (RCS) por PortaSCC y prueba presuntiva de mastitis (CMT). La calidad microbiológica, por presencia de enterobacterias, mohos y levaduras; *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, según Charm Sciences Inc. Se comparó el tercio de lactancia y los cuartos de la ubre con un diseño de medidas repetidas, y se relacionaron las variables con estadística multivariante. **Resultados:** se encontraron diferencias por tercios para proteína, grasa, SNG, ST, lactosa, acidez y pH ($p < 0,05$), resultados consistentes con la literatura. La leche fue negativa para antibióticos, no hubo diferencias en RCS y 21 muestras fueron positivas a CMT. Se observó presencia de todos los microorganismos evaluados, y el análisis multivariante mostró un agrupamiento de las variables microbiológicas con el RCS y la precipitación (OR 2,35 95 % CI 1,67 a 6,4). **Conclusiones:** el aumento de la pluviosidad incrementa en 2,4 veces el riesgo de infección y mastitis subclínica, lo cual indica que la calidad higiénica de la leche cruda debe mejorarse.

Palabras clave: Alimento; Bovino; Inocuidad; Higiene; Precipitación; Salud pública.

¹Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

Abstract

Introduction: Bovine milk is a staple product, with high nutritional value for the population. However, the studies in Nariño to assess its quality are scarce. **Objective:** the compositional, sanitary and microbiological quality of raw milk from crossbreed Holstein cows in Nariño was evaluated. **Methods:** A total of 1056 milk samples taken every 15 days after calving from 45 females were included. The compositional quality was evaluated by means of density, cryoscopic point and acidity by NTC4987 and the percentages of fat, protein, non-fat solids (SNG) and lactose. Sanitary quality was determined using milk antibiotics, somatic cell count (SCC) by PortaSCC and presumptive mastitis test (CMT). The microbiological quality, by the presence of Enterobacteriaceae, molds and yeasts, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* according to Charm Sciences Inc. The third of lactation and the fourths of the udder were compared with a repeated measures design and the variables were related with multivariate statistics. **Results:** differences by thirds were found for protein, fat, SNG, ST, lactose, acidity and pH ($p < 0,05$), results consistent with the literature. The milk was negative for antibiotics, there were no differences in RCS and 21 samples were positive for CMT. The presence of all the microorganisms evaluated was observed and the multivariate analysis showed a grouping of the microbiological variables with the SCR and precipitation (OR 2,35 95% CI 1,67 to 6,4). **Conclusions:** increased rainfall increases the risk of infection and subclinical mastitis by 2,4 times, indicating that the hygienic quality of raw milk should be improved.

Keywords: Food; Cattle; Safety; Hygiene; Precipitation; Public health.

Introducción

La industria lechera tiene un importante reto frente a los consumidores, dado que las personas exigen productos de alta calidad e inocuidad¹. La calidad de la leche y sus productos derivados depende de muchos factores, entre los que se encuentran el manejo nutricional y sanitario de los animales, el uso de la materia prima y la manipulación de esta durante el proceso de ordeño².

Lo anterior evidencia la importancia del primer eslabón de la cadena, donde las variables de manejo y sanidad cumplen un rol importante en la obtención de leche de calidad³. A pesar de que en Colombia existe una normativa que regula el pago por calidad⁴, 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 consumidor⁵.

Sobre lo anterior, el Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea Colombiana⁶ define el concepto de calidad de la leche en tres componentes: higiénico, composicional y sanitario. Al respecto, la investigación ha demostrado que están relacionados, y se puede influir de manera positiva o negativa sobre estos parámetros a través de la nutrición, la genética y el manejo⁷, lo que demuestra la importancia de estos elementos en la obtención de una leche con altos atributos para la industria de procesamiento y para el consumidor.

Por otra parte, el departamento de Nariño pertenece a una de las principales zonas lecheras del país, con un

importante volumen de leche producida. De acuerdo con el Consejo Nacional Lácteo⁶, el departamento se encuentra en la macrocuenca Suroccidente, junto con los departamentos de Cauca y Putumayo. Dentro de las amenazas observadas para esta zona, se encontró que los procesos de industrialización son bajos en comparación con las otras regiones productoras, y más del 80% de la leche se comercializa de manera informal, lo que puede traer problemas de salud pública. Esto último pone de manifiesto la poca información sobre parámetros composicionales, microbiológicos y sanitarios de la leche producida, y, con ello, un desconocimiento por parte del productor y su relación con la salud del consumidor⁸.

En el departamento de Nariño, la actividad de producción de leche se desarrolla en 57 de sus 64 municipios, lo que representa el 89% de la región. El departamento se encuentra en quinto lugar como zona productora de leche, lo que hace de esta una región importante para el clúster lechero de Colombia. Se tienen tres cuencas lecheras principales: la zona sur, la sabana y la exprovincia de Obando, que tienen una producción cercana a los 931 000 litros diarios, lo que representa un 4,35% de la producción nacional, aproximadamente⁹.

La producción de leche ha mejorado en el ganado bovino, especialmente en las razas europeas como la Holstein. Esta raza se caracteriza por una elevada producción de leche. Sin embargo, la selección genética ha tenido un impacto negativo sobre los sólidos totales, ya que es una raza con baja producción de estos parámetros, por lo que se busca mejorarlos¹⁰.

Asimismo, hay otros parámetros que cambian la composición de la leche, entre estos se encuentra la alimentación, que es un factor que altera de manera más evidente la producción de grasa, lo que ha permitido mejorar su valor con el manejo nutricional. Por otra parte, la proteína de la leche tiene un elevado componente genético, lo que dificulta su mejora con actividades de manejo, por lo que se recurre al mejoramiento genético para lograr incrementos¹¹.

En cuanto a la parte sanitaria, los estudios han demostrado que la producción de leche se ve afectada por la presencia de mastitis, que altera en cierta medida los parámetros composicionales de la leche, especialmente cuando el recuento de células somáticas es mayor a los 600 000 UFC/mL¹².

A partir de lo anterior, se buscó determinar la calidad composicional, sanitaria y microbiológica de la leche y el impacto que puede tener sobre la salud del consumidor.

Métodos

La presente investigación se realizó en la finca lechera San Antonio, ubicada en el municipio de Sapuyes, a 77 km de Pasto (capital de Nariño), a una altura de 2800 m s. n. m., con temperatura promedio de 11 °C, precipitación media anual de 800 mm y humedad relativa del 75 %.

Se usaron 45 bovinos hembra Holstein criollo al inicio de la lactancia, con un peso de 450 ± 80 kg, las cuales se mantuvieron en un sistema rotacional con una mezcla de pasto saboya (*Holcus lanatus*) y kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), y fueron suplementadas con 1 kg de balanceado comercial al día. Se tomaron 100 mL de leche de cada pezón de la ubre, que fueron refrigerados inmediatamente para ser transportados al laboratorio para los respectivos análisis. El muestreo se realizó cada 15 días durante toda la lactancia, para un total de 21 muestras por vaca. Las muestras fueron recolectadas de acuerdo con las disposiciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 616¹³.

En las muestras se determinaron los parámetros composicionales de acidez, pH, punto crioscópico (Cryoscan SP 122, Alemania) y proteína (%), grasa(%), sólidos no grasos (%) y lactosa (%), mediante el equipo Lactoscan SP 345 (Alemania). De igual manera, la calidad sanitaria se determinó con la prueba de antibióticos en leche, mediante el kit Charm MRL (ROSA MRLBLTET, EE. UU.), el recuento de células somáticas (Kit Porta PortaSCC®, EE. UU.)

y la prueba presuntiva de mastitis (CMT, EE. UU.). Finalmente, sobre las muestras positivas en CMT, se determinó la presencia de enterobacterias, mohos y levaduras, coliformes totales, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, de acuerdo con los kits de Charm Sciences INC (New York, EE. UU.).

Para evaluar el impacto en la salud, se realizó la comparación de los resultados con la normatividad vigente en Colombia, especialmente con la relacionada en la Resolución 0000017 de 2012 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural sobre la calidad higiénica de la leche. De igual manera, se tomó como referente la NTC 399 de 2002 para determinar los requisitos mínimos que debe cumplir la leche cruda para el consumo humano.

Para la descripción de las variables se utilizó estadística descriptiva como media y desviación estándar. Se evaluaron las diferencias entre los cuartos de la ubre, al igual que las diferencias entre los tercios de lactancia; para ello, se desarrolló un modelo de medidas repetidas en el tiempo, donde los cuartos de la ubre y los tercios se colocaron en el modelo como efectos fijos, y los muestreos como efecto aleatorio. La relación entre todas las variables se calculó con técnicas de análisis multivariante, y se utilizó la matriz de similitudes para construir un mapa de calor; a este se unió un dendrograma con utilización de distancias euclidianas para visualizar de forma más efectiva las variables relacionadas. Finalmente, las relaciones relevantes se ajustaron a un análisis de chi-cuadrado, con el fin de comprender mejor su efecto. La recolección y organización de la información se realizó en una hoja de cálculo Excel, y para el análisis de la información se utilizó el programa estadístico R versión 3.5.0¹⁴, junto con los paquetes WRS2 1.1.3 y pheatmap 1.0.12.

Resultados y discusión

Los resultados estadísticos para la mayoría de las variables composicionales mostraron diferencia en el tercio de lactancia ($p < 0,05$), y no se encontraron diferencias entre los cuartos de la ubre ($p > 0,05$), por lo que el análisis se centra en los primeros.

Los parámetros proteína, grasa, sólidos no grasos, sólidos totales y lactosa se observan en la **Figura 1**. Se encontraron diferencias significativas entre los tercios de lactancia para todas las variables ($p < 0,05$).

Las variables acidez, pH, punto crioscópico y densidad se pueden ver en la **Figura 2**. El efecto del tercio fue

significativo para la acidez y el pH ($p < 0,05$), mientras que no se observaron diferencias en las variables punto crioscópico y densidad ($p > 0,05$).

En cuanto a los parámetros sanitarios, el recuento de células somáticas fue similar entre tratamientos ($p > 0,05$); se encontró una media de 328 000, 270 000 y 304 000 UFC/mL para el primer, segundo y tercer tercio

de lactancia, respectivamente, con valores mínimos y máximos de 50 000 y 700 000 UFC/mL. La prueba para antibióticos fue negativa en todas las muestras. Los resultados para las pruebas de CMT se encuentran en la **Tabla 1**. Los resultados para los parámetros microbiológicos se pueden ver en la **Tabla 2**. Las 21 muestras positivas del test CMT mostraron presencia de los microorganismos evaluados.

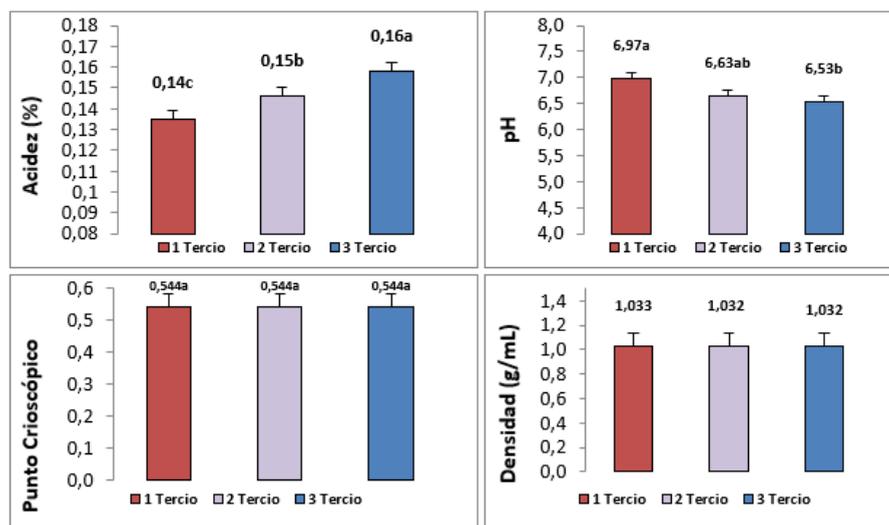


Figura 1. Análisis composicional de las muestras de leche en los diferentes tercios de lactancia de vacas Holstein mestizas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

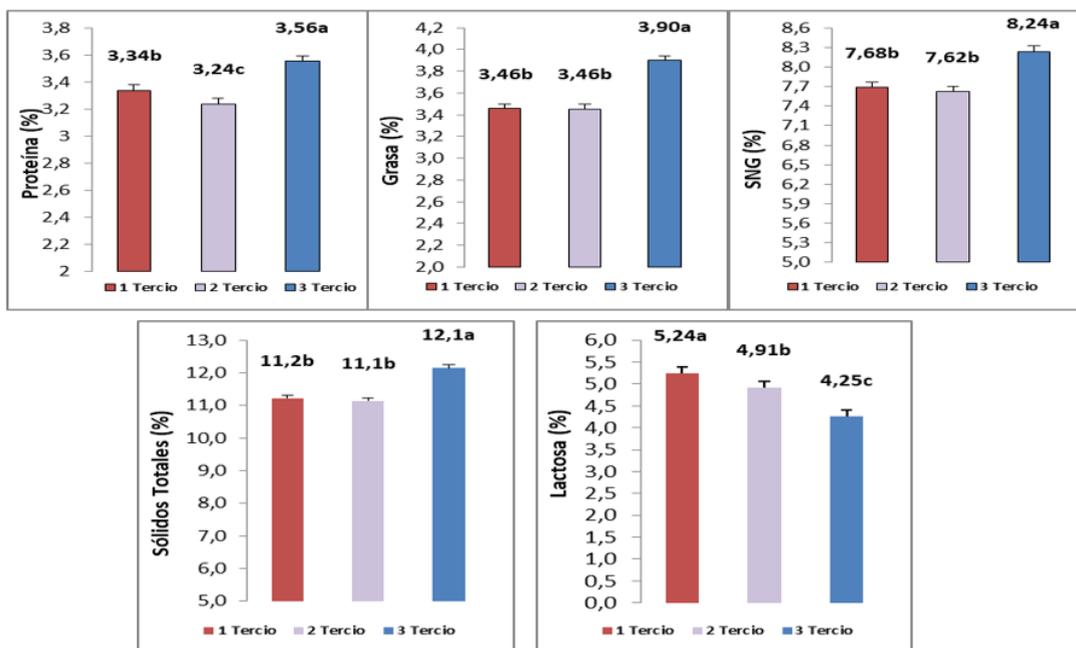


Figura 2. Parámetros físicos de las muestras de leche y producción diaria en los diferentes tercios de lactancia de vacas Holstein mestizas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 1. California mastitis test (CMT) en los tres tercios de la ubre de vacas Holstein mestizas.

Tercio	CMT		Total
	0	1	
1. ^{er}	410 (98,6%)	6 (1,4%)	416
2. ^o	294 (98,0%)	6 (2,0%)	300
3. ^{er}	331 (97,4%)	9 (2,6%)	340
Total	1035 (98,02)	21 (1,98)	1056

0: muestras negativas a CMT; 1: muestras positivas a CMT

Tabla 2. Variables microbiológicas en los tres tercios de la ubre de vacas Holstein mestizas.

Tercio	Enterobacterias	Mohos y levaduras	Coliformes totales	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
1. ^{er}	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)
2. ^o	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)
3. ^{er}	9 (100%)	9 (100%)	9 (100%)	9 (100%)	9 (100%)
TOTAL	21 (100%)	21 (100%)	21 (100%)	21 (100%)	21 (100%)

De igual manera, los resultados para la relación entre las variables se pueden observar en la **Figura 3**. Se encontró un grupo bien definido que corresponde a los parámetros sólidos no grasos, sólidos totales, proteína y grasa. Asimismo, se observó una relación entre las variables pluviosidad (época de invierno), el recuento de células somáticas y la prueba de CMT. El análisis

de chi-cuadrado para estas variables fue significativo ($p < 0,05$) y permitió encontrar un aumento de la incidencia de casos de CMT en 2,4 veces durante la época de lluvia (OR 2,35 95% CI 1,67 a 6,4), factor que se refleja en un incremento de las células somáticas durante el periodo de alta pluviosidad de la zona.

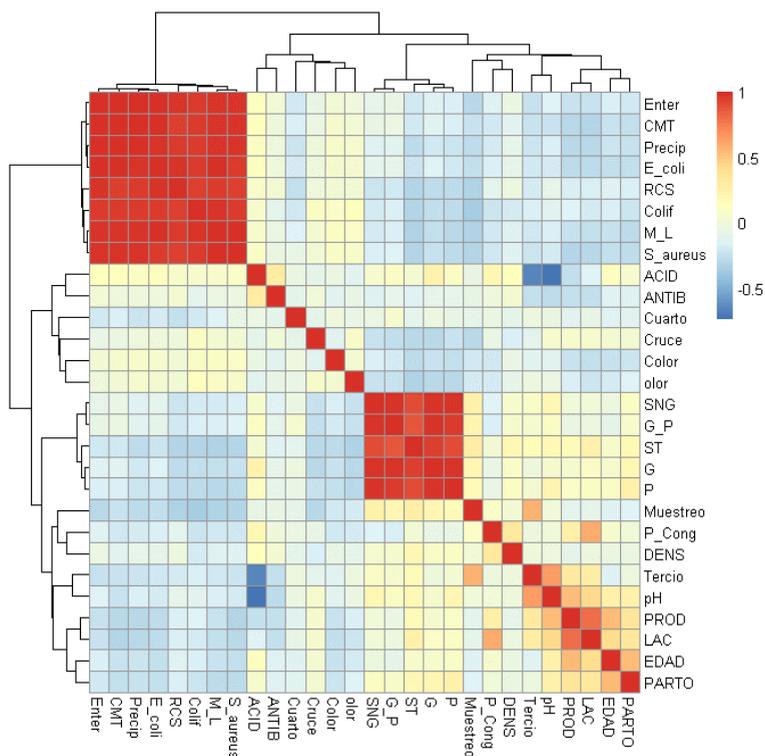


Figura 3. Mapa de calor de la correlación de las variables composicionales, microbiológicas y sanitarias de la leche cruda.

Se encontró mayor porcentaje de proteína en el último tercio, seguido del primero y finalmente el segundo. Este comportamiento ha sido identificado por varios autores en curvas de lactancia para vacas Holstein puras y mestizas^{15,16}. Por otra parte, los resultados reportados por Jurado-Gómez *et al.*¹⁷ y Muñoz *et al.*¹ en diferentes estudios indican valores de proteína de 3,00, 2,92 y 3,17 para el primer, segundo y tercer tercio de lactancia en el trópico alto de Nariño; estos datos son menores a los reportados en la **Figura 1**, lo que demuestra la variabilidad en los datos para los parámetros composicionales del departamento. Estos cambios responden a distintos factores, entre los que se puede considerar la genética, la alimentación y el sistema de manejo¹⁸.

De acuerdo con García *et al.*¹⁹, la proteína de la leche de vaca oscila entre 3 y 4 %, valor que está dentro de lo encontrado en esta investigación. Al respecto, Cipolat-Gotet *et al.*²⁰ indican que la proteína es muy importante para la industria láctea, debido a su influencia en la producción de queso, pues este es uno de los derivados lácteos más apetecidos por el consumidor y, por consiguiente, el de mayor comercialización. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la raza define la producción de proteína a nivel hereditario, por lo que las modificaciones a este parámetro se logran de manera sustancial con la selección; esto demuestra que los niveles de proteína observados obedecen a la capacidad adaptativa de los animales al medio de la región.

La grasa tuvo un incremento en su contenido en el tercer tercio de lactancia ($p < 0,05$). Al respecto, Stoop *et al.*²¹ manifiestan que la reducción durante este periodo es consecuencia de los cambios en la energía del animal, dado que al inicio del segundo tercio se encuentra el pico de producción y esto trae como efecto un balance energético negativo y una mayor utilización de los nutrientes. Junto con lo anterior, el incremento de la producción durante esta etapa se debe a un aumento del volumen de agua de la leche que diluye la cantidad de grasa producida y que baja su porcentaje.

Los estudios realizados en el trópico alto de Nariño muestran un comportamiento menor, ya que se observan porcentajes de 2,72, 2,74 y 2,36 para primer, segundo y tercer tercio de lactancia^{1,17}. Este comportamiento puede ser consecuencia del tipo de manejo que se realice a los animales. Al respecto, Hanuš *et al.*²² mencionan que la grasa de la leche es un componente que deriva de tres condiciones en la vaca: la primera, la alimentación; la segunda, las reservas corporales; y la tercera, la síntesis *de novo*. Por ello, este parámetro

puede, en cierta proporción, modificarse mediante fuentes externas al animal (alimentación). A pesar de que la alimentación es un componente importante en la modificación del porcentaje de grasa en la leche, en el estudio no se aborda debido a que todos los animales fueron alimentados y manejados de manera uniforme, lo que no permite hacer diferenciación en la evaluación del parámetro.

Como ha venido sucediendo con las otras variables, el contenido de sólidos no grasos (SNG) mostró diferencias en el tercio de lactancia ($p < 0,05$). Los resultados son similares a los reportados por Campabadal²³, quien menciona un contenido entre 7,23 a 8,38 de SNG en ganado Holstein en animales en pastoreo. Este valor está entre los reportados para los tres tercios de lactancia. De igual manera, los estudios realizados en Nariño han encontrado valores de 8,45, 8,44 y 8,43 para el primer, segundo y tercer tercio de lactancia^{17,24}. Estos porcentajes son mayores para el primer y segundo tercio, sin embargo, se debe tener en cuenta que la información viene de diferentes estudios, lo que podría explicar los cambios en el contenido de SNG.

Los sólidos totales presentaron resultados estadísticos similares a SNG, esto se explica porque este parámetro no fue medido de forma directa, sino que se obtuvo mediante fórmula matemática, en la cual los sólidos no grasos tienen un peso preponderante. Por otra parte, los resultados son similares a los obtenidos por Gallego-Castro *et al.*²⁵, con valores entre 11,61 y 11,86 para ganado Holstein en zonas superiores a los 2600 m s. n. m.

Los reportes de lactosa en las vacas Holstein muestran porcentaje de 4,78 a 5,23 en diversos estudios^{26,28}. De igual manera, Jurado-Gómez *et al.*¹⁷ indican valores similares para el primer y tercer tercio (5,12 y 5,13), lo que demuestra que el grupo de animales evaluados no mostró cambios importantes en la zona de evaluación. Al respecto, la lactosa es el azúcar de la leche, y es relevante para la elaboración de productos fermentados, dado que es el combustible energético de las bacterias para su transformación en componentes ácidos, especialmente las bacterias ácido lácticas²⁹. Entre los derivados fermentados se encuentran el yogur, kéfir, kumis, entre otros, que son muy apetecidos por el consumidor y cuya calidad tecnológica depende de varios parámetros, entre ellos la lactosa.

Los resultados para pH indicaron que este parámetro disminuye con el cambio de tercio de lactancia, lo que muestra un comportamiento inverso en comparación con la acidez. El estudio realizado por Jurado-Gómez *et al.*¹⁷

muestra valores de 7,01 y 6,79 para el primer y tercer tercio de lactancia, valores que se encuentran por encima de lo reportado en esta investigación. Al respecto, Bagri *et al.*⁷ indican que la leche de ganado bovino debe estar entre 6,5 y 6,8, esto como consecuencia de la presencia de sustancias como la caseína, aniones fosfóricos y cítricos, que reducen el pH de la leche. Lo anterior demostró que el pH estuvo entre los límites propuestos para la leche de vaca.

El punto crioscópico no tuvo cambios significativos a través de la lactancia ($p > 0,05$), lo que muestra que no se ve afectado en el tiempo. Los resultados de Jurado-Gómez *et al.*¹⁷ fueron inferiores, con valores de $-0,517$ a $-0,527$, que están por debajo de lo encontrado en esta investigación. Como se mencionó antes, los valores reportados para realizar la comparación de los resultados no pertenecen a un solo conjunto de lactancias, lo que podría justificar los valores mayores de esta investigación. El punto crioscópico tiene importancia para la identificación de leches adulteradas, por lo que los resultados son coherentes con los reportes de comportamiento de la variable²⁸.

Para la densidad, los valores reportados marcan un punto medio cercano a 1,032. La normatividad y los estudios realizados en Nariño muestran un rango de 1,030 a 1,032^{13,17}. Esto evidencia baja modificación de este parámetro a través de la lactancia, pues el tercio no presenta modificación sobre este parámetro. Estos resultados son congruentes con lo encontrado por Alcántara *et al.*³⁰, quienes observaron que este parámetro físico no se altera durante la lactancia, a pesar de que se presentan cambios en los valores composicionales de la leche.

Se encontró una mayor producción de leche por vaca en el primer tercio, y fue descendiendo hasta el último tercio. Los estudios realizados en el departamento de Nariño muestran valores de producción promedio de 14 litros por vaca en zonas de ganadería especializada³¹, y un promedio general de 9 litros para todo el departamento³². El resultado medio de toda la lactancia para el estudio muestra un promedio general de 8 litros, lo que concuerda con lo mencionado anteriormente. De igual manera, los reportes de Jurado-Gómez *et al.*¹⁷ y Muñoz *et al.*¹ muestran valores de 20,33, 21,22 y 8,53 para el primer, segundo y tercer tercio de lactancia, lo que evidencia una menor producción en el sistema evaluado.

La producción de leche es un parámetro importante para el productor, dado que de este dependen en gran

medida los ingresos del sistema. Sin embargo, se está evidenciando cada vez más la necesidad de mejorar los parámetros composicionales como consecuencia del pago por calidad de la leche, que a nivel de Colombia se encuentra reglamentado por la Resolución 000017 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia⁴.

Por otro lado, las vacas Holstein se han caracterizado por una elevada producción de leche, y este factor, junto con su adaptación a climas fríos, ha generado su difusión en la zona de trópico alto de Nariño. De igual manera, los cruces con otras razas presentan mayor resistencia a los cambios climáticos y a los frecuentes cambios de temperatura que se observan en las zonas altas, con una radiación solar más directa durante el día, que tiende a estresar a estos animales, y una bajada abrupta de temperatura al caer la noche, que crea un ambiente propicio para la generación de problemas sanitarios y fisiológicos³³.

Los recuentos de células somáticas demuestran una baja calidad higiénica de la leche producida en el hato. Al respecto, Jurado *et al.*¹² observaron valores de 50 000 hasta 2 000 000 UFC/mL en tres regiones de Nariño, con un promedio de 350 000 UFC/mL, valor inferior al observado. Esto demuestra la dificultad del hato para mantener valores cercanos a los solicitados por la resolución 000017 del MAD⁴, que establece un recuento entre 175 000 y 200 000 UFC/mL para la región 1, a la cual pertenece la cuenca lechera de Nariño. Esto puede evidenciar problemas de higienización dentro del hato, que muestran un elevado recuento de células somáticas, y, con ello, una reducción de la calidad de la leche; lo anterior hace prever que la leche no es apta para el consumo humano si no se realiza la adecuada esterilización del producto.

Los estudios al respecto muestran que la calidad higiénica es importante para evitar problemas de salud pública en los consumidores finales, quienes pueden adquirir enfermedades de transmisión zoonótica que requieran atención especializada. Sin embargo, los resultados de *California Mastitis Test* (CMT) encontraron pocas muestras con presencia de mastitis, y los resultados mostraron que estos estaban en la escala 1, valor más bajo a la hora de revisar los problemas higiénicos.

De los microorganismos evaluados, *S. aureus* y *E. coli* son bacterias comúnmente asociadas con la presencia de mastitis, pero el primero es más recurrente en los hatos lecheros especializados del mundo. Los problemas que generan las infecciones intramamarias

tienen un impacto directo sobre la productividad, por cuanto afectan la calidad composicional de la leche y el manejo requiere el uso de antibióticos que evitan su comercialización durante el periodo de retiro del medicamento³³. De igual manera, la presencia de estos microorganismos altera la composición de la leche con un incremento en la acidez y la consiguiente pérdida de estabilidad de los componentes de la leche, que trae como consecuencia una fácil precipitación de los mismos²⁹.

Por otra parte, *E. coli* es un huésped natural del tracto gastrointestinal del bovino; sin embargo, los estudios demuestran que un mal manejo sanitario incrementa la probabilidad de contaminar la leche con este microorganismo. Aunque en menor cuantía, los casos de mastitis se pueden dar, con la consiguiente pérdida de productividad en los hatos lecheros. De igual manera, la presencia de este microorganismo en la leche muestreada es un grave indicio de su baja calidad higiénica, especialmente cuando el ganado bovino es huésped de la cepa O157:H7, microorganismo con mayor patogenicidad de su grupo.

Además, los estudios en Colombia demuestran que *S. aureus* está presente en los sistemas de leche especializados, y, por ello, su identificación y control son importantes. Se indica que la pérdida para el productor va desde un 10% hasta un 20% de las utilidades, esto muestra el alto impacto que genera en la rentabilidad por los gastos en su control y por la pérdida de leche producida, además de la posibilidad de presentar problemas de transmisión zoonótica a los consumidores cuando estos ingieren la leche cruda^{5,34}.

Los parámetros microbiológicos y sanitarios (RCS) observados indican que la zona de evaluación presenta dificultades en el recuento de células somáticas presentadas a la industria y al consumidor, dado que sus recuentos son mayores a los requeridos para garantizar la inocuidad de la leche y, con ello, disminuir el impacto sobre la salud pública. Sin embargo, esto puede convertirse en una oportunidad de mejora para el sector. La Norma Técnica Colombiana 399 indica que los recuentos deben ser máximos de 700 000 UFC/mL, pero se debe resaltar que la resolución 00017 de 2012 permite la bonificación de la leche con valores menores a 200 000 UFC/mL para realizar una bonificación, lo que condiciona más los resultados que debe obtener el productor.

La relación entre las variables composicionales se explica por su origen, dado que se sintetizan en su

mayoría en la glándula mamaria, lo que relaciona su producción y su distribución porcentual en la leche³. Al respecto, Jurado *et al.*¹² también identificaron la relación entre los componentes de la leche en lecherías especializadas del departamento de Nariño, y demostraron que se relaciona por los volúmenes de producción, donde este es el factor vinculante.

El segundo grupo estuvo representado por las pruebas microbiológicas evaluadas y por la época (precipitación). La relación estrecha entre estas variables y la precipitación responde a problemas de encharcamiento en los potreros de la finca, que incrementaron la probabilidad de ensuciar las ubres, aunado a un incremento de la humedad del ambiente, que permite una mayor proliferación de los microorganismos, con mayores posibilidades de infección de la ubre.

Jurado *et al.*¹² observaron una relación directa entre los cambios de precipitación del lugar y la presencia de mastitis; en el estudio se concluyó que las infecciones producidas por los microorganismos *E. coli* y *S. aureus* se produjeron por factores como el incremento de la humedad, una mayor exposición del personal del ordeño a excrementos de los animales, como consecuencia de un mal manejo al ingreso del ordeño, y problemas de patas en los animales que sensibilizaban a las hembras.

Conclusiones

Los parámetros composicionales muestran valores acordes con los solicitados por la normatividad colombiana, por lo que demuestran la alta calidad composicional que ofrecen los hatos lecheros de la región nariñense. Sin embargo, la calidad higiénica y microbiológica de la leche fue mala por la presencia de microorganismos patógenos para el ser humano, lo cual demuestra una falencia en el manejo sanitario de los hatos para disminuir el impacto negativo sobre la salud pública.

Referencias

1. Muñoz-Domínguez L, Jurado-Gómez H, Quitiaquez-Montenegro D, Fajardo-Argoti C, Insuasty-Santacruz E. Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras. *Rev Fac Med Vet Zootec.* 2019; 66(1): 53-66. doi: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n1.79402>
2. Jiménez G, Tobón J, Rubiano J, Bustamante C, Abuabara Y. Alternativas tecnológicas para la

- producción competitiva de leche en el trópico alto: plan de modernización tecnológica de la ganadería bovina colombiana. Memorias. In: Elementos de gestión empresarial en la ganadería bovina del trópico de altura en Colombia. Agrosavia. 2018, p. 41-49. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17705>
3. Martínez-Miranda M, Díaz-Arango F. Evaluación de la calidad de la leche cruda recibida en industrias lácteas de Manizales. *Prod Limpia*. 2016; 11(1): 75-84.
 4. Resolución 000017 de 2012; Por el cual se establece el pago de la leche cruda al proveedor. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2012.
 5. Calderón A, Rodríguez V. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano cundiboyacense (Colombia). *Rev Colomb Ciencias Pecu*. 2008; 21(4): 582-589.
 6. Consejo Nacional Lácteo. Acuerdo de competitividad de la cadena láctea colombiana. Bogotá: CNA; 2010. 31 p.
 7. Bagri D, Pandey R, Bagri G, Kumari R, Bagdi D. Effect of subclinical mastitis on milk composition in lactating cows. *J Entomol Zool Stud*. 2018; 6(5): 231-236.
 8. Carvajal R, Goyes V, Martínez E, Delgado B, Montenegro C. Análisis de factores económicos que influyen en los eslabones de la cadena láctea en Nariño. 1st ed. Pasto: Unimar; 2016. 350 p. 2016.
 9. Molano-Bernal L, Tibaduiza-Castañeda L, Cañar-Serna D, Aguilera-Arango G. Diagnóstico de la producción primaria en fincas lecheras del proyecto cadena de valor láctea en Boyacá y Nariño, Colombia. *Rev Investig e Innovación Agropecu y Recur Nat*. 2021; 8(1): 54-61. doi: <https://doi.org/10.53287/hcdz9769pa51u>
 10. Wang M, Bissonnette N, Dudemaine P, Zhao X, Ibeagha-Awemu E. Whole Genome DNA Methylation Variations in Mammary Gland Tissues from Holstein Cattle Producing Milk with Various Fat and Protein Contents. *Genes*. 2021; 12(11):1727. doi: [10.3390/genes12111727](https://doi.org/10.3390/genes12111727).
 11. Kolenda M, Sitkowska B. The Polymorphism in Various Milk Protein Genes in Polish Holstein-Friesian Dairy Cattle. *Animals*. 2021; 11(2): 389-396. doi: [10.3390/ani11020389](https://doi.org/10.3390/ani11020389)
 12. Jurado-Gámez H, Solarte-Portilla C, Burgos-Arcos A, González-Rodríguez A, Rosero-Galindo C. Relationship of the compositional content and sanitary quality of Holstein cows' milk of the high tropic of Nariño. *Rev Mex Cienc Pecu*. 2020; 11(2): 421-434. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5118>
 13. Decreto número 616: Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, importe o exporte en el país. Ministerio de la Protección Social. 2006.
 14. R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
 15. Rodríguez C, Saavedra G, Gómez D. Efecto de la etapa de lactancia sobre la calidad fisicoquímica de leche en vacas de raza Holstein y Normando. *Zootec Trop*. 2015; 33: 23-35. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/69-Rodriguez.pdf
 16. Lemus-Ramírez V, Guevara-Escobar A, García-Muñoz J. Curva de lactancia y cambio en el peso corporal de vacas Holstein-Friesian en pastoreo. *Agrociencia*. 2008; 42(7): 753-765.
 17. Jurado-Gámez H, Quitiaquez D, Muñoz-Domínguez L. Valoración de calidad composicional, sanitaria, y microbiológica de leche cruda en diferentes tercios de lactancia. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2021; 19(2). doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1675>
 18. Ferraretto L, Crump P, Shaver R. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *J Dairy Sci*. 2013; 96(1): 533-550. doi: [10.3168/jds.2012-5932](https://doi.org/10.3168/jds.2012-5932)
 19. García C, Montiel R, Borderas T. Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Arch Zootec*. 2014; 63: 85-105. doi: <https://doi.org/10.21071/az.v63i241.592>
 20. Cipolat-Gotet C, Cecchinato A, De Marchi M, Bittante G. Factors affecting variation of different measures of cheese yield and milk nutrient recovery from an individual model cheese-manufacturing process. *J Dairy Sci*. 2013; 96(12): 7952-7965. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6516>
 21. Stoop W, Bovenhuis H, Heck J, Van-Arendonk J. Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci*. 2009; 92(4): 1469-1478. doi: [10.3168/jds.2008-1468](https://doi.org/10.3168/jds.2008-1468)
 22. Hanuš O, Samková E, Křížová L, Hasoňová L, Kala R. Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factors on their variability—a review. *Molecules*. 2018; 23(7): 1636. doi: [10.3390/molecules23071636](https://doi.org/10.3390/molecules23071636)
 23. Campabadal C. Factores que afectan el contenido

- de sólidos en leche. *Nutr Anim Trop.* 1999; 5(1): 67-92.
24. Jurado-Gómez H, Muñoz-Domínguez L, Quitiaquez-Montenegro D, Fajardo-Argoti C, Insuasty-Santacruz E. Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras. *Rev Med Vet Zoot.* 2019; 66(1): 53-66.
25. Gallego-Castro L, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas Holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agron Mesoam.* 2017; 28(2): 357-370. doi: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>
26. Córdova-Izquierdo A, Torres J, Gutiérrez R, Betancourt S, Campos V. Composición de la leche de vacas Holstein suplementadas con caña de azúcar integral y saccharina rústica enriquecida. *Rev Vet.* 2010; 21(1): 66-68. doi: <http://dx.doi.org/10.30972/vet.2111872>
27. O'Sullivan M, Horan B, Pierce K, McParland S, O'Sullivan K, Buckley F. Milk production of Holstein-Friesian cows of divergent Economic Breeding Index evaluated under seasonal pasture-based management. *J Dairy Sci.* 2019; 102(3): 2560-2577. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15559>
28. Eaglen S, Coffey M, Woolliams J, Mrode R, Wall E. Phenotypic effects of calving ease on the subsequent fertility and milk production of dam and calf in UK Holstein-Friesian heifers. *J Dairy Sci.* 2011; 94(11): 5413-5423. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4040>
29. Kanurić K, Milanović S, Ikonić B, Lončar E, Ilić M, Vukić V, *et al.* Kinetics of lactose fermentation in milk with kombucha starter. *J Food Drug Anal.* 2018; 26(4). doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.02.002>
30. Alcântara L, Fontan R, Bonomo R, De Souza J, Sampaio V, Pereira R. Density and dynamic viscosity of bovine milk affect by temperature and composition. *Int J Food Eng.* 2012; 8(1): 45-67. doi: <10.1515/1556-3758.1860>
31. Navia J, Muñoz D, Solarte J. Caracterización biofísica y socioeconómica de fincas ganaderas de leche en el municipio de Guachucal, Nariño. *Temas Agrar.* 2015; 20(1): 113-129. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i1.753>
32. Orjuela-Echandía G. Plan de muestreo para caracterizar a los productores de las cuencas lecheras del departamento de Nariño. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores; 2018.
33. Newman J, Holt T, Cogan J, Womack B, Phillips J, Li C, *et al.* Increased prevalence of EPAS1 variant in cattle with high-altitude pulmonary hypertension. *Nat Commun.* 2015; 6(1): 1-5. doi: <10.1038/ncomms7863>
34. Rodríguez-Martínez G. Comportamiento de la mastitis bovina y su impacto económico en algunos hatos de la Sabana de Bogotá, Colombia. *Rev. Med. Vet.* 2006; 1(12): 35-55. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.2052>