



Relación entre la calidad composicional y sanitaria de la leche de bovinos Holstein del trópico alto de Nariño



Henry Armando Jurado-Gómez ^{a*}

Carlo Eugenio Solarte-Portilla ^a

Álvaro Javier Burgos-Arcos ^b

Aldemar González-Rodríguez ^b

Carol Rosero-Galindo ^b

^a Universidad de Nariño. Departamento de Producción y Procesamiento Animal, Programa de Zootecnia., Cll 18 N° 50-02 Torobajo, Municipio de Pasto, Nariño, Colombia.

^b Universidad de Nariño. Colombia.

* Autor de correspondencia: henryjugam@gmail.com

Resumen:

La producción agropecuaria necesita obtener productos de alta calidad e inocuos para el consumo humano, lo que constituye una preocupación para la cadena láctea. En la presente investigación se buscó identificar la correlación entre la calidad composicional y la calidad sanitaria de la leche cruda (RCS/ml). La investigación se ejecutó en tres distritos del Departamento de Nariño, Colombia. Para tal efecto el muestreo y la información se recolectaron a lo largo de los años 2016 y 2017. Para determinar la relación se realizó un análisis de componentes principales y luego un diseño de modelos mixtos con las variables seleccionadas. El análisis de componentes principales demostró que existe relación entre las variables composicionales; y el modelo mixto indicó que existe una relación significativa entre el recuento de células somáticas y la calidad de la leche en el trópico alto de Nariño. Se concluyó que un conteo de células somáticas por encima de los 500,000 UFC/ml tiene efectos negativos sobre la proteína, la caseína y la producción de leche.

Palabras clave: Inocuidad alimentaria, Salud animal, Salud pública.

Recibido: 17/11/2018

Aceptado: 29/04/2019

Introducción

La producción agrícola mundial requiere de productos seguros de alta calidad para el consumo humano, una búsqueda constante que concierne a todos los componentes de la cadena lechera. Este proceso se inicia en la granja, y se lo debe llevar a efecto a fin de garantizar las mejores condiciones para obtener un producto de calidad óptima⁽¹⁾.

En Colombia, las industrias lecheras especializadas están situadas en las zonas altas tropicales como el Altiplano Cundíboyacense, el Altiplano Nariñense y los altos del norte y noreste de Antioquia. Estos sistemas se caracterizan por la presencia de ganado bovino (*Bos Taurus*), por el uso intensivo de factores de producción (tierra, capital y mano de obra), por el uso de fertilizantes, riego y rotación de pasturas, por el uso de suplementos alimenticios y por dos ordeñas diarias. La mejora de la calidad higiénica de la leche se efectúa mediante un proceso simple, con el cual se obtienen resultados rápidos que comienzan con la mejora de las prácticas de ordeña para evitar la contaminación de la leche y a la vez mantener perfectamente higienizados los botes lecheros o los tanques de almacenamiento de la leche⁽²⁾.

Este tipo de actividad ganadera debe adherirse al Decreto 616 de 2006 de las regulaciones colombianas, el cual resume los requisitos que deben cumplir las leches de bovino, búfalo y cabra destinadas al consumo humano, a fin de proteger la vida, la salud y la seguridad y prevenir prácticas que puedan desorientar, confundir o engañar a los consumidores⁽²⁾.

En este sentido, Benbrook *et al*⁽³⁾ define la leche de alta calidad como aquella que tiene una excelente composición (grasa, proteína, lactosa, vitaminas y minerales), un conteo bajo de microbios (higiénica) y está libre de patógenos y de contaminantes físico-químicos. La leche de calidad es un requisito indispensable para obtener productos de buena calidad, y por lo tanto el rebaño es la primera condición para lograr buenos productos.

Según la Resolución 000017 del Ministerio de Agricultura, del año 2012⁽⁴⁾, la calidad higiénica de la leche se refiere al nivel de higiene del proceso mediante el cual se obtiene y se maneja la leche. En este orden de ideas, en la mayoría de los casos el conteo de células somáticas por mililitro (CCS/ml) puede estar asociado con enfermedades como la mastitis, una reacción inflamatoria de la glándula mamaria que produce alteraciones físicas y químicas en la leche, un incremento en el número de células somáticas debido a la presencia de microorganismos patógenos, y cambios tales como la pérdida de la funcionalidad⁽¹⁾.

Por este motivo, el conteo de células somáticas (CCS) es uno de los parámetros que más influyen en determinar la salud de las ubres y la calidad de la leche. El CCS en la leche aumenta en proporción directa a la gravedad de la enfermedad infecciosa. En una leche que no contiene mastitis subclínica, el CCS es bajo (<100,000 CCS/ ml). El aumento del CCS depende del patógeno que ocasiona la mastitis⁽⁵⁾. Un CCS elevado se asocia con inflamación de las ubres, lo cual da lugar a problemas bacteriológicos en la leche, a una alteración en su composición y a cambios en las características de los productos lácteos en comparación con los valores normales⁽⁶⁾. Sin embargo, además de su función inmune en la ubre y de las funciones protectoras en la leche, recientemente se ha demostrado que el CCS ejerce una influencia positiva en la composición y en las propiedades tecnológicas de los productos lácteos, que influyen en la calidad final de éstos a través de sus enzimas endógenas⁽⁷⁾.

En Nariño, como en el resto de América Latina, hay poca información sobre la calidad composicional y sanitaria de la producción y la comercialización de la leche cruda. Este hecho, y la falta de responsabilidad de los productores de leche por la calidad de su producto (pese a la ley colombiana que establece regulaciones de salud y seguridad) aumentan la incertidumbre con respecto a las variables de la calidad de los productos producidos en la región. Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad composicional e higiénica de la leche cruda recibida de los diversos distritos evaluados del Departamento de Nariño, así como observar la relación entre la calidad sanitaria de la leche y su perfil composicional.

Material y métodos

Localización

Se evaluó información de 87 granjas especializadas en la producción de leche. Estas granjas están distribuidas entre tres distritos que pertenecen al Departamento de Nariño: 39, en el distrito de Guachucal, 24 en Pasto y 24 en Pupiales. Estas áreas geográficas están ubicadas a una altitud de entre 2,527 y 3,180 msnm, y su temperatura promedio anual oscila entre 8 y 12 °C⁽⁸⁾.

Selección de las muestras

Las granjas seleccionadas manejan un sistema estandarizado de registro de información sobre las ordeñas (dos veces al día) y aplican un programa de manejo rutinario de la prueba CMT. Se evaluaron un total de 11,293 muestras de 1,659 lactancias de vacas Holstein de los distritos de Guachucal, Pasto y Pupiales. Se determinaron diversas variables, incluyendo la precipitación (mm/mes), la producción de leche (kg), la densidad de ésta (g/ml), los días de lactancia, el intervalo entre partos, la edad de la vaca (en años), el número de partos, los kilogramos de grasa, proteína, caseína, los sólidos totales y el conteo de células somáticas (CCS/ml).

Las muestras se tomaron en el momento de la ordeña, y fueron identificadas, conservadas y transportadas de acuerdo con el protocolo establecido por CORPOLAC. Se realizaron muestreos cada tres semanas en cada una de las granjas. Se las analizó a nivel composicional y sanitario en los laboratorios del grupo de investigación MEGA (Mejoramiento Genético Animal), ubicados en la sede Torobajo de la Universidad de Nariño. Las muestras de leche se analizaron en un equipo MilkoScan® FT1, y el perfil composicional de la leche se determinó según el protocolo establecido por el fabricante del equipo. Para este proceso se utilizó una muestra de 100 ml de leche cruda de vaca (procedimiento diario SGC-PR-04 para el manejo del equipo MilkoScan FT1). El análisis del perfil sanitario se creó utilizando equipo EkoMilk Scan®, de acuerdo con el protocolo establecido por el fabricante (procedimiento diario SGC-PR-05 para la operación del equipo EKOMILK SCAN; SGC-FT-02, datos técnicos de EKOMILK SCAN). Para el conteo de células somáticas se utilizó una prueba PortaSCC®.

Análisis estadístico

Los datos se evaluaron mediante estadísticas descriptivas. Se determinó mediante una correlación de Pearson la relación entre las variables tras la estandarización de las mismas a fin de garantizar un mejor ajuste de los resultados. Los valores de grasa, proteína, sólidos totales y caseína se convirtieron a kilogramos utilizando la fórmula propuesta en la resolución 000017 emitida en 2012 por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)⁽⁴⁾:

$$\text{Valor en kg} = \text{valor \%} * \text{densidad de la leche} * 10$$

Se utilizó la densidad para convertir a kilogramos el valor de la producción, la cual se expresa en litros.

$$\text{Kg de leche} = \text{densidad} * \text{volumen (l)}$$

La variable conteo de células somáticas se transformó en puntaje de células somáticas utilizando la fórmula propuesta por Ali y Shook⁽⁹⁾, a fin de corregir la normalidad de la variable puntaje de células somáticas (PCS):

$$\text{PCS} = (\log_2 (\text{CCS}/100.000)) + 3$$

La relación entre las variables se determinó mediante un análisis de componentes principales (ACP) con rotación (método varimax) a fin de identificar los grupos relacionados.

Con las variables seleccionadas mediante el ACP se creó un modelo mixto que utilizó la granja y el animal anidado en ésta como factores aleatorios, y la precipitación con los niveles de la temporada de lluvias y la de secas y el conteo de células somáticas como factores fijos. El CCS se dividió en cuatro categorías como sigue: <2'000,000, 201,000 a 5000,00, 501,000 a 999,000 y >1'000,000. La proteína, la grasa, la caseína, los sólidos totales y la producción se consideraron como variables dependientes⁽¹⁰⁾. Se llevaron a cabo análisis estadísticos con el paquete estadístico SPSS⁽¹¹⁾.

Resultados

El Cuadro 1 muestra la media y el error estándar de la media de las variables, y los Cuadros 2, 3 y 4, la correlación. Las medias para los tres distritos indican que la densidad fue la misma. Los resultados para la precipitación, los sólidos totales, los días de lactancia, el intervalo entre partos, la edad y el número de partos fueron similares. Por el contrario, los datos recopilados para la producción, la grasa, la proteína y la caseína variaron; los valores más altos se encontraron en el distrito de Pupiales, seguido del distrito de Pasto y, por último, del de Guachucal.

Cuadro 1: Estadísticas descriptivas de los parámetros composicionales y de producción

	Guachucal		Pasto		Pupiales	
	Media	EEM	Media	EEM	Media	EEM
Precipitación, mm/mes	101.691	0.5511	99.749	0.9630	101.980	1.4078
Producción, kg	16.592	0.0730	19.621	0.1366	20.673	0.1951
Densidad, g/ml	1.031	0.0001	1.031	0.0002	1.031	0.0001
Días de lactancia,	182.427	1.2939	173.892	1.9738	163.128	2.9465
Intervalo entre partos, días	452.668	1.3196	431.900	1.9461	431.901	3.0784
Años	5.754	0.0258	5.635	0.0467	5.593	0.0653
Número de partos	2.918	0.0195	3.034	0.0376	3.020	0.0482
Grasa, kg	0.653	0.0030	0.755	0.0054	0.775	0.0075
Proteína, kg	0.560	0.0023	0.640	0.0042	0.693	0.0064
Sólidos totales, kg	2.133	0.0092	2.130	0.0220	2.585	0.0253
Caseína, kg	0.426	0.0018	0.831	0.0153	0.557	0.0056
CCS/ml	3.313	0.0104	3.209	0.0141	3.350	0.0261

EEM= error estándar de la media; CCS= conteo de células somáticas por mililitro.

La correlación muestra que las variables composicionales y de producción están altamente relacionadas y que este conjunto de variables tiene una relación negativa con los días de lactancia. También hay una relación altamente significativa ($P < 0.01$) entre los días de lactancia y el intervalo entre partos, así como entre el número de partos y la edad. Por último, el conteo de células somáticas muestra una relación significativa ($P < 0.05$) con la producción, la proteína y la caseína. Las demás variables muestran una baja correlación.

Cuadro 2: Matriz de correlación de Guachucal

	Pr1	Pr2	D	DI	Iep	A	Np	G	Pr3	St	C	CC S
Pr1	1											
Pr2	- 0.02	1										
D	0.01 7	- 0.009	1									
DI	0.00 4	- .458*	0.031	1								
Iep	0.02	- .291*	0.129	.694* *	1							
A	0.01	0.068	- 0.171 *	0.129	0.156 *	1						
Np	0.01	0.111	- 0.116	0.015	0.059	.922* *	1					
G	- 0.02	.852* *	0.019	- 0.357 *	- .229*	0.05 5	0.13 2	1				
Pr3	- 0.01 6	.949* *	0.063	- .335*	- .231*	0.05 9	0.13 7	.864* *	1			
St	- 0.01 9	.974* *	0.036	- .418*	- .278*	0.04 6	0.13 2	.934* *	.967* *	1		
C	- 0.02 7	.962* *	0.053	- .342*	- .236*	0.06 3	0.14 2	.861* *	.996* *	.971* *	1	
CC S	- 0.01 2	- 0.254 *	- 0.048	0.135	0.123	0.14 5	0.12 8	- 0.02 9	- 0.386 *	- 0.05 4	- 0.394 *	1

Pr1= precipitación, Pr2= producción, D= densidad, DI= días de lactancia, Iep= intervalo entre partos, A= años, Np= número de partos, G= grasa, Pr3= proteína, St= sólidos totales, C= caseína, CCS= conteo de células somáticas.

Cuadro 3: Matriz de correlación de Pasto

	Pr1	Pr2	D	DI	Iep	A	Np	G	Pr3	St	C	CCS
Pr1	1											
Pr2	0.007	1										
D	-0.011	-0.023	1									
DI	-0.009	-0.455*	0.036	1								
Iep	0.054	-0.240*	0.081	0.566*	1							
A	-0.012	-0.017	-0.047	0.180*	0.174	1						
Np	0.020	0.073	-0.088	0.045	0.105	0.910**	1					
G	0.007	0.830**	-0.061	-0.381*	-0.224	-0.040	0.019	1				
Pr3	0.017	0.944**	0.048	-0.352*	-0.220	-0.048	0.022	0.839**	1			
St	0.012	0.970**	0.002	-0.439*	-0.257	-0.054	0.026	0.922**	0.962	1		
C	0.011	0.907**	0.042	-0.324*	-0.205	-0.029	0.032	0.785**	0.942	0.891	1	
CCS	-0.008	-0.234*	-0.006	0.125	0.102	0.131	0.106	-0.117	-0.206*	-0.112	-0.213*	1

Pr1= Precipitación, Pr2= producción, D= densidad, DI= días de lactancia, Iep= intervalo entre partos, A= años, Np= Número de partos, G= grasa, Pr3= proteína, St= sólidos totales, C= caseína, CCS= conteo de células somáticas.

Cuadro 4: Matriz de correlación de Pupiales

	Pr1	Pr2	D	DI	Iep	A	Np	G	Pr3	St	C	CCS
Pr1	1											
Pr2	0.021	1										
D	0.106	0.063	1									
DI	-0.046	-0.389*	0.024	1								
Iep	-0.013	-0.253*	0.165*	0.651**	1							
A	-0.020	-0.040	-0.180*	0.159*	0.179*	1						
Np	-0.010	0.070	-0.185*	0.002	0.069	0.871**	1					
G	0.080	0.786**	0.076	-0.312*	-0.264*	-0.001	0.075	1				
Pr3	0.022	0.949**	0.126	-0.263*	-0.203*	-0.064	0.047	0.790**	1			
St	0.081	0.947**	0.124	-0.344*	-0.272*	-0.087	0.030	0.884**	0.942**	1		
C	-0.125	0.659**	0.038	-0.230*	-0.085	0.122	0.142	0.512*	0.670**	0.509	1	
CCS	-0.001	-0.183*	-0.055	0.069	0.070	0.232*	0.134	-0.071	-0.189*	-0.106	-0.207*	1

Pr1= Precipitación, Pr2= producción, D= densidad, DI= días de lactancia, Iep= intervalo entre partos, A= años, Np= Número de partos, G= grasa, Pr3= proteína, St= Sólidos totales, C= caseína, CCS= conteo de células somáticas.

Los Cuadros 5 y 6 muestran los resultados del análisis de componentes principales. Para los tres distritos se analizaron cuatro componentes, que representan 79.97, 77.04, y 75.53 % de la variabilidad explicada, para Guachucal, Pasto y Pupiales, respectivamente. Como en el análisis de correlación, los resultados muestran que la grasa, la proteína, la caseína y los sólidos totales están altamente relacionados y representan el primer eje (composicional). La edad y el número de partos constituyen el segundo eje, y el tercer eje está formado por las variables días de

lactancia e intervalo entre partos. No obstante, la relación entre los últimos dos ejes puede ser una consecuencia del tiempo.

Cuadro 5: Resultados de la varianza observada en los ejes utilizados

	Inicial	Extracción		Pupiales
		Guachucal	Pasto	
Precipitación	1.000	0.856	0.881	0.856
Producción	1.000	0.953	0.946	0.935
Densidad	1.000	0.361	0.313	0.473
Días de lactancia	1.000	0.772	0.704	0.741
Intervalo entre partos	1.000	0.810	0.738	0.820
Años	1.000	0.928	0.935	0.901
Número de partos	1.000	0.910	0.937	0.868
Grasa	1.000	0.853	0.823	0.785
Proteína	1.000	0.965	0.959	0.939
Sólidos totales	1.000	0.991	0.980	0.930
Caseína	1.000	0.969	0.894	0.624
CCS	1.000	0.223	0.133	0.172

CCS= conteo de células somáticas.

Cuadro 6: Variabilidad de los componentes

Matrices de componentes rotados

	Guachucal				Pasto				Pupiales			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Precipitación	-0.032	.086	.062	.918	.029	-.043	.052	.936	-	0.086	-.091	.916
Producción	.956	.054	-.188	.008	.956	.026	-.180	.003	0.026	-	-.168	.019
Densidad	.138	-.368	.398	.219	.096	-.214	.399	-.316	0.951	0.036	-.397	.435
Días de lactancia	-.323	.090	.806	-.095	-.327	.087	.767	.041	0.172	-	.397	.435
Intervalo entre partos	-.168	.084	.879	-.043	-.126	.098	.833	.139	-	0.311	-.397	.435
Años	.050	.954	.122	-.010	-.007	.958	.133	-.006	-.263	0.091	.812	-.070
Número de partos	.128	.945	.025	.009	.056	.966	.019	.032	-.136	0.123	.887	.007
Grasa	.917	.034	-.102	-.004	.893	-.007	-.162	.023	0.026	0.939	.116	-.063
Proteína	.980	.026	-.064	.006	.975	-.028	-.080	-.008	0.114	0.924	-.021	-.042
Sólidos totales	.985	.021	-.141	.013	.975	-.020	-.169	.002	0.862	-	-.167	.121
Caseína	.981	.031	-.075	-.002	.943	-.014	-.064	-.011	-	0.002	-.167	.121
CCS	-	0.089	.036	-.345	-	.196	0.062	-.226	0.964	-	-.056	.032
	0.184				0.152				-	0.064	-.056	.032
									0.938	-	-.158	.132
									-	0.087	-.158	.132
									0.745	0.106	.012	-.238
									-	0.012	0.046	.248
									0.071			

El cuarto eje está representado por la precipitación. Es necesario señalar que el conteo de células somáticas no está bien representado en algunos de los cuatro componentes evaluados; sin

embargo, se observa que contribuye a los componentes uno y cuatro en los tres distritos, lo cual indica cierto grado de relación entre estos componentes.

El Cuadro 7 muestra los resultados del análisis del modelo mixto. Las variables grasa y sólidos totales no se vieron afectadas por la temporada ni por el CCS ($P>0.05$). En el caso de la producción, la proteína y la caseína, los resultados muestran que el conteo de células ejerce una influencia significativa ($P<0.05$).

Cuadro 7: Coeficientes del modelo mixto

Parámetro	T	CCS (rango)				Valor de P		
		≤200	201-500	501-999	≥ 1000	T	CCS	T*CCS
Producción	0	18.02	16.92	15.93	14.84	0.755	0.048	0.444
	1	17.97	17.05	15.76	14.21			
Grasa	0	0.684	0.672	0.673	0.672	0.315	0.123	0.355
	1	0.692	0.683	0.685	0.681			
Proteína	0	0.597	0.577	0.559	0.541	0.757	0.011	0.827
	1	0.591	0.573	0.555	0.545			
Sólidos totales	0	2.216	2.122	2.197	2.181	0.248	0.148	0.328
	1	2.168	2.131	2.148	2.105			
Caseína	0	0.530	0.483	0.446	0.424	0.103	0.022	0.201
	1	0.543	0.494	0.450	0.429			

T= temporada (1: de secas, 0: de lluvias); CCS= conteo de células somáticas; T*CCS: Efecto de la interacción.

Discusión

Los resultados se interpretaron tomando en cuenta las regulaciones colombianas actuales, que giran en torno al Decreto 616⁽¹²⁾ y Resolución 000017⁽⁴⁾, responsable de garantizar la seguridad del consumo humano de leche y la calidad composicional y sanitaria de la leche. Con base en la información proporcionada por el análisis estadístico, se puede establecer que la calidad composicional está estrechamente relacionada con la producción de leche. También se observó que el CCS no afecta la calidad composicional de ésta, y tampoco hay evidencia que apoye esta premisa.

En este sentido, diversos autores encontraron valores de 24.28 kg de leche, que son superiores a los hallados en los tres distritos⁽¹³⁾. Manterola⁽¹⁴⁾ reporta una producción promedio de leche de 20 kg/d/vaca y señala que la edad es un factor menor cuando la tasa de remplazo es normal, pero tiene un efecto mayor sobre el volumen de producción y, por ende, sobre el contenido de sólidos totales. Esto fue comprobado mediante la elevada correlación ente la producción y los parámetros composicionales de la leche. Diversos autores mencionan también que la producción lechera de una vaca es resultado de la relación entre el medio ambiente y la herencia⁽¹⁵⁾. No obstante, la precipitación no mostró relaciones significativas con estas

variables; como se observa en el diagrama de los dos componentes del ACP, la precipitación está muy cerca del punto de corte de los dos ejes de coordenadas.

El Ministerio de Protección Social ha establecido, mediante el Decreto 616, que la densidad de la leche cruda a 15 °C oscila entre 1.030 y 1.033 g/cm³. En este sentido, la densidad de la leche de las muestras evaluadas se encuentra dentro del marco normativo. Otros autores encontraron un valor promedio de 1.032 g/cm³ en las muestras de leche evaluadas y concluyeron que la leche de animales sanos no presenta variación en el valor de densidad con respecto a la de los animales con mastitis subclínica⁽²⁾. Sin embargo, en los animales con mastitis la densidad reflejada se ve afectada por valores inferiores a 1.029 g/ml.

Un estudio indica que la composición de la leche determina su calidad nutricional e industrial, la cual afecta directamente la rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción lechera⁽¹⁶⁾. La composición depende de la disponibilidad de los precursores de la sangre que llegan a la glándula mamaria, los cuales pueden ser manipulados mediante la nutrición para alterar los componentes de la leche, si bien este factor no fue evaluado en la presente investigación.

Se encontró que la leche cruda recibida de los tres distritos cumple con los parámetros establecidos por el Decreto 616 de 2006 en lo que concierne a la grasa. El valor promedio de los distritos supera el reportado por otros autores con un promedio de 0.577 kg de grasa, lo que implica un valor óptimo de grasa en la leche para los productos lácteos de vacas Holstein⁽¹⁷⁾. Por otra parte, Gallego-Castro *et al.*⁽¹³⁾ reportaron valores de 0.84 kg de proteína de leche para las vacas Holstein, y Manterola⁽¹⁴⁾ reportó 0.90 kg de leche por vaca por día. Un estudio sugiere que las variaciones en la producción de grasa de la leche en un grupo de vacas alimentadas bajo condiciones similares dependen de la capacidad metabólica individual de cada animal⁽¹⁸⁾. No obstante, hay que tener en cuenta que los valores observados en los distritos de Pasto y Pupiales exhiben niveles de grasa por día por vaca superiores a los del distrito de Guauchucal. Estas diferencias pueden ser resultado del manejo de los rebaños en el área, si bien el presente estudio no puede corroborar esta hipótesis, puesto que no fue posible incluir variables de manejo en el análisis. Por otra parte, las adaptaciones bioquímicas del metabolismo de los lípidos dependieron directamente de la etapa de lactancia de las vacas. Los elevados valores de grasa en la leche durante las etapas tempranas de la lactancia (5.49 %) sugieren una movilización de los lípidos a partir de los depósitos de grasa corporal, un factor que no se observa en la presente investigación.

Los valores proteicos cumplen con los parámetros establecidos por el Decreto 616 de 2006. Otros autores reportan un menor contenido de proteína por día por vaca, con un valor promedio de 0.451 kg de proteína⁽¹⁷⁾. A este respecto, otros artículos encontraron valores de 0.67 y 0.7 kg de proteína^(13,14); estos valores se aproximan a los hallados en la presente investigación. Varios autores afirman que la concentración de proteína en la leche no presenta cambios notorios con el manejo nutricional⁽¹⁹⁾. Sin embargo, se ha evaluado el efecto de la harina de soya sobre el

uso del nitrógeno y la producción de la vacas Holstein, y se ha llegado a la conclusión de que la suplementación con harina de soya no ha incrementado el rendimiento de leche y proteína por encima del nivel de 16.5 %.

Se ha analizado el efecto de las variantes genéticas y haplotipos sobre la composición proteica de la leche como una alternativa al manejo nutricional. En un estudio realizado en 1,912 vacas Holstein, los autores indicaron una asociación entre los genotipos β -CN y κ -CN haplotipo A²B y el rendimiento proteico y la concentración de proteína por cada litro de leche, respectivamente⁽²⁰⁾. Los autores mencionaron que la selección de estos genotipos y haplotipos daría como resultado vacas productoras de una leche más adecuada para la elaboración de quesos. El autor de otra investigación sugirió que podría ser útil conocer la variabilidad genética cuando se altera la composición de la proteína de la leche, ya que los parámetros genéticos de las seis proteínas principales de la leche, determinados mediante electroforesis capilar en zona, están muy relacionados con dicha alteración⁽²¹⁾. Según García *et al.*⁽¹⁹⁾, esta información sugiere la posibilidad de modificar la composición proteica de la leche de vaca mediante la cría selectiva, que a su vez ofrece la oportunidad de satisfacer las nuevas demandas de los consumidores.

Los resultados de la caseína arrojaron un valor promedio de 0.454 kg, valor deseable en la producción lechera y superior a los hallados por otros autores, del 2.4 %⁽²²⁾. Investigaciones recientes señalan que la caseína constituye aproximadamente un 78 % de las proteínas de la leche y se precipita cuando ésta se acidifica a un pH de 4.6⁽¹⁹⁾. También afirman que la caseína está ligada principalmente al fosfato de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ en una estructura sólida y esponjosa llamada micela de caseína, un importante componente para la elaboración de quesos. El tratamiento de la leche con la enzima quimosina del cuajo de ternera desestabiliza la micela a medida que la κ -caseína (κ -CN) pierde su región hidrofílica por proteólisis en el segmento caseinomacropéptido, facilitando la adición del fragmento para- κ -CN⁽²³⁾. Dado que este componente proteico es fundamentalmente hidrofóbico, el contenido de caseína influye directamente en el tiempo de coagulación de todos los quesos y, por lo tanto, en la calidad y el rendimiento de estos⁽²⁴⁾.

En cuanto a los sólidos totales, se encontró que la leche cruda proveniente de los tres distritos cumple con los parámetros establecidos por el Decreto 616 de 2006, lo que indica una excelente calidad de la leche^(4,12). De manera similar, otros autores reportaron un valor de los sólidos totales de 1.351 kg, inferior al encontrado en este estudio⁽²⁵⁾.

No se adoptó un conteo estándar de células somáticas, ya que éste es inexistente en la legislación colombiana. Según el Decreto 616 de 2006 y la Resolución 00017 de 2012 del MADR, los beneficios del CCS son voluntarios y discrecionales para aquellas compañías que deseen mejorar este aspecto de la calidad de la leche. Aun así, algunas compañías, como Colanta, reportan que los valores por debajo de 400,000 CCS/ml y por encima de 200,000 CCS/ml son recompensados con 0.007 USD por litro. Además, cuando los valores son menores

de 200,000 CCS/ml, el incentivo se incrementa a 0.01 USD. Cuando exceden los 1,000,000 CCS/ ml, no se recibe la leche y se hace una deducción⁽²⁴⁾.

Actualmente, se considera que una cuarta parte de la glándula mamaria está sana —aquella que no muestra ningún cambio patológico externo— cuando la leche está libre de microorganismos patógenos y tiene un nivel de células somáticas de <100,000 CFU/ml⁽²⁶⁾. Los resultados del modelo mixto indican que los conteos superiores a 500,000 CFU/ml afectan la calidad composicional de la leche, reduciendo la producción y los contenidos de proteína y caseína de la leche. En este sentido, otros estudios encontraron resultados similares en las vacas Holstein canadienses, lo que demuestra que la mastitis subclínica afecta la calidad composicional de la leche⁽²⁷⁾.

Conclusiones e implicaciones

El conteo de células somáticas afecta las variables proteína, caseína y producción en los sistemas especializados de Guachucal, Pasto y Pupiales.

Literatura citada:

1. Calderón A, Rodríguez V, Virginia, C. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano cundiboyacense (Colombia). *Rev Colombiana Cienc Pecu* 2008;21(4):582-589.
2. Calderón A, Arteaga MR, Rodríguez VC, Arrieta GJ, Bermudez DC, Villareal VP. Efecto de la mastitis subclínica sobre el rendimiento en la fabricación del queso costeño. *Biosalud* 2011;10(2):16-27.
3. Benbrook CM, Butler G, Latif MA, Leifert C, Davis DR. Organic production enhances milk nutritional quality by shifting fatty acid composition: A United States-wide, 18-month study. *Plos One* 2013;8(12):82429.
4. Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 000017. 2012. Por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor. (20 enero de 2012). Bogotá. 2012.
5. Rodríguez V, Acosta A, Calderón-Rangel A. Calidad de leches crudas en sistemas doble propósito en Córdoba (Colombia), en condiciones de máxima y mínima precipitación. *Rev Cienc Agr* 2015;12(2):51-58.
6. Le Maréchal C, Thiéry R, Vautor E, Le-Loir Y. Mastitis impact on technological properties of milk and quality of milk products—a review. *Dairy Sci Technol* 2011;91:247–282.

7. Sanchez-Macias D, Morales-de la Nuez A, Torres A, Hernández-Castellano L, Jiménez-Flores R, Castro N, Arguello A. Effects of addition of somatic cells to caprine milk on cheese quality. *International Dairy J* 2013;29(2):61–67.
8. Navia J, Muñoz D, Solarte J. Caracterización biofísica y socioeconómica de fincas ganaderas de leche en el municipio de Guachucal, Nariño. *Rev Temas Agrarios* 2015; 20(1):113-129.
9. Ali A, Shook G. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *J Dairy Sci* 1984;63:487-490.
10. Cinar M, Serbester U, Ceyhan A, Gorgulu M. Effect of somatic cell count on milk yield and composition of first and second lactation dairy cows. *Italian J Anim Sci* 2015;14(1):3640- 3646.
11. IBM Corp. Released 2010. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2010.
12. Colombia. Ministerio de la Protección Social. Decreto 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. (28 febrero de 2006). Bogotá. 2006.
13. Gallego-Castro L, Mahecha L, Angulo J. Milk production, quality and benefit: cost ratio of supplementing Holstein cows with *Tithonia diversifolia*. *Mesoamerican Agr* 2017;12(Suppl 1):357-370.
14. Manterola H. Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en la leche. Una necesidad de corto plazo. Circular de extensión Técnico Ganadera. Universidad de Chile 2008;(33):1-20.
15. Cañas A, Restrepo B, Ochoa J, Echeverri A, Cerón-Muñoz M. Estimación de las curvas de lactancia en ganado Holstein y BON x Holstein en trópico alto colombiano. *Rev Lasallista Invest* 2009;6(1):35-42.
16. Ogola H, Shitandi A, Nanua J. Effect of mastitis on raw milk compositional quality. *J Vet Sci* 2007;8(3):237-242.
17. Herrera-Angulo A, Mora-Luna R, Isea-Chávez J, Eslava J, Darghan A. Producción y composición química de leche de vacas F1 Holstein x cebú suplementadas con dos fuentes de nitrógeno no proteico. *Rev Científica* 2017;7(2):119-130.
18. Hradecká E, Panicke L, Hanusová L. The relation of GH1, GHR and DGAT1 polymorphisms with estimated breeding values for milk production traits of German Holstein sires. *Czech J Anim Sci* 2008;53(6):238-245.

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.
20. Heck J, Schennink A, Van-Valenberg H, Bovenhuis H, Visker M, Van-Arendonk J, Van-Hooijdonk A. Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. *J Dairy Sci* 2009;92(3):1192-1202.
21. Schopen G, Heck JM, Bovenhuis H, Visker M, Van-Valenberg H, Van-Arendonk J. Genetic parameters for major milk proteins in Dutch Holstein-Friesians. *J Dairy Sci* 2009;92(3):1182-1191.
22. Brinez W, Valvuela E, Castro G, Tovar A, Ruíz-Ramírez J. Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el municipio Machiques de Perijá. Estado Zulia, Venezuela. *Rev Científica* 2008;18(5):607-617.
23. Jacob M, Jaros D, Rohm H. Recent advances in milk clotting enzymes. *Int J Dairy Technol* 2011;64:14-33.
24. Gallier S, Gragson D, Cabral C, Jiménez-Flores R, Everett D. Composition and fatty acid distribution of bovine milk phospholipids from processed milk products. *J Agr Food Chem* 2010;58(19):10503-10511.
25. Mojica J, Castro E, Silva J, Hortúa H, García L. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar. Bogotá (Colombia): CORPOICA. 2013.
26. Carulla JE, Ortega E. Sistema de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archiv Latinoam Prod Anim* 2016;24(2):83-87.
27. Bobbo T, Ruegg PL, Stocco G, Fiore E, Ganesella M, Morgante M, Cecchinato A. Associations between pathogen-specific cases of subclinical mastitis and milk yield, quality, protein composition, and cheese-making traits in dairy cows. *J Dairy Sci* 2017;100(6):4868-4883.