



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Efecto de la mastitis bovina en la calidad composicional y aptitud quesera de la leche**

**John Alexander Vásquez Casallas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias  
Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
Bogotá, Colombia  
2014

# **Efecto de la mastitis bovina en la calidad composicional y aptitud quesera de la leche**

**John Alexander Vásquez Casallas**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Director: Zoot, M.Sc., PhD Juan Evangelista Carulla Fornaguera

Línea de Investigación:

Calidad de la leche

Grupo de Investigación:

Nutrición Animal

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias  
Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
Bogotá, Colombia  
2014

*"Todo gran avance en la ciencia es resultado de una nueva audacia de la imaginación."*

Anónimo

#### **Declaratoria de originalidad y reconocimiento**

Yo John Alexander Vásquez Casallas, identificado con cc 1.024.468.160 expedida en Bogotá, declaro que los datos publicados en este trabajo de grado corresponden al proyecto de investigación titulado **“INFLUENCIA DE LA MASTITIS BOVINA SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA LECHE EN FINCAS DE CUNDINAMARCA. CONTRIBUCIÓN A LA COMPETITIVIDAD DE LA CADENA”**, producto de una propuesta original.

El desarrollo de esta investigación fue ejecutada principalmente por el autor, contando con el apoyo del personal del Laboratorio de Microbiología Veterinaria, Laboratorio de Nutrición Animal y de profesores adscritos al Departamento de Producción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Adicionalmente se conto con el apoyo del Consejo Nacional de Calidad de la Leche y Prevención de la Mastitis así como del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia.

John Alexander Vásquez Casallas

Autor

### Cesión de derechos para publicación en la red

Yo, John Alexander Vásquez Casallas, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Nacional de Colombia los derechos patrimoniales. Consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982, del trabajo final de grado denominado: **“EFECTO DE LA MASTITIS BOVINA EN LA CALIDAD COMPOSICIONAL Y APTITUD QUESERA DE LA LECHE”**, producto de mi actividad académica para optar por el título de MAGISTER EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS en la Universidad Nacional de Colombia.

La Universidad Nacional de Colombia, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por tanto facultada para ejercer plenamente los derechos de publicación anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y publicación. La cesión otorgada se ajusta a lo establecido en la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Central de La Universidad Nacional de Colombia.

Atentamente

John Alexander Vásquez Casallas

Autor

### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la mastitis bovina y recuento de células somáticas (RCS) sobre la composición nutricional de la leche en hatos de la Sabana de Bogotá, así mismo determinar el efecto del RCS sobre parámetros de aptitud quesera de la leche y la calidad sensorial en queso campesino. Para esto se realizaron dos experimentos, en el primero se tomaron muestras individuales de leche (3867) y de tanques de enfriamiento (160) en 16 hatos de Cundinamarca durante un año. Se elaboraron quesos tipo campesino a los cuales se les determinaron variables de aptitud quesera (tiempo de coagulación, rendimientos y pérdidas en suero) y la calidad organoléptica a través de una prueba sensorial con panel entrenado. Este trabajo sugiere que la mastitis y el recuento de células somáticas explican en un bajo porcentaje las variaciones en la composición de la leche mientras que otros factores en finca explican la mayor parte de la variación. Aumentos en el RCS en leche afecta negativamente parámetros de aptitud quesera y la calidad sensorial del queso campesino. Los impactos serán menores en rendimiento cuando el RCS sea menor y la calidad organoléptica cuando la leche tenga RCS por debajo de 600000 cel/mL.

**Palabras Clave:** caseína, composición de queso, Holstein, Normado, sólidos totales en la leche, tiempo de coagulación, vaca lechera

## Abstract

The aim of this work was to determinate the effect of bovine mastitis and somatic cell count (SCC) on nutritional composition of milk in cattle herds of the Bogota savanna, moreover to determinate the effect of the SCC on cheese yield and sensorial quality of fresh cheese. For this two experiments were performed, in the first milk from each cow (3867) and bulk tanks (160) in 16 Cundinamarca dairy herds were sampled in a year. Fresh cheeses were prepared which yield parameters were determined and sensorial test with trained panel was accomplished. This work suggests that clinical mastitis and somatic cell count explained a low percentage of changes in milk composition while breed and days on milk explained a higher percentage. On the other hand, SCC increases in milk have negative effects for both yield and sensorial quality of fresh cheese. It is suggested that minor impacts in fresh cheese yield would be obtained with a lower SCC and for good sensorial quality when the milk has SCC lower than 600000 cells per mL.

**Key Words:** casein, cheese composition, cow milk, Holstein, milk clotting time, Normande, total solids of milk.

# Contenido

	<b>Pag.</b>
<b>Declaratoria de originalidad y reconocimiento .....</b>	<b>IV</b>
<b>Cesión de derechos para publicación en la red.....</b>	<b>V</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>XII</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Efecto de la mastitis bovina y recuento de células somáticas sobre la calidad composicional de la leche y aptitud quesera .....</b>	<b>5</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Mastitis bovina y recuento de células somáticas .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Coagulación y aptitud quesera de la leche .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Mecanismos de los cambios composicionales en leche por efecto de la mastitis .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Influencia de la mastitis y el alto RCS sobre la calidad fisicoquímica, composicional y aptitud quesera de la leche .....</b>	<b>13</b>
1.4.1. Efectos sobre parámetros fisicoquímicos y composicionales .....	13
1.4.2. Efecto sobre la aptitud quesera de la leche .....	13
1.4.3. Efectos sobre propiedades sensoriales .....	17
<b>1.5. Conclusión .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Referencias .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Mastitis, raza, días en lactancia, número de partos, recuento de células somáticas y composición de la leche bovina en hatos de la Sabana de Bogotá</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Introducción.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Materiales y métodos.....</b>	<b>27</b>
2.2.1. Muestreo de la leche .....	27
2.2.2. Salud de la ubre .....	28
2.2.3. Calidad composicional de la leche .....	28

2.2.4.	Modelo estadístico.....	29
<b>2.3.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>30</b>
2.3.1.	Estadística descriptiva.....	30
2.3.3.	Supuestos de los Modelo de regresión múltiple .....	34
2.3.4.	Análisis de predictores cualitativos .....	35
2.3.5.	Resultados del modelo de regresión para las muestras de leche de vaca.....	36
2.3.6.	Resultados del modelo de regresión para las muestras de leche de tanque de hatos Holstein	38
<b>2.4.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>38</b>
2.4.1.	Mastitis y RCS .....	39
2.4.2.	Días en lactancia .....	41
2.4.3.	Raza .....	42
2.4.4.	Región .....	42
2.4.5.	Número de partos.....	43
<b>2.5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
2.6.	Agradecimientos.....	44
2.7.	Referencias .....	44
<b>3.</b>	<b>Recuento de células somáticas en la leche, aptitud quesera y calidad sensorial de queso campesino .....</b>	<b>50</b>
	<b>Resumen .....</b>	<b>50</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.</b>	<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>54</b>
3.2.1.	Muestreo de la leche y composición .....	54
3.2.2.	Elaboración de los quesos .....	55
3.2.3.	Análisis de los quesos .....	55
3.2.4.	Análisis estadístico .....	56
<b>3.3.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>57</b>

X Efecto de la mastitis bovina en la calidad composicional y aptitud quesera de la leche

3.3.1.	Parámetros de aptitud quesera de la leche.....	57
3.3.2.	Efecto del RCS y otras variables sobre la aptitud quesera de la leche .....	57
3.3.3.	Efecto del RCS en la calidad sensorial del queso campesino .....	62
<b>3.4.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>63</b>
3.4.1.	Parámetros de aptitud quesera de la leche.....	63
3.4.2.	Efecto del RCS en los atributos sensoriales del queso campesino .....	67
<b>3.5.</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.</b>	<b>Agradecimientos .....</b>	<b>69</b>
<b>3.7.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>69</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
4.1.	Conclusiones .....	73
4.2.	Recomendaciones.....	74
<b>ANEXO A.</b>	<b>Formato para la evaluación sensorial.....</b>	<b>787</b>
<b>ANEXO B.</b>	<b>Pruebas de Friedman en la evaluación sensorial.....</b>	<b>79</b>

## Lista de Figuras

- Figura 2. 1.** Diferencia mínima significativa de Fisher con un nivel de confianza del 95% para la concentración de grasa en los distintos niveles del índice de ubre vaca (IUV). ..... **33**
- Figura 2. 2.** Distribución de la información para concentración de grasa, proteína y sólidos totales en leche para los diferentes niveles del índice de ubre vaca (IUV) ..... **34**
- Figura 3. 1.** Asociación del RCS en leche con el tiempo de coagulación y el rendimiento de queso en base seca ..... **60**
- Figura 3. 2.** Asociación del RCS en leche con el contenido de humedad y proteína en el queso .. **61**
- Figura 3. 3.** Efecto del RCS sobre la apariencia, aroma-sabor y textura en quesos campesinos... **62**

**Lista de tablas**

<b>Tabla 2. 1.</b> Estadística descriptiva general	<b>31</b>
<b>Tabla 2. 2.</b> Estadística descriptiva general de las variables cualitativas	<b>32</b>
<b>Tabla 2. 3.</b> Medias y desviaciones estándar (DS) para grasa, proteína y sólidos totales (ST) en cada uno de los niveles del Índice de Ubre Vaca (IUV)	<b>33</b>
<b>Tabla 2. 4.</b> Normalidad e independencia del Error de estimación de los modelos de regresión múltiple	<b>35</b>
<b>Tabla 2. 5.</b> Modelos de regresión finales del efecto de raza, región, días en leche y número de partos sobre la calidad composicional de muestras de leche individuales de vacas sanas	<b>36</b>
<b>Tabla 2. 6.</b> Modelos de regresión finales del efecto de la región, recuento de células somáticas y días en leche sobre la calidad composicional de muestras de leche de tanques de hatos Holstein	<b>38</b>
<b>Tabla 3. 1.</b> Características de las muestras de leche	<b>54</b>
<b>Tabla 3. 2.</b> Variables tecnológicas, composición del queso y del suero y pérdidas en el lactosuero	<b>58</b>
<b>Tabla 3. 3.</b> Coeficientes de regresión (n) y coeficientes de determinación parcial (R <sup>2</sup> ) para RCS y otras variables asociados a su contribución a las variables tecnologías, la composición del queso y composición del suero	<b>58</b>





## Introducción

La leche bovina es un alimento altamente nutritivo destinado a la alimentación humana y materia prima de derivados lácteos comerciales; en Colombia es un producto de primera necesidad en la canasta familiar (Mincomex,2004). La calidad composicional, higiénica y sanitaria influyen en los rendimientos de los derivados lácteos y en la inocuidad de los productos por lo cual el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) establece el pago por calidad de la leche cruda (MADR,2012) para incentivar al productor a tener unos mínimos términos de calidad en sus leches y que los industriales puedan asegurar un proceso óptimo en la fabricación de sus productos derivados de la leche.

Existen diversos factores (la raza, el estado de lactancia, el número de partos y el estado sanitario) que modifican la composición de la leche cruda bovina (O'Brien et al., 2005). La mastitis y el recuento de células somáticas (RCS), puede modificar la composición normal de la leche mediante disminución de la síntesis de: calcio, fósforo, proteína, caseínas o mediante el aumento de componentes sanguíneos como: sodio, cloro, y enzimas (Le Roux et al., 2003; Ogola et al., 2007), afectando los procesos de fabricación de productos derivados de la leche, así como las propiedades organolépticas (sabor, aroma y apariencia) (Vianna et al.,2008).

Según datos de la encuesta nacional agropecuaria de 2009 (ENA,2009), del total de animales tan solo un 2% (591.530 cabezas de ganado) están destinados a la producción de leche de forma especializada y un 28% (10 millones de cabezas de ganado) a la producción doble propósito. Diariamente se están produciendo 15,5 millones litros de leche a nivel nacional donde el departamento de Cundinamarca que cuenta en su mayoría con producciones especializadas produce 3,18 millones de litros (20,21%) siendo la región más productora de Colombia; del total de producción un 41% son tomados por la industria (6,5 millones de litros) para ser procesada. Entre 1997 a 1999, Torres y Carulla evaluaron leche de la región de

Cundinamarca de 770 proveedores la cual dio como resultado 2.92%, 3.62% y 11.94% en promedios para grasa, proteína y sólidos totales respectivamente (Torres y Carulla,2003). Según el departamento nacional de planeación (DNP) del total de leche que es tomado por la industria, entre 5-8% va destinada a la producción de quesos donde la mayor participación es del departamento de Antioquia con el 38% seguido por Cundinamarca con cerca del 15% (CONPES/3676,2010). Para el año 2004 según la encuesta nacional agropecuaria de 2007, se produjeron unas 26,7 toneladas de queso para un consumo per cápita de 1,2 kg/año/persona (ENA,2006).

En Colombia, a pesar de que en la última década se han incorporado sistemas de detección de mastitis subclínica y pago por calidad, hoy en día la mastitis continua siendo un problema para el productor de leche con una alta incidencia en las fincas que indudablemente puede afectar la producción y calidad de la leche cruda (Cotrino,2009). En el año 1999 se realizó un estudio en 1100 hatos de la sabana de Bogotá donde se encontró que estas fincas tenían RCS de 637.000 cel/ml en promedio, donde un 10% de estas superaban el millón, todo causado principalmente por el deficiente manejo sanitario en los hatos y la falta de las buenas prácticas ganaderas en la rutina de ordeño (Barrero,1999). Se cree que la situación actual no haya cambiado con respecto a esa época debido a que en la región las características de las fincas, el aumento en número de animales y las condiciones ambientales favorecen la presentación de mastitis (Cotrino,2009; Calderón y Calderón,2002 ).

Actualmente, se cuenta con pocos datos publicados sobre los sobre el efecto de la mastitis en los parámetros de calidad de leche cruda dentro de los diferentes eslabones de la cadena láctea, además se cuenta con poca información clara acerca de la leche cruda en la región de Cundinamarca y el efecto de los distintos factores en producción primaria sobre la composición. El sistema vigente de pago por calidad de la leche no contempla dentro de sus criterios el RCS, el cual sí es considerado como fundamental para evaluar la calidad sanitaria en otros países

del mundo. Por lo tanto, esta investigación busca establecer una línea base para la calidad composicional de la leche cruda en la región de Cundinamarca, determinar cómo factores de la producción primaria (raza, días en lactancia, número de partos y la mastitis) la afectan y determinar si el RCS afecta el rendimiento quesero. De esta manera, se espera que el RCS sea considerado dentro de los criterios de bonificaciones obligatorias dentro del sistema de pago por calidad de leche cruda, contribuyendo de este modo a la competitividad de la cadena fortaleciendo el sistema de calidad de leche cruda en la región y su aplicación a nivel industrial.

## Referencias

- Barrero C. 1999. Recuento de células somáticas en leche. Tesis de Grado. Facultad de Bacteriología, Universidad Javeriana.
- Calderón A y Calderón R. 2002. Cuantificación de factores de riesgo de mastitis en sistemas elite de producción de leche en el altiplano Cundiboyacense. Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.
- CONPES/3676.Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas lácteas y cárnica.(Colombia) 2010.
- Cotrino V. 2009. Estrategias de diagnóstico, control y prevención de mastitis Rev Med Vet Zoot 56:327-331.
- ENA. Encuesta Nacional Agropecuaria (Colombia) 2006
- ENA. Encuesta Nacional Agropecuaria.Colombia 2009
- Le Roux Y, Laurent F, and Moussaoui F. 2003. Polymorphonuclear proteolytic activity and milk composition change. Vet Res 34(5):629-645.
- MADR. Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Colombia. Resolución 000017 de 2012 "Por el cual se establece el sistema de pago de leche cruda al proveedor".
- Mincomex.Ministerio de Comercio exterior (Colombia) 2004. Perfil Cadena Láctea y sus derivados. En:  
[http://www.agrocadenas.gov.co/lacteos/Documentos/CNC\\_perfil\\_lacteos.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/lacteos/Documentos/CNC_perfil_lacteos.pdf).

#### 4 Efecto de la mastitis bovina en la calidad composicional y aptitud quesera de la leche

- O'Brien B, Gleeson D, and Mee JF. Effect of milking frequency and nutritional level on milk production characteristics and reproductive performance of dairy cows. Proceedings of the 56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, EAAP, Uppsala, Sweden, Wageningen Academic Publishers, Wageningen: The Netherlands; 2005.
- Ogola H, Shitandi A, and Nanua J. 2007. Effect of mastitis on raw milk compositional quality. *J Vet Sci* 8(3):237.
- Torres I, and Carulla J. 2003. Variaciones en la composición de la leche en la sabana de Bogotá, valles de Ubate y Chiquinquirá en los años 1997 a 1999. *Rev Col Cienc Pec* 16.
- Vianna P, Mazal G, Santos M, Bolini H, and Gigante M. 2008. Microbial and sensory changes throughout the ripening of Prato cheese made from milk with different levels of somatic cells. *Journal of dairy science* 91(5):1743-1750.

# 1. EFECTO DE LA MASTITIS BOVINA Y RECuento DE CÉLULAS SOMÁTICAS SOBRE LA CALIDAD COMPOSICIONAL DE LA LECHE Y APTITUD QUESERA

Efecto de la mastitis bovina y recuento de células somáticas sobre la calidad composicional de la leche y aptitud quesera

## *Bovine mastitis and somatic cell count effect on compositional quality and cheese making aptness of milk*

### **Resumen**

Esta revisión reúne la información asociada al efecto de la mastitis bovina y el recuento de células somáticas sobre parámetros composicionales, fisicoquímicos y aptitud quesera de la leche. Se hizo una breve descripción de la mastitis, su relación con las células somáticas y los mecanismos por los cuales se puede afectar la composición y las características fisicoquímicas de la leche. Por otro lado, se explica que es la coagulación y aptitud quesera de la leche abarcando algunos parámetros que son importantes en la industria quesera y tienen efecto directamente sobre los rendimientos queseros. Finalmente, se revisó cuales son los efectos de importancia para la industria lechera de la presencia de mastitis y altos recuentos de células somáticas en leche sobre parámetros composicionales y fisicoquímicos, propiedades de coagulación de la leche, rendimientos queseros y características sensoriales de los quesos.

**Palabras clave:** caseína, células polimorfonucleares, coagulación enzimática, plasmina, tiempo de coagulación.

### **Abstract**

This review gathers information associated to bovine mastitis and somatic cell count effect on compositional, physicochemical and cheesemaking aptness of milk. A brief description about mastitis and its connection with somatic cell count is done, likewise mechanism related to mastitis which can affect composition and physicochemical characteristics of milk are described. On another hand,

coagulation and cheese making aptness of milk are explained covering some parameters which are important on cheese making industry and impact directly cheese yields. Finally, important effects of mastitis presence and high somatic cell counts on composition and physicochemical milk parameters, milk coagulation properties, cheese yields and organoleptic characteristics for dairy industry are reviewed.

**Key words:** casein, enzymatic coagulation, milk clotting time, plasmin, polymorphonuclear cells.

### **1.1. Mastitis bovina y recuento de células somáticas**

La mastitis es la inflamación de la glándula mamaria, de acuerdo con la severidad de los síntomas puede ser clasificada en subclínica o clínica. El grado de inflamación depende de la naturaleza del agente patógeno causante, además de la edad, raza, estado inmunológico y etapa de lactancia de la vaca (Ogola *et al.*, 2007). La mastitis es causada principalmente por un amplio grupo de bacterias, sin embargo se han reportado casos de mastitis donde se han aislado virus y hongos lo cual sugeriría que estos pueden ser origen de la inflamación en algunos casos (Barkema *et al.*, 2009).

La mastitis se origina por el ingreso de los microorganismos al interior de la ubre vía pezón. Normalmente el canal del pezón está cerrado herméticamente por el esfínter del pezón, este contiene además queratina que en acción conjunta obstruyen la entrada de cualquier microorganismo. Adicionalmente el pezón contiene agentes antimicrobiales como ácidos grasos de cadena larga que ayudan a prevenir infecciones. Sin embargo, la eficiencia del sistema de defensa puede restringirse por algunos factores. Uno de ellos es el parto, donde con el aumento de la presión sanguínea se incrementa la presión sobre la glándula mamaria lo que causa la dilatación del pezón y la salida de secreciones. Por otro lado, durante el ordeño la queratina es removida y los músculos circulares del esfínter del pezón se relaja el cual requieren aproximadamente de 2 horas para

que se contraigan nuevamente y el pezón vuelva a su estado normal (Zhao and Lacasse, 2008).

Una vez dentro del pezón el microorganismo debe eludir la defensa humoral y celular de la ubre, si estos no son eliminados se multiplican rápidamente liberando toxinas e induciendo un aumento de leucocitos y células epiteliales que liberan sustancias quimio-tácticas mediadoras de la respuesta inmune. Entre estas sustancias se incluyen: citocinas (factor de necrosis tumoral-FNT e interleucinas-IL), eicosanoides (prostaglandina F2 $\alpha$ ), radicales de oxígeno y proteínas de fase aguda, esta situación atrae células de defensa principalmente neutrófilos polimorfonucleares (PMN) al sitio de la infección (Viguier *et al.*, 2009).

Los PMN actúan envolviendo y destruyendo al microorganismo, estos contienen gránulos intracelulares con función antibacterial (proteasas ácidas y básicas) que destruyen el microorganismo y algo del tejido epitelial, lo cual puede alterar la producción de leche. La destrucción de los PMN se hace por apoptosis envueltos e ingeridos por macrófagos una vez su función inmune se haya realizado. El tejido epitelial muerto y desprendido con los leucocitos muertos son secretados en leche resultando en altos recuentos de células somáticas (RCS) (Zhao and Lacasse, 2008). Por tanto, las células somáticas en leche están constituidas por una asociación de leucocitos y células epiteliales del tejido mamario. La leche de una ubre sana presenta bajo RCS principalmente conformado por macrófagos, en cambio leches de ubres con infección (mastitis) presentan un aumento significativo en el RCS donde los PMN se aumentan de manera considerable (Sharma *et al.*, 2011).

Si la infección persiste, la inflamación de las células epiteliales comienza a dañar la función del alveolo por pérdida de su integridad anatómica. La barrera entre sangre y leche se hace permeable permitiendo el paso de componentes del fluido extracelular como cloro, sodio, hidrógeno, y potasio que pasan a la glándula y se

mezclan en la leche; además si el daño es intenso trazas de sangre se pueden detectar en la leche, en este punto se evidencian signos clínicos como inflamación externa y enrojecimiento de la glándula. Otros cambios percibidos en leche son incrementos en: conductividad eléctrica, pH, agua y coágulos (Viguier *et al.*, 2009).

### **1.2. Coagulación y aptitud quesera de la leche**

El proceso de gelificación normalmente conocido a nivel industrial como coagulación de la leche a se puede realizar mediante: hidrólisis de la kappa caseína ( $\kappa$ -caseína) por acción de proteasas acidas denominadas cuajos, acidificación de la leche hasta el punto isoelectrico de las caseínas pH 4.6 utilizando agentes acidificantes o cultivos iniciadores, y por la combinación de la acidificación de la leche con tratamientos térmicos. El proceso de coagulación enzimático el cual representa la mayor parte de los procesos de elaboración de quesos (cerca del 75% a nivel mundial) está dividido en: fase enzimática donde actúa la enzima (proteasas acidas) sobre las  $\kappa$ -caseínas permitiendo la hidrólisis y precipitación de las caseínas, la fase no enzimática o gelificación donde las caseínas se empiezan a agregar entre ellas formando una red tridimensional (gel opaco) que retiene agua y grasa; y finalmente la fase de estructuración de la cuajada donde ocurre la sinéresis (Guinee and O'Brien, 2010).

La aptitud quesera está determinada por las propiedades de coagulación de la leche (PCL) ya que estas a su vez determina el rendimiento quesero en el proceso de elaboración (Wedholm *et al.*, 2006). Las PCL son consideradas como un requerimiento básico para la producción del queso. Los parámetros industrialmente importantes para la producción de quesos elaborados a través de la coagulación enzimática son el tiempo de hidrólisis, el grado de firmeza de la cuajada, la sinéresis o expulsión del suero y la capacidad de retención de agua. Comúnmente las PCL son determinadas por pruebas como: tiempo de la coagulación enzimática, tiempo de firmeza, la firmeza de la cuajada, la capacidad

de desuerado, la sinéresis y la resistencia al corte o compresión (Summer *et al.*, 2002).

Estudios muestran que las PCL son afectadas por parámetros físicos y químicos como la acidez titulable (De Marchi *et al.*, 2007), el recuento de células somáticas (Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988b), la concentración de proteína, caseínas, calcio y fósforo en leche (Summer *et al.*, 2002; Wedholm *et al.*, 2006), el polimorfismo genético de las proteínas (Ikonen *et al.*, 1999) y parámetros de manejo en finca (etapa de lactancia de la vaca, época del año, alimentación, raza, clima y número de partos) (Auldism *et al.*, 1996; Kefford *et al.*, 1995). Según varios estudios la leche en la cual las caseínas se agregan rápidamente luego de la reacción enzimática y forman una cuajada firme en un tiempo adecuado produce quesos de mejor calidad comparado con leches donde las caseínas toman más tiempo en agregarse y formar el gel (Andreatta *et al.*, 2009; Grandison and Ford, 1986; Kefford *et al.*, 1995; Klei *et al.*, 1998).

La reducción en el tiempo de coagulación de la leche resulta en un incremento de firmeza de la cuajada y mayor eficiencia del proceso, disminuyendo costos de fabricación (Celik, 2003). Una buena firmeza de la cuajada en el momento de corte esta correlacionado positivamente con buenos rendimientos queseros, retención de agua y cualidades sensoriales de los quesos (Andreatta *et al.*, 2009; Wedholm *et al.*, 2006). Se ha mostrado además que bajas concentraciones de calcio combinados con baja concentración de  $\kappa$ -caseína causan coagulación pobre o no coagulación en leches (Bornaz *et al.*, 2009). La concentración de grasa en la leche es importante en la producción de quesos ya que la grasa ha mostrado correlaciones positivas con el contenido total de proteína y caseínas en leche, incrementa el rendimiento quesero por aumento en la capacidad de retención de agua y mejora las características organolépticas (Comin *et al.*, 2008; Ikonen, 2000).

El rendimiento quesero se ve favorecido con el incremento de concentración de grasa,  $\kappa$ -caseína,  $\alpha_{S1}$ -caseína,  $\beta$ -caseína, caseína total,  $\alpha$ -lactoglobulina y proteína total (Aleandri *et al.*, 1990; Lou and Ng-Kwai-Hang, 1992; Wedholm *et al.*, 2006). En ensayos realizados en Suecia se ha observado que promedios de producción en quesos fueron mayores para los que presentaron coagulación normal con respecto a los que presentaron pobre coagulación, la pobre coagulación o no coagulación fue asociado a bajas concentraciones de  $\kappa$ -caseína, además la concentración de  $\kappa$ -caseína en relación a la proporción de  $\alpha_{S1}$ -CN y  $\beta$ -CN fue menor para leches con baja capacidad de coagulación o no coagulación en la producción de quesos. Un incremento del rendimiento en quesos debido a un incremento de la firmeza de la cuajada puede asociarse a un incremento en la capacidad de retención de agua de quesos preparados con leches de buenas PCL (Wedholm *et al.*, 2006).

### **1.3. Mecanismos de los cambios composicionales en leche por efecto de la mastitis**

Según Le Roux *et al.*, (2003) durante la inflamación de la glándula mamaria se presentan 3 mecanismos involucrados en cambios en la composición de la leche: a) disminución de la síntesis de compuestos (caseínas, ácidos grasos y lactosa principalmente) por las células alveolares, b) incremento en la permeabilidad del tejido mamario y c) incremento de la actividad proteolítica sobre las caseínas.

La disminución de la síntesis por las células alveolares ha sido poco estudiada, sin embargo se sabe que el contenido de lactosa es un indicativo de la síntesis alveolar y de presencia de mastitis (Pyörälä, 2003). Por lo tanto, una disminución en los niveles de lactosa indica una disminución en la producción de leche y la síntesis de sus componentes debido a la alteración de las células alveolares del tejido mamario. Se ha sugerido que esta alteración se debe a la presencia de PMN o la invasión del tejido por parte de los microorganismos lo cual disminuye la

capacidad de síntesis por cambios histológicos del tejido mamario (Sordillo *et al.*, 1997).

La permeabilidad de membrana celular de los alvéolos se ve afectada por la presencia de patógenos durante la mastitis. En presencia de patógenos en el alvéolo, los macrófagos a través de señales quimio-tácticas estimulan el ingreso de PMN en su mayoría neutrófilos de la sangre a la leche (Viguier *et al.*, 2009). Esta migración a través de las células lamínales puede provocar la formación de poros en el citoplasma de las células epiteliales de los alveolos que unido a la apoptosis de los PMN causa la necrosis del tejido epitelial (Le Roux *et al.*, 2003). Este fenómeno dirige los componentes de la sangre directamente a la leche o de la leche a la sangre con un intercambio de componentes entre estos compartimentos. La albumina sérica bovina aumenta entre 10 a 20% en leche de tanques, los citratos bajan un 28%, el potasio disminuye cerca de 15%, el sodio y el cloro aumenta de 20- 100%, cambios que afectaran la calidad de la leche para fabricación de derivados lácteos (Hamann and Krömker, 1997).

Finalmente, se desencadena la actividad proteolítica sobre las caseínas por la plasmina que aumenta durante la mastitis (Zachos *et al.*, 1992). La plasmina es una enzima que rompe cadenas de polipéptidos con preferencia por las uniones con lisina, fácilmente hidroliza  $\beta$ - y  $\alpha_{s2}$ - caseínas (Bastian and Brown, 1996). Las concentraciones de plasmina en la leche varían considerablemente con la raza, el estado de lactancia, número de partos y la mastitis (Bastian *et al.*, 1991; Politis *et al.*, 1989; Verdi and Barbano, 1991b). La importancia de esta proteasa es bien conocida y ha sido relacionada con efectos sobre la calidad tecnológica de la leche para producción de derivados lácteos; se le atribuye la actividad proteolítica en la maduración de los quesos en especial los que están a altas temperaturas en el madurado (Bastian and Brown, 1996). En las leches ultra pasteurizadas UHT (Ultra High Temperatura) parece estar implicada en la gelación durante el almacenamiento (Datta and Deeth, 2001). Leche de vacas con mastitis y altos

RCS tiene gran actividad proteolítica debido a la mayor concentración de plasmina y se ha asociado esta actividad de proteolítica como la responsable en la pérdida del valor tecnológico de la leche para la fabricación de quesos (Auld *et al.*, 1996). Dentro del sistema de acción de la plasmina existen activadores e inhibidores. El paso de plasminógeno (zimógeno) a plasmina por activadores provenientes de la sangre (uroquinasas principalmente) se relacionan con altas concentraciones de células somáticas en animales con mastitis (Vassalli *et al.*, 1991). En leches de ubres sanas se han encontrado inhibidores del plasminógeno y por tanto baja concentración de plasmina (Baldi *et al.*, 1996). La plasmina es una enzima proteolítica de la leche que aumenta su concentración cuando las vacas tienen mastitis; es importante para la industria de productos lácteos ya que es termolábil y es un problema en los procesos de fabricación (Ogola *et al.*, 2007). Además de la mastitis existen varios factores que determinan la actividad de la plasmina en condiciones naturales entre estos se conocen: vacas con baja producción en último tercio de lactancia, vacas con un pobre estatus nutricional, épocas de verano, grado de dilución de la leche en el acopio y razas con altas producciones (Bastian *et al.*, 1991; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988a).

Las enzimas proteolíticas de los PMN (colagenasa, elastasa y catepsina) que se aumentan en la leche durante un evento inflamatorio, están relacionadas más que todo con cambios de aroma y sabor en quesos madurados (Le Roux *et al.*, 2003). Estas enzimas han sido poco estudiadas en comparación al sistema plasmina/plasminógeno pero se conoce su importancia en el cambio composicional de la leche principalmente por su efecto proteolítico sobre caseínas (Verdi and Barbano, 1991a). Se conoce que la pasteurización no elimina estas proteasas por tanto estas siguen actuando después de procesos térmicos afectando a los productos elaborados con leches que tengan alta actividad proteolítica (Marino *et al.*, 2005).

#### **1.4. Influencia de la mastitis y el alto RCS sobre la calidad fisicoquímica, composicional y aptitud quesera de la leche**

##### **1.4.1. Efectos sobre parámetros fisicoquímicos y composicionales**

En estudios como el realizado por (Batavani *et al.*, 2007), se encontró que en vacas con mastitis subclínica (grado 3) se disminuía el nivel de calcio y fósforo principalmente el fosfato de calcio coloidal asociado a la caseína en la leche. En contraste, la concentración de sodio y el cloro aumentaron de manera significativa. Respecto a las proteínas séricas, las inmunoglobulinas y la albúmina se incrementan mientras que otras fracciones que son sintetizadas en el tejido mamario por las células alveolares como  $\alpha$ -lactoalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina disminuyen, se sugiere que esto es debido a que la mastitis causa daño y fibrilación del tejido alveolar. La albúmina es en su mayoría sintetizada en el hígado y en menor proporción sintetizada por la glándula mamaria, el sintetizado en el hígado va a la leche vía sanguínea siendo más sencillo el paso en ubres con infecciones intramamarias que son más permeables a los componentes sanguíneo. El contenido de las sales (cloro y sodio) en leches mastíticas mantienen la presión osmótica que en leches normales es dada por el contenido de lactosa (Batavani *et al.*, 2007).

Las leches mastíticas tienen un ambiente notoriamente iónico (Bruckmaier *et al.*, 2004). Un alto RCS está asociado en cambios de la composición de ácidos grasos, disminución de la concentración de lactosa, aumento de iones y sales minerales así como un pH y actividad proteolítica elevados (Andreatta *et al.*, 2009; Marino *et al.*, 2005; Ogola *et al.*, 2007).

##### **1.4.2. Efecto sobre la aptitud quesera de la leche**

En vacas, el RCS es un útil predictor de mastitis subclínica y por tanto, importante en términos de calidad de leche, higiene y control de mastitis. Elevados RCS en leche están asociados con alteración en la calidad de las proteínas de la leche en especial de las  $\beta$ -caseína que son importantes en los rendimientos de producción

de quesos y otros derivados lácteos (Martin *et al.*, 2009; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988b). El RCS está asociado también al incremento al tiempo de coagulación enzimática y un bajo nivel de firmeza de la cuajada durante el proceso de fabricación de los quesos (Verdi and Barbano, 1991b). En la fabricación de productos fermentados un alto RCS está asociado a inhibición de los cultivos lácticos utilizados para fermentación (Okello-Uma and Marshall, 1986). La actividad proteolítica hidroliza las caseínas de la leche provocando bajos rendimientos en quesos comparándolo cuando no hay esa actividad proteolítica (Johnson *et al.*, 2001).

Las fracciones de caseína se degradan de forma diferente ante la presencia de las proteasas donde la más vulnerable es la  $\alpha_{s1}$ -caseína, luego la  $\beta$ -caseína y en menor grado esta la  $\kappa$ -caseína (Marino *et al.*, 2005; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988a). Srinivasan y Lucey (2002), reportaron que la  $\kappa$ -caseína no es degradada por la plasmina, argumentan que es posible que la acción de la plasmina active los sitios de la  $\kappa$ -caseína más accesibles a la quimosina hidrolizando uniones cercanas a la  $\kappa$ -caseína. La hidrólisis de las caseínas diferentes a la  $\kappa$ -caseína por la plasmina puede reducir las barreras de repulsión a la agregación entre micelas en leches a pH normal, afectando el sistema coloidal (Srinivasan and Lucey, 2002). De este modo, es posible que la plasmina actúe sobre otras caseínas de la superficie reduciendo las fuerzas de repulsión afectando la estructura de las moléculas que se reflejaran en el proceso de coagulación enzimática. Se ha sugerido por algunos autores que las  $\alpha_{s1}$  y  $\beta$ -caseínas son las más importantes en la formación y firmeza del gel durante la coagulación y son las principales hidrolizadas por la acción de la plasmina (Ikonen, 2000; Marino *et al.*, 2005). De acuerdo con lo anterior, leches con alta actividad de la plasmina forman estructuras débiles con coagulación parcial, reteniendo gran cantidad de agua y con tiempos prolongados de coagulación con respecto a leches con menor actividad de la plasmina. Se recomienda que una vez la leche es colectada, esta sea enfriada rápidamente a temperaturas inferiores de 5°C ya que a estas

temperaturas la hidrólisis de caseína por parte de las proteasas de las células somáticas se disminuye (Politis *et al.*, 1993).

La actividad proteolítica en leches con RCS inferior a 1.000.000 cel/ml se debe a la plasmina, el daño proteolítico a las fracciones de caseína ocurre principalmente dentro de la glándula mamaria antes del ordeño; un alto RCS en vacas con mastitis subclínica causa bajos rendimientos en la fabricación del queso e incrementa la concentración de componentes en el suero (Barbano *et al.*, 1991). Según Barbano *et al.*, (1991), un RCS superior a 200.000 cel/ml causa pérdidas de proteína y grasa en suero; estos autores dicen además, que en leche con recuentos mayores a 127.000 cel/ml se observa proteólisis de caseína a causa de las enzimas proteolíticas principalmente de las plasminas. La proteína total en queso disminuye paulatinamente con el aumento de RCS, mientras que la humedad aumenta esto debido a la pérdida de la estructura normal de la caseína y acompañada de pérdida de calcio y fósforo coloidal importantes para la gelificación y estructuración de la cuajada. Una mala estructuración o formación de gel trae problemas de sinéresis que afectan notablemente los rendimientos queseros (Marino *et al.*, 2005).

El umbral de RCS para una leche normal es variable pero muchos autores por lo general lo expresan como 100.000 cel/ml para leche normal sin problemas de mastitis; un decrecimiento en la síntesis de las células del tejido mamario y proteólisis están asociados con RCS por encima de 100.000 cel/ml; sin embargo parece ser que en leche de tanque el efecto negativo sobre la composición y actividad de la plasmina comienza con RCS de más de 400.000 cel/ml (Barbano *et al.*, 1991; Le Roux *et al.*, 2003). En general los estudios discuten que la leche de tanque destinada para producción de quesos no tiene efecto importante con RCS inferiores a 300.000 cel/ml por lo cual recomiendan para el productor mantener el RCS por debajo de este valor que está de acuerdo a la norma de países europeos, Australia y Nueva Zelanda que establecen un valor agregado a

leches por debajo de 400.000 cel/ml para el pago por calidad (Lindmark-Mansson *et al.*, 2003; Norman *et al.*, 2011).

El pH de la cuajada aumenta en leche proveniente de animales con mastítis, se sugiere que un alto pH frena el proceso de gelificación y por tanto el tiempo de coagulación aumenta (Bornaz *et al.*, 2009); Marino *et al.* 2005 mostró que bajos valores de pH están relacionados con menores tiempos en coagulación enzimática, comparado con pH neutro o mayores (6,5-6,8). El RCS por encima de 200.000 cel/ml disminuyen la acidez titulable de la leche, esta juega un papel importante en todas las fases de la coagulación en la fabricación de quesos (Barbano *et al.*, 1991). La acidez titulable afecta la reactividad entre la renina y la caseína, la tasa de agregación de las micelas de caseína en la formación del gel y la habilidad de sinéresis de la cuajada (Summer *et al.*, 2002). Baja acidez causa mayores tiempos de coagulación así como baja firmeza de la cuajada (De Marchi *et al.*, 2007).

La alta capacidad de fusión de los quesos con alta actividad proteolítica puede ser debida a la degradación de caseínas que dan una consistencia y estructura débil de la cuajada (Andreatta *et al.*, 2009). Con alto RCS (> 800.000cel/ml) el queso pierde características tecnológicas como punto de fusión el cual decrece y además presenta una apariencia grasosa indeseable. Auld *et al.*, (1996), mostraron que tanques con RCS mayores de 500.000 cel/ml dio como resultado quesos con alto contenido de humedad y daño proteolítico, incrementando el tiempo de coagulación en 25%, incremento de las pérdidas de grasa y proteínas en el suero y un rendimiento quesero disminuido en 8,9%. El recuento total de microorganismos aumenta con incrementos de RCS en leches mastíticas, pero este aumento no es importante para la producción de queso (Barbano *et al.*, 1991).

### 1.4.3. Efectos sobre propiedades sensoriales

Se ha encontrado que la firmeza en el corte de la cuajada es importante en los atributos sensoriales del queso (Johnson *et al.*, 2001). Un incremento en humedad de quesos da como resultado quesos más suave y de textura blanda, esto por la reducción del contenido de grasa en queso (Vianna *et al.*, 2008). Un RCS entre el rango de 400.000 cel/ml dio como resultado una aceptabilidad mejor en apariencia y consistencia con respecto a valores más altos 800.000 cel/ml; además un RCS superior a 1'500.000 cel/ml dieron como resultado menores atributos sensoriales para sabor, olor, consistencia y apariencia esto debido a compuestos resultado de proteólisis y lipólisis (Marino *et al.*, 2005; Martin *et al.*, 2009). En otro estudio Andreatta *et al.*,(2009), mostraron que la alta humedad de los quesos de leches con altos RCS causan defectos en textura, esto por la alta actividad de la plasmina en los quesos que pueden tener un impacto importante sobre el sabor, aroma y la textura. Las pérdidas de grasa y proteína en suero en leches mastíticas provocan altas humedades en quesos madurados que están relacionadas con mala maduración y por tanto perdidas sensoriales propias de cada clase de queso (Marino *et al.*, 2005).

### 1.5. Conclusión

Esta revisión sugiere que la mastitis bovina y el RCS tienen efectos negativos en la industria quesera afectando principalmente parámetros composicionales y fisicoquímicos que alteran las propiedades tecnológicas de la leche reflejándose en los rendimientos de elaboración de queso. La presencia de mastitis está relacionada con altos recuentos de células somáticas que principalmente están constituidos de células de defensa leucocitos poliformonucleares, estas mediante su respuesta inmune provocan cambios de las características composicionales y fisicoquímicas de la leche por medio de tres mecanismos: disminución de la síntesis en el tejido alveolar, el incremento de la permeabilidad del tejido alveolar y el aumento de la actividad enzimática en leche dado por las lisozimas de los

leucocitos polimorfonucleares y el sistema plasmina/plasminogeno (Le Roux *et al.*, 2003).

La mayoría de estudios concluyen que existen cambios en la leche que son negativos en la industria quesera cuando se presenta mastitis y altos RCS, el principal es el cambio estructural de las micelas de caseína por la alta proteólisis en la  $\alpha_{s1}$  y  $\beta$ -caseína que altera las propiedades de coagulación (tiempo de coagulación, firmeza, capacidad de retención de agua y sinéresis), disminuye de manera considerable los rendimientos queseros y aumenta las pérdidas de grasa y proteína en el lactosuero. La literatura reporta que con pequeños incrementos del RCS (mayores a las 200.000 cel/ml) ya se empiezan a ver los efectos negativos en rendimientos queseros por los cambios estructurales de la caseína. Adicionalmente se ha reportado efecto en las propiedades organolépticas de algunos tipos de queso por la mastitis y el alto RCS, principalmente a causa de la alta actividad enzimática de las leches, aun así los estudios en este tema son escasos y se limitan a ciertos tipos de queso, por lo tanto no se puede generalizar a todas clases.

Finalmente algunos países industrializados ya han fijado sus límites de células somáticas en leche y los tienen legislados para el pago por calidad de leche cruda al productor donde mediante control de mastitis en finca y la aplicación de las buenas prácticas se logra reducir la prevalencia de mastitis en los hatos lecheros y el RCS en la leche, obteniendo una materia prima de mejor calidad para la industria. Lo anterior sugiere que los países que aun no lo han establecido o tienen límites muy altos están en desventaja competitiva que es el caso de la industria láctea colombiana.

### **1.6. Referencias**

Aleandri R, Buttazzoni L, Schneider J, Caroli A, and Davoli R. The effects of milk protein polymorphisms on milk components and cheese-producing ability. *Journal of dairy science* 1990 73(2):241-255.

- Andreatta E, Fernandes AM, Santos MV, Mussarelli C, Marques MC, and Oliveira CAF. Composition, functional properties and sensory characteristics of Mozzarella cheese manufactured from different somatic cell counts in milk. *Bras Arch Biol Techn* 2009 52(5):1235-1242.
- Auldist MJ, Coats S, Sutherland BJ, Mayes JJ, McDowell GH, and Rogers GL. Effects of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *J Dairy Res* 1996 63(02):269-280.
- Baldi A, Savoini G, Cheli F, Fantuz F, Senatore E, Bertocchi L, and Politis I. Changes in plasmin-plasminogen-plasminogen activator system in milk from Italian Friesian herds. *Int Dairy J* 1996 6(11-12):1045-1053.
- Barbano D, Rasmussen R, and Lynch J. Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *Journal of dairy science* 1991 74(2):369-388.
- Barkema H, Green M, Bradley A, and Zadoks R. Invited review: The role of contagious disease in udder health. *J Dairy Sci* 2009 92(10):4717-4729.
- Bastian E, and Brown R. Plasmin in milk and dairy products: an update. *Int Dairy J* 1996 6(5):435-457.
- Bastian ED, Brown RJ, and Ernstrom CA. Plasmin Activity and Milk Coagulation. *J Dairy Sci* 1991 74(11):3677-3685.
- Batavani R, Asri S, and Naebzadeh H. The effect of subclinical mastitis on milk composition in dairy cows. *Iran J Veterinary Res* 2007 8:205-211.
- Bornaz S, Sahli A, Attalah A, and Attia H. Physicochemical characteristics and renneting properties of camels' milk: A comparison with goats', ewes' and cows' milks. *Int J Dairy Tech* 2009 62(4):505-513.
- Bruckmaier R, Ontsouka C, and Blum J. Fractionized milk composition in dairy cows with subclinical mastitis. *Veterinarni Medicina-UZPI* 2004 49.
- Celik S. beta-Lactoglobulin genetic variants in Brown Swiss breed and its association with compositional properties and rennet clotting time of milk. *Int Dairy J* 2003 13(9):727-731.
- Comin A, Cassandro M, Chessa S, Ojala M, Dal Zotto R, De Marchi M, Carnier P, Gallo L, Pagnacco G, and Bittante G. Effects of Composite beta-and kappa-Casein Genotypes on Milk Coagulation, Quality, and Yield Traits in Italian Holstein Cows. *J Dairy Sci* 2008 91(10):4022-4027.
- Datta N, and Deeth H. Age gelation of UHT milk: a review. *Food and Bioproducts processing* 2001 79(4):197-210.
- De Marchi M, Dal Zotto R, Cassandro M, and Bittante G. Milk coagulation ability of five dairy cattle breeds. *J Dairy Sci* 2007 90(8):3986-3992.

- Grandison AS, and Ford GD. Effects of variations in somatic cell count on the rennet coagulation properties of milk and on the yield, composition and quality of cheddar cheese. *J Dairy Res* 1986 53(04):645-655.
- Guinee T, and O'Brien B. The Quality of Milk for Cheese Manufacture. *Technology of Cheesemaking* 2010:1-67.
- Hamann J, and Krömker V. Potential of specific milk composition variables for cow health management. *Livestock Production Sci* 1997 48(3):201-208.
- Ikonen T. Possibilities of genetic improvement of milk coagulation properties of dairy cows. 2000.
- Ikonen T, Ahlfors K, Kempe R, Ojala M, and Ruottinen O. Genetic parameters for the milk coagulation properties and prevalence of noncoagulating milk in Finnish dairy cows. *J Dairy Sci* 1999 82(1):205-214.
- Johnson M, Chen C, and Jaeggi J. Effect of rennet coagulation time on composition, yield, and quality of reduced-fat Cheddar cheese. *J Dairy Sci* 2001 84(5):1027-1033.
- Kefford B, Christian MP, Sutherland BJ, Mayes JJ, and Grainger C. Seasonal influences on Cheddar cheese manufacture: influence of diet quality and stage of lactation. *J Dairy Res* 1995 62(03):529-537.
- Klei L, Yun J, Sapru A, Lynch J, Barbano D, Sears P, and Galton D. Effects of Milk Somatic Cell Count on Cottage Cheese Yield and Quality. *J Dairy Sci* 1998 81(5):1205-1213.
- Le Roux Y, Laurent F, and Moussaoui F. Polymorphonuclear proteolytic activity and milk composition change. *Vet Res* 2003 34(5):629-645.
- Lindmark-Mansson H, Fondén R, and Pettersson HE. Composition of Swedish dairy milk. *Int Dairy J* 2003 13(6):409-425.
- Lou Y, and Ng-Kwai-Hang K. Effects of protein and fat levels in milk on Cheddar cheese yield. *Food Res Int* 1992 25(6):437-444.
- Marino R, Considine T, Sevi A, McSweeney P, and Kelly A. Contribution of proteolytic activity associated with somatic cells in milk to cheese ripening. *Int Dairy J* 2005 15(10):1026-1033.
- Martin B, Pomiès D, Pradel P, Verdier-Metz I, and Rémond B. Yield and sensory properties of cheese made with milk from Holstein or Montbéliarde cows milked twice or once daily. *J Dairy Sci* 2009 92(10):4730-4737.
- Norman H, Lombard J, Wright J, Koprál C, Rodríguez J, and Miller R. Consequence of alternative standards for bulk tank somatic cell count of dairy herds in the United States. *J Dairy Sci* 2011 94(12):6243-6256.

- Ogola H, Shitandi A, and Nanua J. Effect of mastitis on raw milk compositional quality. *J Vet Sci* 2007 8(3):237.
- Okello-Uma I, and Marshall V. Influence of mastitis on growth of starter organisms used for the manufacture of fermented milks. *J Dairy Res* 1986 53(4):631-637.
- Politis I, Lachance E, Block E, and Turner J. Plasmin and plasminogen in bovine milk: a relationship with involution? *J Dairy Sci* 1989 72(4):900-906.
- Politis I, and Ng-Kwai-Hang K. Association between somatic cell count of milk and cheese-yielding capacity. *J Dairy Sci* 1988a 71(7):1720-1727.
- Politis I, and Ng-Kwai-Hang K. Effects of somatic cell counts and milk composition on the coagulating properties of milk. *J Dairy Sci* 1988b 71(7):1740-1746.
- Politis I, Zavizion B, Barbano D, and Gorewit R. Enzymatic assay for the combined determination of plasmin plus plasminogen in milk: revisited. *J Dairy Sci* 1993 76(5):1260-1267.
- Pyörälä S. Indicators of inflammation in the diagnosis of mastitis. *Vet Res* 2003 34(5):565-578.
- Sharma N, Singh N, and Bhadwal M. Relationship of somatic cell count and mastitis: An overview. *Asian-Aust J Anim Sci* 2011 24(3):429-438.
- Sordillo L, Shafer-Weaver K, and DeRosa D. Immunobiology of the Mammary Gland. *J Dairy Sci* 1997 80(8):1851-1865.
- Srinivasan M, and Lucey J. Effects of added plasmin on the formation and rheological properties of rennet-induced skim milk gels. *J Dairy Sci* 2002 85(5):1070-1078.
- Summer A, Malacarne M, Martuzzi F, and Mariani P. Structural and functional characteristics of Modenese cow milk in Parmigiano-Reggiano cheese production. *Parma. Ann Fac Med Vet Univ* 2002 22:163–174.
- Vassalli J-D, Sappino A-P, and Belin D. The plasminogen activator/plasmin system. *J Clin Invest* 1991 88(4):1067.
- Verdi R, and Barbano D. Properties of proteases from milk somatic cells and blood leukocytes. *J Dairy Sci* 1991a 74(7):2077-2081.
- Verdi RJ, and Barbano DM. Effect of Coagulants, Somatic Cell Enzymes, and Extracellular Bacterial Enzymes on Plasminogen Activation<sup>1</sup>. *Journal of dairy science* 1991b 74(3):772-782.
- Vianna P, Mazal G, Santos M, Bolini H, and Gigante M. Microbial and sensory changes throughout the ripening of Prato cheese made from milk with different levels of somatic cells. *Journal of dairy science* 2008 91(5):1743-1750.

Viguier C, Arora S, Gilmartin N, Welbeck K, and O'Kennedy R. Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends Biotech* 2009 27(8):486-493.

Wedholm A, Larsen LB, Lindmark-Månsson H, Karlsson AH, and Andrén A. Effect of protein composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows. *J Dairy Sci* 2006 89(9):3296-3305.

Zachos T, Politis I, Gorewit R, and Barbano D. Effect of mastitis on plasminogen activator activity of milk somatic cells. *J Dairy Res* 1992 59(04):461-467.

Zhao X, and Lacasse P. Mammary tissue damage during bovine mastitis: causes and control. *J Animal Sci* 2008 86(13, Supplement 1):57.



## 2. Mastitis, raza, días en lactancia, número de partos, recuento de células somáticas y composición de la leche bovina en hatos de la Sabana de Bogotá

### Study of some factors affecting milk composition in dairy herds of Bogota Savanna

#### Resumen

**Antecedentes:** la calidad industrial de la leche depende de su composición, conteo microbiano y células somáticas que varían dependiendo de diferencias en producción primaria. En Colombia, hay pocos estudios sobre su variación

**Objetivo:** determinar el efecto de mastitis bovina, raza, días en lactancia y número de partos sobre la composición de la leche en hatos de la Sabana de Bogotá.

**Métodos:** se tomaron muestras individuales de leche (3867) y de tanques de enfriamiento (160) en 16 hatos de Cundinamarca durante un año. Los contenidos de grasa, proteína y sólidos totales fueron determinados. El test California Mastitis (CMT) se hizo en cada vaca, se estimó el índice de ubre vaca de acuerdo al CMT, el recuento de células somáticas se midió en cada tanque. Los datos fueron analizados por estadística descriptiva y regresión múltiple. **Resultados:** La concentración de grasa fue mayor en vacas con valores altos de CMT o índice de ubre de la vaca ( $p < 0,05$ ). La concentración de proteína y sólidos en leche no cambiaron debido a la mastitis ( $p > 0,05$ ). La concentración de grasa aumentó con el recuento de células somáticas para las muestras de leche de tanque ( $p < 0,05$ ). Al aumentar los días en lactancia aumentaron la concentración de proteína, grasa y sólidos totales ( $p < 0,0001$ ). Las vacas Normando presentaron mayores sólidos totales que las Holstein ( $p < 0,0001$ ). La leche de la región occidente presentó mayor concentración de proteína y sólidos que la leche de la región norte ( $p < 0,0001$ ). **Conclusiones:** los cambios en la composición de la leche se explicaron principalmente por la raza, la región y los días en lactancia que por la incidencia de mastitis o el recuento de células somáticas.

**Palabras claves:** *Holstein, Normando, sólidos totales, vaca lechera*

#### Summary

**Background:** milk composition, microbiology and somatic cell count are the main factors determining its industrial quality and vary depending of differences in primary production. In Colombia, there are few studies about these differences. **Objective:** effects of bovine mastitis, breed, days on milk and parities on milk composition of dairy herds of Bogotá Savanna were determined. **Methods:** milk from each cow (3867) and bulk tanks (160) in 16 Cundinamarca dairy herds were sampled in a year. Fat, protein and total solids concentrations were determined. California Mastitis Test was performed in each cow, Cow Udder Score was estimated through CMT and somatic cell count was measured for each tank. Data were analyzed by descriptive statistics and multiple regressions. **Results:** Milk fat was higher with higher CMT scores or cow udder score ( $p < 0.05$ ). Protein or total solids did not change due to mastitis ( $p > 0.05$ ). Fat increased as somatic cell count (SCC) increased ( $p < 0.05$ ). Increasing days on milk increased protein, fat and total solids ( $p < 0.0001$ ). Normande cows presented higher milk solids than Holstein ( $p < 0.0001$ ). Milk from west region had higher concentration of protein and solids than milk from north region ( $p < 0.0001$ ). **Conclusions:** composition changes were explained mainly by breed, region and days on milk than by mastitis or somatic cell count.

**Keywords:** *dairy cow, Holstein, milk total solids, Normande*

## 2.1. Introducción

La Sabana de Bogotá ubicada en la región de Cundinamarca es una zona lechera importante del país ya que produce cerca del 16,3% de la producción nacional (2'109.780 litros/día) (DANE, 2011). En el año 1999, se realizó un estudio en 1100 hatos de la sabana de Bogotá donde se encontró que en promedio estas fincas tenían RCS de 637.000 cel/ml, un 10% de estas fincas superaban el millón y todo a causa del manejo sanitario deficiente de los hatos y la no aplicación de las buenas prácticas ganaderas en la rutina de ordeño (Barrero, 1999). En el 2002, se reportó una incidencia de mastitis del 54% para la región (Calderón, 2002).

Cotrino (2009) sugiere que la incidencia de mastitis sigue siendo un problema a pesar de las medidas de control implementadas en la última década.

El recuento de células somáticas (RCS) ha sido aceptado como un índice confiable para detectar la infección intramamaria en ganado bovino (Pyörälä, 2003). En diferentes países se acepta el RCS como una herramienta en el control de calidad sanitaria de la leche que se entrega a la industria procesadora. Europa, Australia y Nueva Zelanda han establecido sus límites con un RCS menor de 400.000 cel/ml, Estados Unidos 750.000 cel/ml y Canadá 500.000 cel/ml (Norman *et al.*, 2011). En América latina Brasil ha establecido un límite de 1.000.000 cel/ml (Mazal *et al.*, 2007). En Colombia, existen algunas industrias que manejan sus propios límites pero no está contemplado dentro de la legislación del pago por calidad de leche cruda.

La importancia económica de la proteína y de la grasa para el fabricante de derivados lácteos es bien conocida (Emmons and Modler, 2010). Se ha encontrado que a mayores concentraciones de sólidos totales los rendimientos de los derivados lácteos aumentan (quesos, leche en polvo, yogurt, kumis) (Aleandri *et al.*, 1990; Andreatta *et al.*, 2009; Bornaz *et al.*, 2009; Comin *et al.*, 2008). Hay diversos factores (la raza, el estado de lactancia, el número de partos y el estado sanitario de la ubre) que modifican las concentraciones de los componentes en la leche (Auldist *et al.*, 1995; Auldist *et al.*, 1996; Carroll *et al.*, 2006; Laevens *et al.*, 1997; Palmquist *et al.*, 1993). La mastitis y el RCS que aumenta como consecuencia de la mastitis modifican las concentraciones del calcio, el fósforo, el sodio, el cloro, las proteínas, las caseínas, la grasa, y las enzimas como la plasmina (Auldist *et al.*, 1996; Carroll *et al.*, 2006; Palmquist *et al.*, 1993; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988). Durante la mastitis, las células epiteliales de la glándula mamaria reducen la capacidad de síntesis de algunos compuestos de la leche y aumentan las concentraciones de las proteínas del suero (Urech *et al.*, 1999). El rendimiento quesero se reduce debido a una disminución en la

concentración de caseína y a una mayor actividad de las enzimas proteolíticas que degradan la caseína (Kelly *et al.*, 2006; Le Roux *et al.*, 2003).

En sistemas de producción de leche especializados, los productores y asistentes siempre están preocupados por la producción de leche y no por la composición de esta. En la Sabana de Bogotá la difusión genética está dirigida a producción donde los sólidos son bajos (menor a 11,9%). Por otra parte, el pago de calidad de leche no es diferencial para la mayoría de las industrias lácteas aún, causando pobre calidad nutricional (Ramos *et al.*, 1998). Adicionalmente, las concentraciones de proteína y grasa en la leche (3,0 y 3,4%, respectivamente) son bajas en los hatos Holstein comparado con leches de otras regiones de Colombia (Calderón *et al.*, 2006) y otros países (Machado *et al.*, 2000).

En la región de Cundinamarca, existen pocos estudios publicados sobre los efectos de la mastitis, el RCS, la raza, los días en lactancia o el número de partos sobre la calidad composicional de la leche. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de estos factores sobre la calidad composicional de la leche en fincas de la región de Cundinamarca.

## **2.2. Materiales y métodos**

### **2.2.1. Muestreo de la leche**

Se tomaron muestras de leche de las vacas y en los tanques de enfriamiento en 16 hatos lecheros ubicados en 14 municipios del Departamento de Cundinamarca. Las vacas se muestrearon en cuatro ocasiones en un periodo de un año para un total de 3867 muestras de leche. Los tanques fueron muestreados mensualmente en el mismo periodo para un total de 160 muestras.

El muestreo de tanques o cantinas se realizó de acuerdo al protocolo de toma de muestras para leche fresca del Consejo Nacional de la Leche y prevención de la

Mastitis (CNLM) basado en la norma técnica colombiana (NTC) 666 (ICONTEC, 1996). En los tanques, la leche se mezcló con un agitador automático durante 2 minutos o manualmente por 10 minutos. Para las cantinas, se realizó una agitación con agitador manual por 30 segundos con movimientos circulares. Una alícuota de leche (100 ml) se tomó de tanques y cantinas con muestreador. Las muestras se conservaron a 4°C o adicionando una pastilla de bronopol (300mg) por cada 40 ml de leche.

Para las vacas, se tomó una muestra de leche en la mañana y otra en la tarde y se mezclaron de acuerdo al nivel de producción en cada ordeño, la alícuota fue de 100 ml. La toma de muestras en las vacas ordeñadas mecánicamente, se hizo con un medidor automático (auto muestreador) conectado a la línea de leche y vacío. En el caso del ordeño manual, el total de leche producida por vaca se agitó por 30 segundos y se tomó la muestra. El día de muestreo para cada animal, se tomaron registros de raza, días en lactancia y número de partos.

### **2.2.2. Salud de la ubre**

En cada día del muestreo, se determinó el estado sanitario de la ubre mediante la prueba CMT (California Mastitis Test), utilizando el producto mastitis reactivo de IMPORIZA® en los cuatro pezones de la ubre de cada vaca (Viguiet *et al.*, 2009). Se estimó el índice de ubre vaca (ICU) sumando la calificación del CMT de cada cuarto de la ubre para cada vaca en cada uno de los muestreos (obteniéndose 14 índices de 0 a 13). En la leche de los tanques se analizó el RCS con un contador electrónico DeLaval (DCC®) (Viguiet *et al.*, 2009).

### **2.2.3. Calidad composicional de la leche**

La calidad composicional de la leche (grasa, proteína, sólidos totales) se determinó por el método de infrarrojo cercano usando un Milkoscan Foss™ FT2 (Leitner *et al.*, 2006). Los análisis se hicieron por duplicado en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

## 2.2.4. Modelo estadístico

### 2.2.4.1. Estadística descriptiva y comparación de medias

Se realizó estadística descriptiva general de los datos y estadística descriptiva de los datos clasificados por cada uno de los índices de ubre vaca (IUV). Se realizó una comparación de medias para cada uno de los IUV por diferencia mínima significativa de Fisher con un nivel de confianza del 95%.

### 2.2.4.2. Regresión múltiple

Un análisis de regresión lineal múltiple para modelos observacionales fue realizado para dos conjuntos de datos (el primer conjunto las muestras individuales de leche para animales sanos o con un CMT 0 en todos los pezones de la ubre y el segundo conjunto las muestras de leche de los tanques solo de Holstein) de acuerdo a los siguientes modelos:

*Muestras individuales de leche:*  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{raza} + \beta_2 \text{región} + \beta_3 \text{número de partos} + \beta_4 \text{días en leche} + E_i$

*Muestras de leche de tanque:*  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{RCS} + \beta_2 \text{región} + \beta_3 \text{días en leche} + E_i$

Donde para las muestras individuales  $Y_i$  corresponde a la variable respuesta (concentración en leche de grasa, proteína o sólidos totales) de la vaca  $i$ ,  $\beta_0$  es el intercepto,  $\beta_1$  es el parámetro para raza (por ser cualitativa se introduce como una variable dummy 1= Holstein 0=Normando),  $\beta_2$  es el parámetro para región (por ser cualitativa se introduce como una variable dummy 1= norte 0= occidente),  $\beta_3$  es el parámetro para número de partos (variable cuantitativa),  $\beta_4$  es el parámetro para días en leche (variable cuantitativa) y  $E_i$  es el error de estimación.

Para las muestras de tanque  $Y_i$  corresponde a la variable respuesta (concentración en leche de grasa, proteína o sólidos totales) para el tanque  $i$ ,  $\beta_0$  es el intercepto,  $\beta_1$  es el parámetro para el RCS (variable cuantitativa),  $\beta_2$  es el parámetro para región (por ser cualitativa se introduce como una variable dummy 1= norte 0=

occidente),  $\beta_3$  es el parámetro para días en leche (variable cuantitativa) y  $E_i$  es el error de estimación.

La herramienta PROC REG del sistema SAS versión 9.2 (SAS Inst. Inc., Cary, NC) fue utilizada. Los supuestos del modelo de regresión fueron: que las variables independientes fueran independientes y que el error de estimación fuera una variable aleatoria independiente con distribución normal, media cero y varianza común. Las variables ficticias o dummy fueron analizadas mediante la metodología de predictores cualitativos (Kutner *et al.*, 2005). Luego, si las variables dummy fueron significativas, las variables continuas (predictores cuantitativos) fueron analizadas cada una mediante una regresión independiente para cada categoría (por ejemplo raza Holstein o Normando en la región norte u occidente); el intercepto, los coeficientes de regresión, el error estándar y el valor p fueron determinados (Kutner *et al.*, 2005). Para todos los análisis estadísticos, el nivel de significancia fue considerado en  $P \leq 0.05$ .

## **2.3. Resultados**

### **2.3.1. Estadística descriptiva y comparación de medias**

La concentración de grasa, proteína, y sólidos totales (ST) para las muestras individuales de leche fue 3,4 (+/-0,6), 3,0 (+/-0,4) y 12,1% (+/-0,9) respectivamente. Mientras que la concentración para las muestras de leche de tanque fue 3,4 (+/-0,3), 2,9 (+/-0,1) y 12,0 % (+/-0,5) (Tabla 2.1).

En la distribución, el 50% de los datos (cuartiles 25,50 y 75) en las muestras de leche de vaca varió entre 3,0% a 3,8% para concentración de grasa, de 2,7 a 3,2% para concentración de proteína y de 11,4 a 12,6% para la concentración de sólidos totales (Tabla 2.1). Los datos de las muestras de leche de tanque varió en menor proporción que los datos de las muestras de leche por animal, de 3,1 a 3,6% en concentración de grasa, de 2,8 a 3,0% en concentración de proteína y de 11,6 a 12,3 en la concentración de sólidos totales (Tabla 2.1).

Los días en leche (DL) en animales estuvieron distribuidos entre 115 a 295, mientras que en tanques entre 174 a 226 en los cuartiles 25, 50 y 75. El número de partos estuvo distribuido entre 1 a 4 para los datos de animales. El RCS estuvo distribuido entre 216.000 a 430.000 células/ml en los cuartiles 25, 50 y 75 (Tabla 2.1)

**Tabla 2. 1.** Estadística descriptiva general

	Media	Cuartil				
		Min	25	50	75	100
<b>Individuales (N=3867)</b>						
Grasa (%)	3.4	2.2	3.0	3.4	3.8	5.1
Proteína (%)	3.0	2.2	2.7	2.9	3.2	3.9
ST (%)	12.0	10.2	11.4	12.0	12.6	13.9
DL (%)	208	4	115	201	295	548
Partos (%)	3	1	1	2	4	11
<b>Tanques (N=160)</b>						
Grasa (%)	3.4	2.8	3.1	3.4	3.6	4.5
Proteína (%)	2.9	2.6	2.8	2.9	3.0	3.4
ST (%)	12.0	11.0	11.6	12.0	12.3	13.6
DL	203	98	174	197	226	348
RCC (cel/ml x1000)	378	76	216	306	430	2263

ST: Sólidos totales, DL: Días en leche, RCC: Recuento de células somáticas

En animales, el 84% de los datos (3248) fueron registros de animales Holstein y el 16% (619) fueron de Normando. El 76% de los datos fueron muestras de la región norte y 27% de la región occidente. Las muestras de animales sanos fueron el 60% (2307), mientras que las muestras con animales con algún grado de infección (CMT diferente de 0 en alguno de los pezones) fue el 40% (1560) (Tabla 2.2). En los datos de tanque, 80 muestras fueron de tanques de fincas Holstein y 80 muestras de tanques de fincas con hatos compuestos de diferentes razas. En los hatos Holstein el 64% de las muestras fueron de la región norte y el 36% de la región occidente (Tabla 2.2).

**Tabla 2. 2.** Estadística descriptiva general de las variables cualitativas

		Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
<b>Animales (4091)</b>			
Raza	Holstein	3448	84
	Normando	643	16
Región	Norte	3122	76
	Occidente	969	27
Sanidad	0 (Sanas)	2307	60
	CMT diferente de 0	1560	40
<b>Hatos (160)</b>			
Holstein (80)	Norte	62	77
	Occidente	18	23
Mezclados*(80)	Norte	51	64
	Occidente	31	36

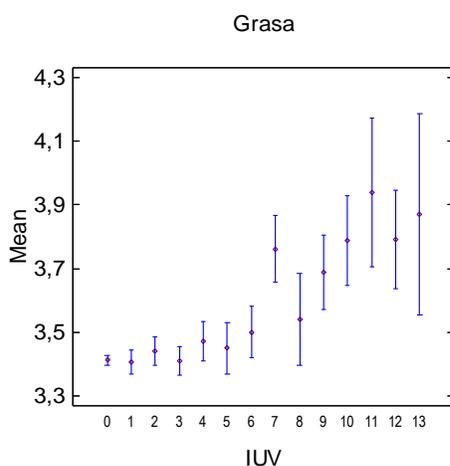
\*Leche de diferentes razas

### 2.3.2. Estadística descriptiva de los datos de animales clasificados por el IUV

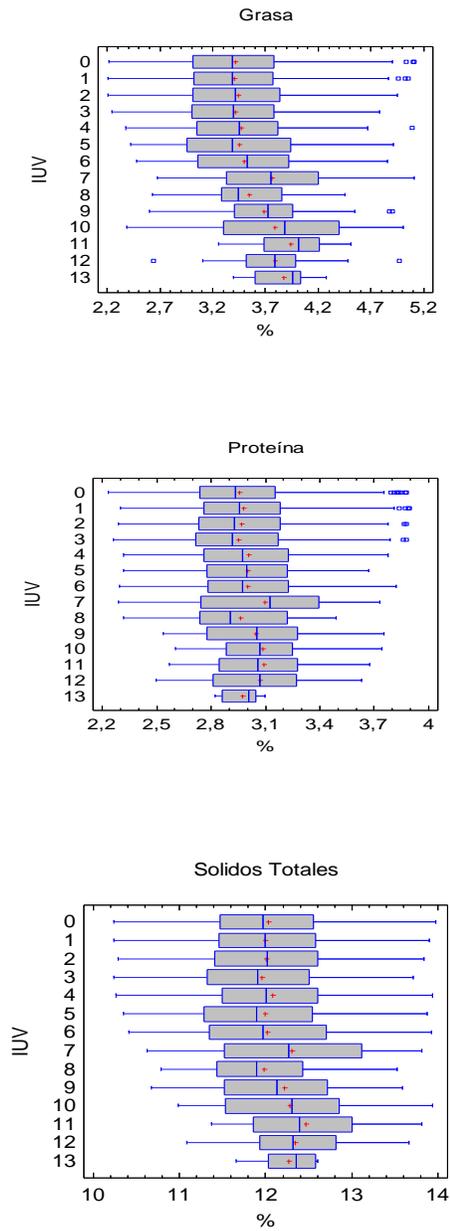
La concentración promedio de grasa en leche fue aumentando a medida que aumento el IUV cuando este fue mayor a 6 a excepción del nivel 8 donde se disminuyo la concentración de grasa (Tabla 2.3). La concentración de grasa en leche fue diferente para los niveles 0,1,2,3,4,5 y 7 comparado con los niveles 6, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 ( $P < 0,05$ ) (Figura 2.1). En la figura 2.2 se muestra la distribución de la información para la concentración de grasa, proteína y sólidos totales para los niveles de IUV.

**Tabla 2. 3.** Medias y desviaciones estándar (DS) para grasa, proteína y sólidos totales (ST) en cada uno de los niveles del Índice de Ubre Vaca (IUV)

IUV	N	Grasa (%)		Proteína (%)		ST (%)	
		Media	DS	Media	DS	Media	DS
0	2307	3,412	0,553	2,959	0,298	12,02	0,78
1	431	3,407	0,55	2,98	0,316	11,99	0,793
2	296	3,442	0,568	2,96	0,327	12,01	0,821
3	288	3,41	0,567	2,95	0,321	11,95	0,834
4	157	3,471	0,548	3,004	0,327	12,07	0,812
5	93	3,451	0,664	3,003	0,319	11,99	0,935
6	95	3,501	0,557	3	0,327	12,02	0,806
7	55	3,761	0,597	3,095	0,38	12,3	0,924
8	29	3,541	0,485	2,96	0,302	11,97	0,72
9	44	3,69	0,505	3,046	0,349	12,21	0,749
10	30	3,787	0,686	3,083	0,272	12,27	0,791
11	11	3,939	0,379	3,089	0,321	12,46	0,701
12	25	3,792	0,489	3,066	0,334	12,34	0,674
13	6	3,869	0,319	2,973	0,108	12,26	0,362
<b>Total</b>	<b>3867</b>	<b>3,436</b>	<b>0,561</b>	<b>2,97</b>	<b>0,309</b>	<b>12,02</b>	<b>0,796</b>



**Figura 2. 1.** Diferencia mínima significativa de Fisher con un nivel de confianza del 95% para la concentración de grasa en los distintos niveles del índice de ubre vaca (IUV).



**Figura 2. 2.** Distribución de la información para concentración de grasa, proteína y sólidos totales en leche para los diferentes niveles del índice de ubre vaca (IUUV)

### 2.3.3. Supuestos de los Modelo de regresión múltiple

Los supuestos del modelo fueron probados. Primero la independencia de las variables independientes es dada por las características de los modelos

observacionales donde cada dato puede estar en cada raza, en todas las regiones, en cualquier día en leche, en cualquier número de parto y en cualquier RCS. El error de estimación en cada modelo fue una variable aleatoria independiente con distribución normal (Tabla 2.4). Por otra parte, el error de estimación tiene media cero dado que la variancia de la concentración de grasa, proteína y sólidos totales fue descompuesta por el método de los mínimos cuadrados y tiene varianza común dado por las graficas de predichos vs residuales que no muestran tendencias.

**Tabla 2. 4.** Normalidad e independencia del Error de estimación de los modelos de regresión múltiple

	P>D*	P<DW*
<b>Animales</b>		
Grasa	0,07	0,073
Proteína	0,09	0,187
ST	0,15	0,052
<b>Tanques</b>		
Grasa	0,10	0,071
Proteína	0,13	0,157
ST	0,12	0,092

1. \*P>D=Prueba Kolmogorov-Smirnov para normalidad del error de estimación, \*\*P<DW=Prueba Durbin Watson para independencia de error de estimación

#### 2.3.4. Análisis de predictores cualitativos

Para las muestras de leche de animales la raza Holstein fue diferente a la Normando en la concentración de grasa, proteína y sólidos totales ( $P < 0,0001$ ). Respecto a la región en las muestras de animales la región norte fue diferente a la occidente para proteína y sólidos totales ( $P < 0,0001$ ), mientras que para grasa no fue diferente ( $P = 0,44$ ). En las muestras de leche de tanques de hatos Holstein la región norte solo fue diferente a la occidente para la concentración de proteína ( $P < 0,0001$ ).

### 2.3.5. Resultados del modelo de regresión para las muestras de leche de vaca

La concentración de grasa fue menor para la raza Holstein de acuerdo a los intervalos de confianza (IC) (95% IC, 3,13-3,19) comparado con la Normando (95% IC, 3,55-3,66) (Tabla 2.5). En la concentración de proteína la raza Holstein tuvo menor concentración tanto en la región norte (95% IC, 2,75-2,78) como en la región occidente (95% IC, 2,90-2,98) comparado con la raza Normando en el norte (95% IC, 2,79-2,95) y en el occidente (95% IC, 3,01-3,08), además como se observa las concentraciones fueron mayores en la región occidente comparado con la región norte. Para la concentración de sólidos totales la situación es similar que en la proteína, la raza Holstein tuvo menor concentración tanto en la región norte (95% IC, 11,59-11,68) como en la región occidente (95% IC, 11,98-12,03) comparado con la raza Normando en el norte (95% IC, 12,19-12,36) y en el occidente (95% IC, 12,36-12,54), además como se observa las concentraciones fueron mayores en la región occidente comparado con la región norte.

**Tabla 2. 5.** Modelos de regresión finales del efecto de raza, región, días en leche y número de partos sobre la calidad composicional de muestras de leche individuales de vacas sanas

Componente	Raza	Región	N	Variables	B	SE	P
<b>Grasa</b>	Holstein	NA*	1985	Intercepto	3,1674	0,0287	
				DL	0,0011	0,0001	< 0,0001
				Partos	-0,007	0,0065	0,2837
	Normando	NA	322	Intercepto	3,6079	0,0538	
				DL	0,0014	0,0002	< 0,0001
				Partos	-0,0193	0,0111	0,0839
<b>Proteína</b>	Holstein	Norte	1687	Intercepto	2,766	0,0163	
				DL	0,0007	0,00006	< 0,0001
				Partos	0,0009	0,004	0,8136
		Occidente	298	Intercepto	2,9469	0,0381	
				DL	0,0006	0,0001	< 0,0001
				Partos	-0,0178	0,0087	0,0422
	Normando	Norte	97	Intercepto	2,8707	0,0822	
				DL	0,0005	0,0003	0,0637
				Partos	0,012	0,014	0,3833
		Occidente	225	Intercepto	3,0464	0,0365	

				DL	0,0008	0,0001	< 0,0001	
				Partos	-0,007	0,008	0,3841	
<b>ST</b>	Holstein	Norte	1687	Intercepto	11,6368	0,0436		
				DL	0,0015	0,0002	< 0,0001	
				Partos	-0,0144	0,009	0,1428	
			Occidente	298	Intercepto	11,9386	0,0998	
		DL			0,0011	0,0003	0,0006	
		Partos			-0,032	0,022	0,1578	
		Normando	Norte	97	Intercepto	12,2778	0,0845	
	DL				0,0014	0,0006	0,0168	
	Partos				-0,0079	0,033	0,8089	
			Occidente	225	Intercepto	12,4544	0,0863	
	DL				0,0018	0,0003	< 0,0001	
	Partos				-0,0369	0,0192	0,0553	

2307 observaciones fueron incluidas en el análisis. Las agrupaciones de raza y región fueron hechas de acuerdo a los resultados del análisis de predictores cualitativos. \*NA: No aplica ya que en el análisis de predictores cualitativos la región no fue significativa para la grasa. ST: sólidos totales, DL: días en leche,  $\beta$ : coeficientes de regresión, SE: error estándar para los coeficientes.

Respecto a los días en leche estos fueron significativos ( $P < 0,05$ ) sobre la composición de la leche en casi todos los modelos exceptuando en la concentración de proteína en la raza Normando para la región norte. La contribución parcial de días en leche a la composición es directa, por ejemplo para la región Norte, raza Holstein: por cada día que aumente o disminuya días en leche, la proteína aumenta o disminuye en 0.0007 unidades porcentuales igual para las otras razas, regiones y variables respuesta (Tabla 2.5).

Diferente al efecto de los días en leche sobre la composición, fue el comportamiento del número de partos, donde solo fue significativo para la concentración de proteína en la raza Holstein en la región occidente ( $P = 0,0422$ ) con un coeficiente de regresión negativo indicando que mientras aumenta o disminuye en uno el número de partos de la vaca, disminuye la concentración de proteína en 0.0178 unidades porcentuales (Tabla 2.5).

### 2.3.6. Resultados del modelo de regresión para las muestras de leche de tanque de hatos Holstein

El RCS solo fue significativo para la concentración de grasa ( $P=0,004$ ), donde por cada incremento de 100000 células/ml del RCS la concentración de grasa aumentó 0,03 unidades porcentuales (Tabla 2.6)

Para la proteína, la región occidente (95% IC, 2.52-2.68) tuvo mayores concentraciones en leche que la región norte (95% IC, 2.69-2.91) (Tabla 2.6). Los días en leche fueron significativos en todos los modelos ( $P<0.05$ ) con coeficientes positivos indicando que a medida que aumentaron los días en leche las concentraciones de grasa, proteína y sólidos totales aumentaron (Tabla 2.6).

**Tabla 2. 6.** Modelos\* de regresión finales del efecto de la región, recuento de células somáticas y días en leche\*\* sobre la calidad composicional de muestras de leche de tanques de hatos Holstein

Componente	Región	Variables	$\beta$	SE	P
<b>Grasa</b>		Intercepto	2.62	0.15	
		RCS***	0.0003	0.00001	0.004
		DL	0.003	0.0007	0.0002
<b>Proteína</b>	Norte	Intercepto	2.6	0.08	
		RCS	-0,0003	0.00008	0.19
		DL	0.005	0.00003	0.001
	Occidente	Intercepto	2.8	0.11	
		RCS	-0,0001	0.00001	0.2
		DL	0.001	0.00005	0.006
<b>ST</b>		Intercepto	10.96	0.18	
		RCS	0.0002	0.0001	0.10
		DL	0.004	0.0008	< 0.001

\*80 observaciones fueron utilizadas en el análisis. \*\* Los días en leche de los hatos fueron obtenidos del promedio de los días en leche de todas las vacas en cada muestreo. \*\*\* RCS: recuento de células somáticas en células/uL. ST: sólidos totales, RCS: recuento de células somáticas, DL: días en leche,  $\beta$ : coeficientes de regresión, SE: error estándar para los coeficientes.

## 2.4. Discusión

En general respecto a la calidad composicional de la leche, las muestras individuales de vacas fue similar a las muestras de leche de tanque, sin embargo las muestras individuales presentaron mayor dispersión. La leche de tanque de todos los hatos mostraron resultados similares a otros estudios, donde la

concentración de grasa, proteína y sólidos totales (3,4; 2,9 y 12% respectivamente) continua siendo más baja comparado con otras regiones productoras de leche del país (Calderón *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2000; Ramos *et al.*, 1998). Esto sugiere que la producción de leche especializada es aún una preocupante para la calidad composicional.

Este trabajo buscaba determinar el efecto de la raza, la región, los días en lactancia, el número de partos, el RCS y la mastitis clínica sobre los componentes de la leche en dos regiones de la Sabana de Bogotá. Existe evidencia en la literatura sobre el efecto de la mayoría de estos factores en la composición de la leche (Andreatta *et al.*, 2009; Auldist *et al.*, 1995; Caccamo *et al.*, 2010; Carroll *et al.*, 2006; Hortet and Seegers, 1998; Laevens *et al.*, 1997; Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1984; Palmquist *et al.*, 1993; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988).

#### **2.4.1. Mastitis y RCS**

La literatura sugiere que el efecto de la mastitis sobre los componentes de la leche está asociado al efecto de ésta sobre los volúmenes de leche. Se sugiere que cuando se disminuye el volumen de producción por efectos de la mastitis aumentan tanto la grasa como la proteína en la leche y ese factor varía en las razas siendo más evidente en la Holstein (Houben *et al.*, 1993). Por otro lado cuando la producción de leche no se afecta, la grasa disminuye mientras que en la proteína no tiene efecto aparente (Macmillan *et al.*, 1983; Myllys and Rautala, 1995).

En nuestro estudio, el efecto de la mastitis sobre la composición de la leche solo fue evidente sobre las concentraciones de grasa. En las muestras de leche individual, la concentración de grasa aumentó cuando el índice de ubre vaca (IUV) como parámetro de mastitis fue mayor en las vacas. Por otro lado, en los tanques, el aumento en el número de células somáticas en la leche estuvo positivamente correlacionado con la concentración de grasa en la leche. Se ha sugerido que el

número de células somáticas es un indicativo de la presencia de mastitis (IDF, 1979; Norman *et al.*, 2000; Pyörälä, 2003; Radostits *et al.*, 2000). Sin embargo, no todas las células somáticas provienen de procesos infecciosos (Dohoo and Meek, 1982) y se ha demostrado que al aumentar los días en lactancia y el número de partos aumentan las células somáticas (Dulin *et al.*, 1983; Laevens *et al.*, 1997). Es razonable pensar que al aumentar el número de células somáticas en la leche se aumenta el aporte de lípidos provenientes de los fosfolípidos de las membranas de estas y por esta razón se presenta una relación positiva entre el RCS y la grasa en la leche. Por otro lado, una menor concentración de grasa en la leche cuando hay mastitis clínica (Macmillan *et al.*, 1983; Myllys and Rautala, 1995) y a su vez mayores niveles de células somáticas como lo observado en este estudio, sugeriría que probablemente la síntesis de lípidos en las células alveolares disminuye. Reportes recientes han demostrado que la inflamación de la ubre compromete la síntesis de lípidos por las células alveolares a través de una regulación negativa de los genes involucrados en la síntesis de enzimas responsables de la síntesis de lípidos (Genini *et al.*, 2011; Moyes *et al.*, 2009). Por lo cual, el efecto neto de la mastitis sobre las concentraciones de grasa en la leche estarían determinadas por el aumento de grasa asociado al aumento de células somáticas, la disminución de la síntesis de lípidos en las células alveolares y la disminución en el volumen de leche.

En nuestro estudio, la concentración de sólidos totales y proteína en la leche no estuvo asociada a la presencia o no de mastitis o al RCS. En la literatura se encuentran reportes contradictorios. Por ejemplo, Urech *et al.* (1999) y Le Roux *et al.* (2003) reportan aumentos en la proteína en casos de mastitis debido a un aumento de proteínas séricas provenientes de la sangre como las albuminas. Otros estudios han descrito que la concentración de proteína total fue más alta con RCS altos (Coulon *et al.*, 2002). Este aumento de proteína cruda se debe a un aumento de Nitrógeno No Proteico (NNP) y Nitrógeno No Caseínico (NNC) (Andreatta *et al.*, 2009; Auldist *et al.*, 1996; Mazal *et al.*, 2007; Urech *et al.*, 1999). Por tanto, altos RCS en leche tienen menor proteína verdadera como porcentaje

de proteína cruda y más alto NNP, lo cual refleja el grado de proteólisis en leches de tanque con alto RCS (Mazal *et al.*, 2007). Otros estudios no encontraron efectos del RCS sobre la concentración de proteína en la leche o incluso correlaciones negativas es decir que a medida que aumenta el RCS disminuyen la concentración de proteína (Auldist *et al.*, 1995; Auldist *et al.*, 1996; Le Roux *et al.*, 2003; Pedraza *et al.*, 2000; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988). Al igual que para la grasa, se podría esperar que la presencia de células somáticas aportaran proteína a la leche lo que generaría aumentos a medida que los RCS aumenta. Sin embargo, esto no fue evidente ni en la leche de las vacas ni en la de los tanques en nuestro estudio.

#### **2.4.2. Días en lactancia**

Al aumentar los días en lactancia aumentaron las concentraciones de grasa, proteína y sólidos totales tanto en vacas como en tanques. Lo anterior concuerda con varios estudios donde durante el transcurso de la lactancia la concentración de los componentes en la leche tiene una curva inversa a la curva de la lactancia, lo que evidencia que mientras se disminuyen los volúmenes de producción al aumentar los días en lactancia la concentración de los componentes en la leche aumenta (Auldist *et al.*, 1995; Caccamo *et al.*, 2010; Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1984). En, nuestro estudio el cambio en la concentración de grasa en la leche por cada día en lactancia fue superior en la raza Normado comparativamente con la Holstein, sugiriendo que la magnitud del cambio es dependiente de la raza.

En los tanques, los días en lactancia promedio del hato fueron el principal factor explicativo de las variaciones en la composición de la leche. Esto sugiere que los días en lactancia, que pueden ser predichos con las fechas de parto y secado de las vacas del hato, podrían ayudar a determinar las variaciones futuras en la composición de la leche. En el estudio, los días en lactancia de los hatos estuvieron entre 98 y 285 días lo cual limitaría la inferencia que se puede hacer del

efecto de estos sobre los sólidos. En varios estudios se ha determinado que en periodos más cortos de lactancia el efecto es negativo debido a los aumentos en los volúmenes de leche (Auldist *et al.*, 1996; Laevens *et al.*, 1997).

### **2.4.3. Raza**

La diferencia por factores genéticos ha sido bien establecida donde la raza Holstein por lo general tiene mayores volúmenes de producción de leche con menores concentraciones de sólidos que otras razas (Caccamo *et al.*, 2010; Cerbulis and Farrell, 1975). En el país, la leche que acopia la industria ha mostrado leches con mayores concentraciones de sólidos en leches de zonas tropicales donde las razas predominante son cebú o sus cruces comparativamente con las zonas de producción lechera especializada donde la principal raza es la Holstein (Holmann *et al.*, 2003; IICA, 2005; MADR/CCI, 2010). En nuestro estudio, el efecto de la raza sobre la composición de la leche en los tanques no pudo ser establecido ya que en la mayoría de los hatos donde no se manejaba como única raza la Holstein estos tenían más de una raza. Los productores han tomado como estrategia introducir, a sus hatos Holstein, animales cuya genética produce mayores sólidos en la leche (Normando, Jersey, Ayrshire). De los hatos muestreados, el 48% fueron hatos con diferentes razas los cuales tuvieron mayores sólidos en la leche (Datos no incluidos).

### **2.4.4. Región**

En este estudio, las fincas de la región occidente de la Sabana de Bogotá presentaron mayores concentraciones de proteína y sólidos totales en la leche que las de la región Norte independientemente de la raza. Varios autores han sugerido que las diferencias entre regiones en la composición de la leche en hatos de características raciales similares podrían explicarse por diferencias en las prácticas de manejo y en la alimentación de los animales en las fincas (Baldi *et al.*, 1996; Caccamo *et al.*, 2010; Carroll *et al.*, 2006). Aunque en la Sabana de Bogotá los sistemas de producción de leche son similares, la diferencia

encontrada entre la región norte y occidente podrían explicarse por variaciones en la alimentación (Caccamo *et al.*, 2010). Mayores proporciones de concentrados en la ración disminuyen la concentración de grasa y sólidos mientras aumentan la producción de leche (Alvarez *et al.*, 2006). En nuestro estudio, las concentraciones de grasa entre regiones no fueron diferentes como si lo fueron las de proteína por lo cual estas no se podrían explicar por diferencias en el uso de concentrado entre regiones. Estudios realizados por Mendoza *et al.* (2011) sugieren que en condiciones de la Sabana de Bogotá, mayores consumos de forraje explican mayores volúmenes de leche y concentraciones de proteína en la leche mientras que las concentraciones de grasa son similares. Por lo cual, una posible explicación a mayores concentraciones de proteína y sólidos en la leche serían mayores consumos de forraje en la zona occidente.

Otras posibles explicaciones asociadas a las diferencias entre regiones en la composición de la leche podrían estar relacionadas con el número de ordeños (O'Brien *et al.*, 2005) o al clima (Guinee and O'Brien, 2010). Sin embargo, el número de ordeños no fue diferente entre regiones y el clima fue similar.

#### **2.4.5. Número de partos**

En nuestro estudio, el efecto del número de partos sobre la composición de la leche no fue evidente. Aunque la mayoría de reportes en la literatura muestran que a medida que aumenta el número de partos la concentración de grasa, proteína y sólidos totales en la leche disminuye, este efecto es menor y en muchos estudios no es estadísticamente diferente (Hortet and Seegers, 1998) (Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1987).

#### **2.5. Conclusiones**

Nuestro estudio sugiere que la mastitis clínica y el recuento de células somáticas explican poco las variaciones en la composición de la leche mientras que los días

en lactancia, la región y la raza son los factores principales en la variación de composición. La mastitis medida a través del CMT aumentó la concentración de grasa en la leche de muestras individuales. Adicionalmente la concentración de grasa aumentó también con el recuento de células somáticas en los tanques. La mastitis no afectó las concentraciones de proteína y sólidos totales en la leche. Al aumentar los días en lactancia aumentaron la concentración de proteína, grasa y sólidos totales. Por último, la raza Normando presentó mejores sólidos en la leche que la Holstein, así como la región occidente presentó mayores concentraciones de proteína y sólidos en leche que la región norte.

## **2.6. Agradecimientos**

Los autores agradecemos al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS) por la financiación del proyecto, al personal de los laboratorios de nutrición y de microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia así como al personal del Consejo Nacional de la Calidad de la Leche y Prevención de la Mastitis (CNLM) Luis Fernando Bernal, Lina Niño y Dikens Buitrago por su colaboración en la ejecución del proyecto.

## **2.7. Referencias**

- Alvarez HJ, Dichio L, Pece MA, Cangiano CA, and Galli JR. Producción de leche bovina con distintos niveles de asignación de pastura y suplementación energética. *Ciencia e investigación agraria* 2006 33(2):99-107.
- Andreatta E, Fernandes AM, Santos MV, Mussarelli C, Marques MC, and Oliveira CAF. Composition, functional properties and sensory characteristics of Mozzarella cheese manufactured from different somatic cell counts in milk. *Bras Arch Biol Techn* 2009 52(5):1235-1242.

- Auldist MJ, Coats S, Rogers GL, and McDowell GH. Changes in the composition of milk from healthy and mastitic dairy cows during the lactation cycle *Australian Journal of Experimental Agriculture* 1995 35:427-436.
- Auldist MJ, Coats S, Sutherland BJ, Mayes JJ, McDowell GH, and Rogers GL. Effects of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *J Dairy Res* 1996 63(02):269-280.
- Barrero C. Recuento de células somáticas en leche. Tesis de Grado, Facultad de Bacteriología, Universidad Javeriana. Bogotá D.C.; 1999.
- Caccamo M, Veerkamp R, Ferguson J, Petriglieri R, La Terra F, and Licitra G. Associations of breed and feeding management with milk production curves at herd level using a random regression test-day model. *J Dairy Sci* 2010 93(10):4986-4995.
- Calderón A. Cuantificación de factores de riesgo de mastitis en sistemas elite de producción de leche en el altiplano Cundiboyacense. Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.; 2002.
- Calderón A, García F, and Martínez G. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Rev MVZ Córdoba* 2006 11(1):1-16.
- Carroll S, DePeters E, Taylor S, Rosenberg M, Perez-Monti H, and Capps V. Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Sci Techn* 2006 131(3-4):451-473.
- Cerbulis J, and Farrell H. Composition of milks of dairy cattle. I. Protein, lactose, and fat contents and distribution of protein fraction. *J Dairy Sci* 1975 58(6):817-827.
- Comin A, Cassandro M, Chessa S, Ojala M, Dal Zotto R, De Marchi M, Carnier P, Gallo L, Pagnacco G, and Bittante G. Effects of Composite beta-and kappa-Casein Genotypes on Milk Coagulation, Quality, and Yield Traits in Italian Holstein Cows. *J Dairy Sci* 2008 91(10):4022-4027.

Cotrino V. Estrategias de diagnóstico, control y prevención de mastitis. Rev Med Vet Zoot 2009 56:327-331.

Coulon JB, Gasqui P, Barnouin J, Ollier A, Pradel P, and Pomiès D. Effect of mastitis and related-germ on milk yield and composition during naturally-occurring udder infections in dairy cows. Animal Research 2002 51(5):383-394.

Cunha R, Molina L, Carvalho A, Facury E, Ferreira P, and Gentilini M. Subclinical mastitis and relationship between somatic cell count with number of lactations, production and chemical composition of milk. Arq Bras Med Vet Zoo 2008 60:19-24.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (Colombia). Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Bogotá D.C.; 2011.

Dohoo I, and Meek A. Somatic cell counts in bovine milk. Can Vet J 1982 23(4):119.

Dulin A, Paape M, Schultze W, and Weinland B. Effect of parity, stage of lactation, and intramammary infection on concentration of somatic cells and cytoplasmic particles in goat milk. J Dairy Sci 1983 66(11):2426-2433.

Emmons D, and Modler H. Invited review: A commentary on predictive cheese yield formulas. J Dairy Sci 2010 93(12):5517-5537.

Genini S, Badaoui B, Sclep G, Bishop SC, Waddington D, van der Laan MHP, Klopp C, Cabau C, Seyfert HM, and Petzl W. Strengthening insights into host responses to mastitis infection in ruminants by combining heterogeneous microarray data sources. BMC genomics 2011 12(1):225.

Guinee T, O'Brien B. The quality of milk for cheese manufacture. Technology of cheesemaking 2010:1-67.

Holmann F, Rivas L, Carulla J, Giraldo LA, Guzman S, Martinez M, Rivera B, Medina A, and Farrow A. Evolución de los sistemas de producción de leche en el trópico latinoamericano y su interrelación con los mercados: un análisis del caso colombiano. Disponible en <http://www.grupochorlaviorg/php/doc/documentos/evolucionsistemaspdf>. Consulta noviembre de 2012 2003.

- Hortet P, and Seegers H. Loss in milk yield and related composition changes resulting from clinical mastitis in dairy cows. *Prev Vet Med* 1998 37(1-4):1-20.
- Houben EHP, Dijkhuizen AA, Van Arendonk JAM, and Huirne R. Short-and long-term production losses and repeatability of clinical mastitis in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1993 76(9):2561-2578.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (Colombia). Norma Técnica Colombiana NTC 666: Leche y productos lácteos guía para el muestreo. Bogotá D.C.; 1996.
- IICA. Instituto Interamericano para la Cooperación Agrícola. Acuerdo de Competitividad de la cadena láctea colombiana. Colección documentos IICA. Serie de Competitividad No 12. Bogotá, D.C. 2005.
- Kitchen B. Review of the progress of dairy science: Bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. *J Dairy Res* 1981 48:167-188.
- Kutner M, Nachtsheim C, Neter J, Li W. *Applied linear statistical models*. 4<sup>th</sup> ed. Columbus (OH): McGraw-Hill Companies; 2005.
- Laevens H, Deluyker H, Schukken Y, De Meulemeester L, Vandermeersch R, De Muêlenaere E, and De Kruif A. Influence of Parity and Stage of Lactation on the Somatic Cell Count in Bacteriologically Negative Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1997 80(12):3219-3226.
- Macmillan KL, Duirs GF, and Duganzich DM. Association Between Dry Cow Therapy, Clinical Mastitis, and Somatic Cell Count Score with Milk and Fat Production in Ten New Zealand Dairy Herds. *J Dairy Sci* 1983 66(2):259-265.
- Machado P, Pereira A, and Sarres G. Composição do elite de tanques de rebanhos Brasileiros distribuídos segunda sua contagem de células somáticas. *Rev Bras Zootec* 2000 29:1833-1886.

- Malek dos Reis C, Barreiro J, Mestieri L, de Felício Porcionato M, and dos Santos M. Effect of somatic cell count and mastitis pathogens on milk composition in Gyr cows. *BMC veterinary research* 2013 9(1):67.
- Mendoza C, Pabón M, and Carulla J. Variaciones diarias de la oferta forrajera, efecto sobre la producción y calidad de la leche. *RevMVZ Córdoba* 2011 16(3):2721-2732.
- Moyes KM, Drackley JK, Morin DE, Bionaz M, Rodriguez-Zas SL, Everts RE, Lewin HA, and Looor JJ. Gene network and pathway analysis of bovine mammary tissue challenged with *Streptococcus uberis* reveals induction of cell proliferation and inhibition of PPAR $\gamma$  signaling as potential mechanism for the negative relationships between immune response and lipid metabolism. *BMC genomics* 2009 10(1):542.
- Myllys V, and Rautala H. Characterization of clinical mastitis in primiparous heifers. *J Dairy Sci* 1995 78(3):538-545.
- Ng-Kwai-Hang K, Hayes J, Moxley J, and Monardes H. Variability of test-day milk production and composition and relation of somatic cell counts with yield and compositional changes of bovine milk. *J Dairy Sci* 1984 67(2):361-366.
- Ng-Kwai-Hang K, Hayes J, Moxley J, and Monardes H. Variation in milk protein concentrations associated with genetic polymorphism and environmental factors. *J Dairy Sci* 1987 70(3):563-570.
- Norman H, Miller R, Wright J, and Wiggans G. Herd and state means for somatic cell count from dairy herd improvement. *J Dairy Sci* 2000 83(12):2782-2788.
- O'Brien B, Gleeson D, and Mee JF. Effect of milking frequency and nutritional level on milk production characteristics and reproductive performance of dairy cows. Proceedings of the 56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, EAAP, Uppsala, Sweden, 5–8 June 2005, p. 348, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. 2005.
- Pedraza G, Mansilla M, Fajardo R, and Agüero E. Cambios en la producción y composición láctea por efecto del incremento de células somáticas en leche de vacas. *Agricultura Técnica* 2000 60(3):251-258.

Politis I, and Ng-Kwai-Hang K. Effects of somatic cell counts and milk composition on the coagulating properties of milk. *J Dairy Sci* 1988 71(7):1740-1746.

Pyörälä S. Indicators of inflammation in the diagnosis of mastitis. *Vet Res* 2003 34(5):565-578.

Ramos R, Pabón M, and Carulla J. Factores nutricionales y no nutricionales que determinan la composición de la leche. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia* 1998 46:2-27.

Urech E, Puhan Z, and Schällibaum M. Changes in milk protein fraction as affected by subclinical mastitis. *J Dairy Sci* 1999 82(11):2402-2411.

Viguier C, Arora S, Gilmartin N, Welbeck K, and O'Kennedy R. Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends Biotech* 2009 27(8):486-493.

### 3. Recuento de Células Somáticas en la leche, aptitud quesera y calidad sensorial de queso campesino

#### *Milk somatic cell count, cheese yield and sensorial quality of fresh cheese*

##### **Resumen**

**Antecedentes:** En Colombia, el alto recuento de células somáticas (RCS) en la leche es un problema para la industria lechera. Altos recuentos pueden afectar de manera considerable los rendimientos y calidad final del queso. Varios países han establecido límites máximos para el RCS. Sin embargo, Colombia no lo ha hecho lo que significa una desventaja comercial. **Objetivo:** Determinar el efecto del recuento de células somáticas (RCS) sobre parámetros de aptitud quesera de la leche y la calidad sensorial del queso campesino. **Método:** Se tomaron muestras de leche de seis tanques con altos y bajos RCS y se realizaron mezclas para obtener 30 muestras con diferentes RCS (desde 150000 hasta 1200000 cel/mL). Se elaboraron quesos tipo campesino a los cuales se les determinaron variables de aptitud quesera (tiempo de coagulación, rendimientos y pérdidas en suero) y la calidad organoléptica a través de una prueba sensorial con panel entrenado. Las variables de aptitud quesera fueron analizadas por regresión múltiple y los resultados de la evaluación sensorial con la prueba no paramétrica de Friedman. **Resultados:** La aptitud quesera disminuyó con RCS superiores a 200000 cel/mL. El tiempo de coagulación ( $R^2 = 0.74$ ;  $p < 0.001$ ) y las pérdidas de proteína en el lactosuero ( $R^2 = 0.55$ ,  $p < 0.001$ ) aumentaron, mientras que los rendimientos ( $R^2 = 0.31$ ,  $p < 0.01$ ) disminuyeron a medida que aumentó el RCS. La calificación de los panelistas para textura y apariencia disminuyó con RCS mayores a 600000 cel/mL ( $p < 0.01$ ) y el sabor y el aroma a partir de 800000 cel/mL ( $p < 0.01$ ). **Conclusión:** Aumentos en el RCS en leche afecta negativamente parámetros de aptitud quesera y la calidad sensorial del queso campesino. Se sugiere que los impactos serán menores en rendimiento mientras el RCS sea menor y la calidad organoléptica cuando la leche tenga RCS por debajo de 600000 cel/mL.

**Palabras clave:** caseína, composición de queso, rendimiento quesero, tiempo de coagulación

### **Summary**

**Background:** A high milk somatic cell count (SCC) is a problem for milk industry in Colombia. These high counts can affect considerably yield and final quality of cheese. Several countries have established maximum limits for SCC. However, in Colombia these limits have not been established, therefore the country is in a commercial disadvantage. **Objective:** To determine the effect of somatic cell count (SCC) on milk potential for cheese making and sensorial quality of fresh cheese. **Methods:** Six milk samples with high and low SCC, were taken from bulk tanks and mixed to obtain 30 samples with SCC of 150000 to 1200000 somatic cells/mL. Fresh cheeses were prepared and clotting time, yield (protein, fat, dry matter) and whey losses were determined. Protein, fat, dry matter in milk and cheese yields were analyzed by multiple regressions and information of sensorial test by Friedman method. **Results:** when milk SCC (somatic cells/ml) increased from 150.000 to 1'200.000, clotting time ( $R^2 = 0.74$ ;  $p < 0.001$ ), and whey protein losses increased ( $R^2 = 0.55$ ,  $p < 0.001$ ) and cheese yield decreased ( $R^2 = 0.31$ ,  $p < 0.01$ ). According to panelists, texture and appearance were affected negatively when SCC was higher than 600000 cells per mL ( $p < 0.01$ ), flavor and aroma when they were higher than 800000 cells/ml. **Conclusion:** Increases in SCC have a negative effect on milk potential for cheese making and quality sensorial parameters on fresh cheese. It is suggested that minor impacts in fresh cheese yield would be obtained with a lower SCC and for good sensorial quality when the milk has SCC lower than 600000 cells per mL.

**Keywords:** casein, cheese composition, cheese yield, milk clotting time.

### 3.1. Introducción

La elaboración de queso es un proceso en donde se concentra la caseína y grasa de la leche. En este, la caseína forma un gel el cual retiene grasa y agua, mientras que los otros componentes de la leche se mantienen en el suero (lactosa, proteínas séricas y sales solubles). El calcio y el fósforo en forma de fosfato de calcio coloidal (FCC) también son retenidos en el queso al formar parte de la estructura de las caseínas (Fox and McSweeney, 1998). El proceso de elaboración del queso generalmente implica una gelificación de la leche, la deshidratación del gel obtenido para obtener así la cuajada y el tratamiento de esa cuajada (agitado, texturizado, salado, moldeado, prensado, maduración). La gelificación normalmente conocida como coagulación de la leche a nivel industrial se puede realizar mediante: hidrólisis de la  $\kappa$ -caseína por acción de proteinasas ácidas denominadas cuajos, acidificación de la leche hasta el punto isoeléctrico de las caseínas (pH 4.6) utilizando agentes acidificantes o cultivos iniciadores, y por la combinación de la acidificación de la leche con tratamientos térmicos (Guinee and O'Brien, 2010).

La eficiencia de elaboración de queso se evalúa teniendo cuenta el tiempo de coagulación, el tiempo de firmeza, la firmeza, la capacidad de desuerado, la sinéresis y la resistencia a la compresión o al corte (Summer *et al.*, 2002). Estas características definen las propiedades de coagulación de la leche (PCL) que están relacionadas con los rendimientos queseros. Las PCL están determinadas por las características fisicoquímicas de la leche y por la estructura de las caseínas (Wedholm *et al.*, 2006). Por lo tanto, cualquier modificación de estas pueden modificar las PCL (Guinee *et al.*, 2006; Wendorff, 2003).

El recuento de células somáticas (RCS), el cual se asocia a varios factores y principalmente a la presencia de mastitis en los hatos lecheros (Dohoo and Meek, 1982), tiene efecto importante en la elaboración de queso. Durante la mastitis, el epitelio de las células alveolares de la glándula mamaria se modifica y aumenta la permeabilidad de la membrana. Estos cambios reducen la síntesis de algunos componentes de la leche (caseínas, lactosa y el FCC asociado a la caseína) y

permiten el paso directo de minerales, proteínas y enzimas desde la sangre a la leche (Na,K,Cl, albuminas, plasmina y plasminógeno). Se ha reportado que altos niveles de células somáticas en leche disminuyen los niveles de caseína y aumentan la actividad enzimática (Cooney *et al.*, 2000; Franceschi *et al.*, 2003; Mazal *et al.*, 2007). Enzimas de las células somáticas y la plasmina provocan degradación de las caseínas y por lo tanto reducen el rendimiento quesero (Auldsist *et al.*, 1996; Le Roux *et al.*, 2003).

El efecto del RCS sobre las PCL y la aptitud quesera ha sido ampliamente estudiado. Altos RCS en la leche se han asociado a incrementos en tiempos de coagulación y disminución de la firmeza de la cuajada (Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1989; Vianna *et al.*, 2008). Quesos elaborados a partir de leche con altos RCS comparados con quesos elaborados a partir de leches de bajos RCS tienen rendimientos menores (Auldsist *et al.*, 1996; Klei *et al.*, 1998). La concentración de proteína y grasa es menor en quesos elaborados a partir de leches con altos RCS (Auldist and Hubble, 1998), lo cual se refleja en pérdidas de grasa y proteína en el lactosuero de queso. Por otro lado, se ha encontrado que quesos elaborados a partir de leche con altos RCS tienen menor aceptación en sus características sensoriales (sabor, textura, apariencia) atribuido principalmente a la alta humedad y a la alta actividad enzimática (lipólisis y proteólisis) (Andreatta *et al.*, 2009; Marino *et al.*, 2005).

Varios países han establecido límites máximos del RCS en la leche como parámetro obligatorio en la normativa de pago por calidad al productor (Norman *et al.*, 2011). Colombia por su parte no ha definido límites en este aspecto lo cual puede significar una desventaja en los tratados comerciales con otros países. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de varios niveles de RCS en leche sobre la aptitud quesera y calidad sensorial en la elaboración de queso fresco campesino.

## 3.2. Materiales y métodos

### 3.2.1. Muestreo de la leche y composición

Se escogieron dos hatos de raza Normando de producción de leche especializada en la sabana de Bogotá con contenido alto y bajo de RCS y condiciones de alimentación y manejo similares. Se realizaron tres muestreos de 50 litros de leche en cada hato, durante tres semanas. La leche de cada semana para cada hato se corrigió hasta un contenido de grasa de 3.5% y se realizaron mezclas de leche con alto y bajo RCS en diferentes proporciones para obtener 10 muestras de leche de 8 litros cada una con RCS entre 142000 y 1199000. Estas fueron refrigeradas a <math>4^{\circ}\text{C}</math> durante 30 h y posteriormente usadas para la elaboración de los quesos.

Para cada muestra se determinó la concentración de grasa (FIL-IDF Standard 105:1981), proteína (AOAC 967.17/2002), caseína (AOAC 990.22/2002) sólidos totales (AOAC 925.23/2002), calcio por absorción atómica y fósforo por espectrofotometría (Baldi *et al.*, 1996). pH (AOAC 10.035/1990), densidad (AOAC 947.05/1998) y acidez titulable (AOAC 947.05/2002), Adicionalmente, se hizo recuento de células somáticas con el contador electrónico DeLaval Counter (DCC®) (Viguiet *et al.*, 2009) y conteo de mesófilos utilizando placas petrifilm™ (Tabla 3.1).

**Tabla 3. 1.**Características de las muestras de leche

Muestra*	1 (A)	1 (B)	2 (A)	2(B)	3(A)	3(B)
Proteína (%)	3.23	3.31	3.19	3.29	3.13	3.24
Caseína (%)	2.48	2.55	2.36	2.45	2.24	2.40
Sólidos totales (%)	12.16	12.53	12.05	12.43	11.83	12.29
Cenizas (%)	0.75	0.70	0.74	0.69	0.71	0.69
Ca (g/L)	1.30	1.36	1.29	1.37	0.98	1.17
P (g/L)	0.97	1.07	0.98	1.03	0.90	1.01
Densidad (g/L)	1029	1031	1029	1030	1028	1030
Crioscopía (°C)	-0.546	-0.570	-0.515	-0.569	-0.529	-0.557
pH	6.81	6.69	6.74	6.72	6.84	6.73
Acidez (% A. láctico)	0.14	0.15	0.14	0.16	0.14	0.15
RCS (cel/mL)	938000	229000	877000	142000	1199000	377000
Mesófilos (UFC/mL)	2090000	253000	355000	160000	680000	505000

\* A es la leche con alto RCS y B la de bajo RCS. Los números indican la semana de muestreo.

### **3.2.2. Elaboración de los quesos**

A partir de las 10 muestras de leche (8 L c/u), se elaboraron simultáneamente 10 quesos frescos tipo campesino en la planta piloto de leches del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia siguiendo el proceso descrito por Novoa y Osorio (2009) (Novoa and Osorio, 2009). La leche se filtró y se pasteurizó a 68°C por 5 min y se enfrió a 32°C, se adicionaron 20 g/100 L de CaCl<sub>2</sub>, 1 mL de cuajo líquido microbiano marca Milkset<sup>R</sup> (Tecnoalimentaria LTDA, Bogotá, Colombia) y se dejó en reposo durante 45 min. Cuando esta coaguló se realizaron cortes en cuadrados de 1 cm y se agitó suavemente a 38°C durante 15 min. Se drenó la cuajada sacando 2/3 partes del suero, se agregó NaCl (8g/L), se mezcló con la leche cuajada y se llevo a un molde. Los quesos se dejaron en el molde por 24 horas, se pesaron se empacaron al vacío y se refrigeraron (<4°C) por tres semanas hasta la realización de la prueba sensorial.

### **3.2.3. Análisis de los quesos**

#### **3.2.3.1. Coagulación**

Se determinó el tiempo de coagulación (IDF, 1992)., el rendimiento quesero en base húmeda (g de queso/ 100 g de leche), en base seca (g de sólidos de queso/ 100 g de sólidos de leche) y el rendimiento ajustado a 55% de humedad. Se determinaron pérdidas de grasa y proteína en el lactosuero.

#### **3.2.3.2. Composición de los quesos**

Las muestras de queso se molieron y analizaron para grasa por el método de Gerber (BS, 696/1969), proteína por Kjeldahl (AOAC 920.123/1998) y humedad por gravimetría (AOAC 948.12/1998).

### 3.2.3.3. Prueba sensorial

Los quesos fueron calificados por un panel sensorial conformado por 6 jueces entrenados usando una prueba descriptiva de puntajes. El panel evaluó atributos de color (apariencia externa), sabor-aroma y textura (apariencia interna) (Drake, 2007; Mahecha, 1985).

### 3.2.4. Análisis estadístico

#### 3.2.4.1. Aptitud quesera

Para determinar el efecto parcial del RCS y otras características de la leche (Tabla 3.1) sobre los parámetros de aptitud quesera evaluados (tiempo de coagulación, rendimiento, pérdidas y composición de los quesos), se utilizó un análisis de regresión múltiple según el modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 R + \beta_2 P + \beta_3 C + \beta_4 S + \beta_5 N + \beta_6 K + \beta_7 F + \beta_8 D + \beta_9 I + \beta_{10} H + \beta_{11} A + \beta_{12} M + E_i;$$

Donde:

$Y_{ij}$  son las variables de aptitud quesera,  $\beta_0$  es el intercepto,  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \beta_{10}, \beta_{11}$  y  $\beta_{12}$  son coeficientes de regresión para R(RCS); P(proteína), C(caseína), S(sólidos totales), N(cenizas), K(calcio), F(fosforo), D(densidad), I(crioscopía), H(pH), A(acidez) y M(mesófilos) respectivamente;  $E_i$  error de estimación. Para esto se utilizó el procedimiento REG mediante “stepwise” con el programa (SAS Inst. Inc; Version 9.2, Cary, NC) (Kutner *et al.*, 2005).

Adicionalmente se estimaron modelos matemáticos relacionando el RCS con los parámetros de aptitud quesera (rendimientos, tiempo de coagulación y pérdidas en suero) utilizando el programa (CurveExpert; Versión 1.4, Daniel Hyams, Hixson, TN)

#### 3.2.4.2. Prueba sensorial

Los datos se asignaron a 7 grupos según el RCS A(hasta 200000 cel/mL), B(>200000-400000 cel/mL), C(>400000-600000 cel/mL), D(>600000-800000 cel/mL), E (>800000-1000000 cel/mL) y F (>1000000 cel/mL). Estos fueron

analizados mediante la prueba no paramétrica de Friedman de acuerdo con el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij};$$

donde  $Y_{ij}$  es la calificación de cada atributo del queso (color, aroma-sabor o textura-apariencia),  $\mu$  media general,  $\rho_i$  efecto del juez,  $\tau_j$  efecto del RCS y  $\varepsilon_{ij}$  error experimental (se obtuvieron un total de 210 calificaciones para cada atributo). Se utilizó el programa (SAS Inst. Inc; Version 9.2, Cary, NC) mediante el proceso GLM, la comparación de medias se realizó mediante prueba (LSD).

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Parámetros de aptitud quesera de la leche

Los parámetros de aptitud quesera (variables tecnológicas, composición del queso, composición del suero y pérdidas de proteína y grasa en lactosuero) se muestran en la tabla 3.2.

#### 3.3.2. Efecto del RCS y otras variables sobre la aptitud quesera de la leche

##### 3.3.2.1. Variables tecnológicas

El tiempo de coagulación fue afectado por el RCS, la concentración de calcio, la concentración de cenizas y de sólidos en leche (Tabla 3.3). El RCS fue el factor que explicó en mayor proporción (73%) la variación en el tiempo de coagulación donde por cada aumento de 100000 cel/mL este aumentó en 0.9 minutos (54 segundos) ( $P < 0.0001$ ).

Se encontró una relación lineal entre el RCS y el tiempo de coagulación (Figura 1). El contenido de cenizas explicó el 5.5% de la variación en el tiempo de coagulación. La concentración de sólidos y de calcio se asociaron inversamente con el tiempo de coagulación y explicaron el 3.9 y 2.2% de esta variación, respectivamente (Tabla 3.3).

**Tabla 3. 2.** Variables tecnológicas, composición del queso y del suero y pérdidas en el lactosuero

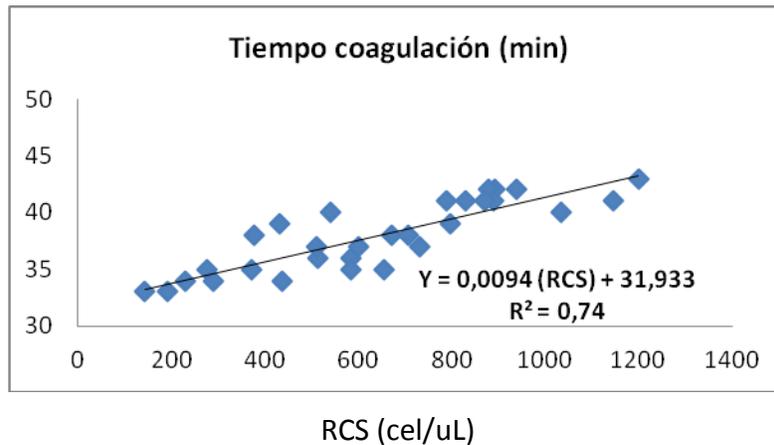
<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>DE</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<i>Tecnológicas</i>				
Tiempo (min)	37.8	2.98	33	43
Rendimiento húmedo (%)	14.7	0.61	12.2	15.6
Rendimiento seco (%)	5.5	0.39	4.8	6.1
Rendimiento ajust. 55 (%) <sup>1</sup>	12,9	0,68	11,6	13,9
Relación queso leche (g/g) <sup>2</sup>	45,1	2,93	39,9	49,2
<i>Composición del queso</i>				
Humedad (%)	62,3	2,23	57,9	66,1
Proteína (%)	16,1	1,24	14,1	18,2
Grasa (%)	18,6	1,75	16	22,5
<i>Composición del lactosuero</i>				
Proteína (%)	0.82	0.04	0.75	0.89
Grasa (%)	0.16	0.02	0.11	0.2
<i>Pérdidas en lactosuero</i>				
Proteína (%)	26.8	5.6	17.4	36.3
Grasa (%)	11.1	3.7	3.6	19.6

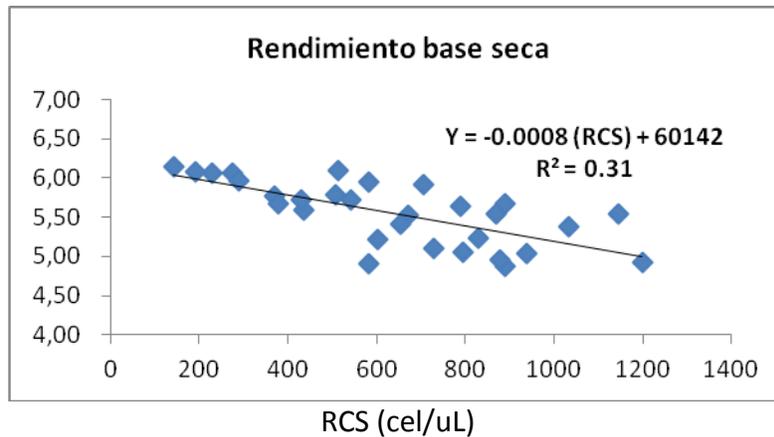
<sup>1</sup> Rendimiento ajustado a 55% de humedad<sup>2</sup> Relación queso/leche: gramos de queso seco/100 gramos de leche**Tabla 3. 3.** Coeficientes de regresión (n) y coeficientes de determinación parcial (R<sup>2</sup>) para RCS y otras variables asociados a su contribución a las variables tecnologías, la composición del queso y composición del suero

<b>Variable</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b>Variable</b>	<b>Bn</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>
<i>Variables tecnológicas</i>					
Tiempo coagulación (min)	34.76	RCS	0.00000938	0.7396	<0.0001
		Ca	-72.56	0.0226	0.0002
		Cenizas	413	0.0557	0.0098
		Sólidos	-14.93	0.039	0.0154
			<b>0.8569</b>		
Rendimiento BS (%)	6.014	RCS	-0.00000779	0.3123	0.0013
		Ca	-3.46	0.1519	0.0101
		P	10.91	0.1085	0.0163
			<b>0.5727</b>		
Rendimiento Ajust. 55%	11.62	Cenizas	-21.83	0.2408	0.0059
		Caseína	2.92	0.1315	0.0252
			<b>0.3715</b>		
<i>Queso</i>					
Humedad (%)	58.71	RCS	0.00000612	0.5385	<0.0001
		Proteína	-4.033	0.0828	0.01
		Ca	6.74	0.0751	0.03

				<b>0.6964</b>	
Proteína (%)	18.51	RCS	-0.0000036	0.7785	<0.0001
		Ca	11.53	0.0241	0.0541
		Cenizas	-10.86	0.0267	0.0809
				<b>0.8293</b>	
Grasa (%)	21.58	RCS	-0.00000464	0.5544	<0.0001
		Ca	6.76	0.1091	0.002
		Mesófilos	-0.00000173	0.0969	0.0108
				<b>0.7604</b>	
<i>Suero</i>					
Perdidas proteína (%)	18.82	RCS	0.0000126	0.3991	0.0002
		Cenizas	218.69	0.1195	0.0153
				<b>0.5186</b>	
Perdidas grasa (%)	6.61	RCS	0.00000706	<b>0.2817</b>	0.0026

La variación en el RCS causó 31% de la variación en el rendimiento quesero donde por cada aumento de 100000 cel/mL el rendimiento disminuyó 0.7 unidades porcentuales (P 0.0013) (Tabla 3.3). El RCS mostró una relación lineal con el rendimiento quesero en base seca (Figura 3.1). El contenido de calcio se asoció negativamente con el rendimiento quesero y explicó en 15% su variación mientras que el de fósforo se asoció positivamente y explicó el 10% de la variación.





**Figura 3. 1.** Asociación del RCS en leche con el tiempo de coagulación y el rendimiento de queso en base seca

### 3.3.2.2. Composición del queso

El RCS explicó el 53% de la variación en la humedad del queso mostrando una relación lineal (Figura 3.2) donde por cada aumento en 100000cel/mL esta se aumentó en 0.6 unidades porcentuales ( $P < 0.0001$ ) (Tabla 3.3). El contenido de calcio en la leche se asoció positivamente con la humedad del queso mientras que la concentración de proteína se asoció negativamente.

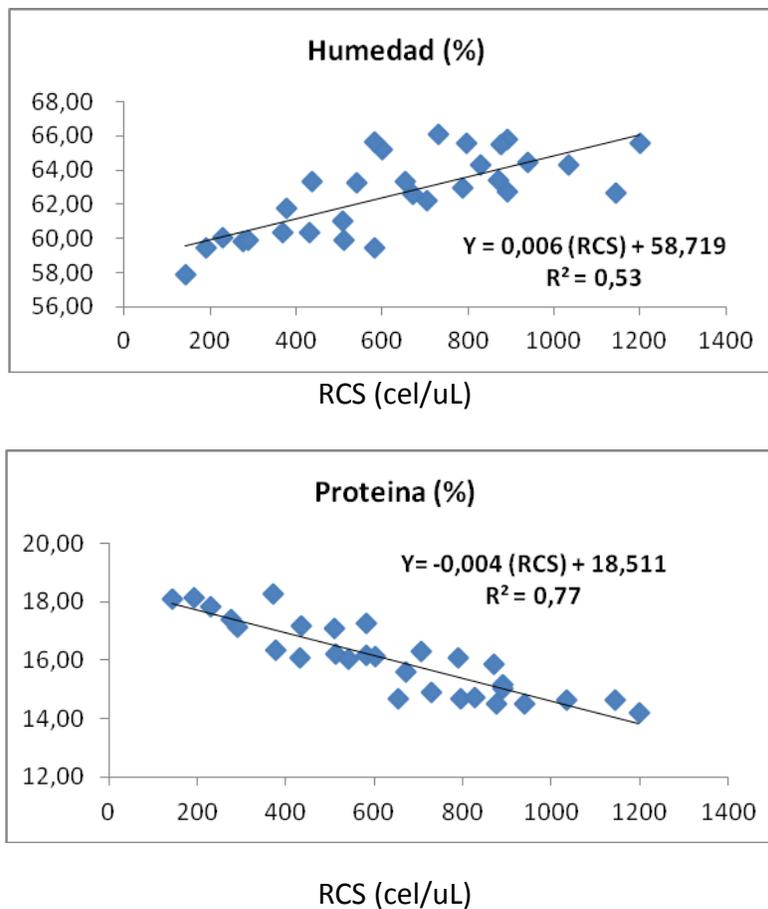
La variación en la concentración de proteína en el queso fue explicada en su mayoría por el RCS (77%) donde un aumento de 100000 cel/mL significaron una disminución de 0.3 unidades porcentuales ( $P < 0.0001$ ) (Tabla 3.3). El RCS mostró una relación lineal con la concentración de proteína del queso (Figura 3.2). El contenido de cenizas y el de calcio en la leche explicó poco la variación en la concentración de proteína en el queso (2%) donde la cantidad de cenizas se asoció negativamente mientras que el calcio se asoció positivamente.

La variación del RCS explicó en un 55% por el contenido de grasa donde por incrementos de 100000 cel/mL la concentración de grasa disminuyó en 0.4 unidades porcentuales ( $P < 0.0001$ ) (Tabla 3.3). La concentración de calcio en la leche explicó 10% de la variación en el contenido de grasa en el queso con una

asociación positiva. Adicionalmente, el recuento de mesófilos explicó el 9% de la variación en el contenido de grasa y se asoció negativamente.

### 3.3.2.3. Características del suero

La variación en el RCS explicó en un 55% las pérdidas de proteína y 13% las de grasa. Por cada aumento de 100000 cel/mL en el RCS la concentración de proteína disminuyó en 1.26 unidades porcentuales ( $P= 0.0002$ ) y las de grasa en 0.7 unidades porcentuales ( $P=0.0026$ ) (Tabla 3).

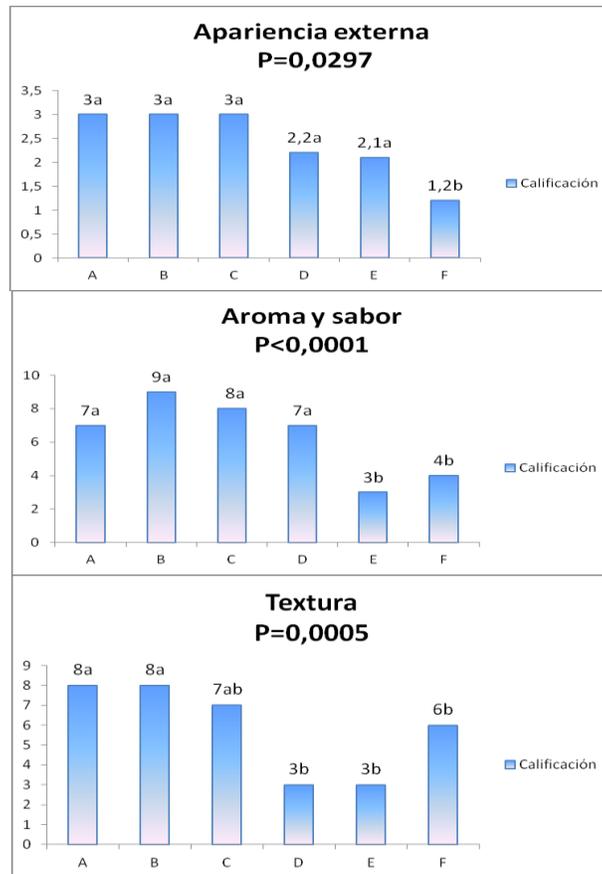


**Figura 3. 2.** Asociación del RCS en leche con el contenido de humedad y proteína en el queso

### 3.3.3. Efecto del RCS en la calidad sensorial del queso campesino

#### 3.3.3.1. Apariencia

El panel de expertos calificó el color y el aspecto general de los quesos elaborados a partir de leches con RCS mayor a 1000000 cel/mL con la menor calificación ( $P=0.0297$ ) con defectos como alta sinéresis y colores muy amarillentos.



**Figura 3. 3.** Efecto del RCS sobre la apariencia, aroma-sabor y textura en quesos campesinos. Medianas de la calificación de los panelistas. A (hasta 200000 cel/mL), B (>200000-400000 cel/mL), C (>400000-600000 cel/mL), D (>600000-800000 cel/mL), E (>800000-1000000 cel/mL) y F (>1000000 cel/mL). Letras iguales son promedios estadísticamente iguales

#### 3.3.3.2. Aroma-Sabor

Los quesos elaborados a partir de leches con RCS superiores a las 800000 cel/mL obtuvieron la menor calificación ( $P <0,0001$ ) y en algunos fueron calificados casos como amargos y pútridos.

### **3.3.3.3. Textura**

La textura de los quesos elaborados con leches de RCS mayor a 600000 cel/mL obtuvieron la menor calificación ( $P=0.0005$ ). Los quesos elaborados a partir de leche con más de 1000000 cel/ mL no fue diferente estadísticamente a los elaborados a partir de leches que contenían 600000 a 1000000 cel/mL pero se observó una tendencia. Los quesos con menor calificación tuvieron defectos como textura blanda, boronosa o grumosa.

## **3.4. Discusión**

### **3.4.1. Parámetros de aptitud quesera de la leche**

El incremento en el RCS en la leche se asocio negativamente con todos los parámetros de aptitud quesera. Varios autores indican que a medida que aumenta el RCS en la leche las aptitudes tecnológicas de la leche para elaboración de queso disminuyen notablemente afectando los rendimientos (Andreatta *et al.*, 2009; Cooney *et al.*, 2000; Mazal *et al.*, 2007). El RCS en las leches utilizadas en nuestro estudio varió desde 142000 hasta 1199000 cel/mL lo que permitió determinar la relación entre RCS y los parámetros de aptitud quesera. A pesar de que se consideraron otras variables (proteína, grasa, calcio, cenizas) asociadas a la aptitud quesera, el RCS fue el parámetro que explicó en mayor proporción los cambios encontrados en las variables tecnológicas de la leche y los cambios composicionales del queso y del suero.

#### **3.4.1.1. Tiempo de coagulación**

El tiempo de coagulación mostró una relación lineal y positiva con el RCS indicando un aumento de 0.9 minutos por cada incremento de 100000 cel/mL. Algunos autores encontraron que aumentos del RCS de 100000 a 600000 cel/mL incrementaron el tiempo de coagulación en 5 minutos (Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1989; Vianna *et al.*, 2008) implicando que por cada 100000 cel/mL e aumentaba en un minuto el tiempo de coagulación similar a lo encontrado es este trabajo. Se ha sugerido que cuando el RCS es alto (mayor a 600000 cel/ml), el pH de la leche es ligeramente mayor (5,42) y esto retrasa el efecto del cuajo sobre la  $\kappa$ -caseína

(Mazal *et al.*, 2007). En nuestro trabajo, las leches de alto RCS tuvieron mayores valores de pH que las de bajo RCS lo cual concuerda con estos hallazgos. Adicionalmente, el contenido calcio fue menor en leches con alto RCS y este se asocio inversamente con el tiempo de coagulación. Varios trabajos han asociado mayores concentraciones de Ca con menores tiempos de coagulación y este se usa como aditivo para acelerar el proceso (Guinee and O'Brien, 2010). Sin embargo en nuestro estudio, el Ca contribuyo poco (2,2%) a explicar las variaciones en tiempo de coagulación. Los minerales en su conjunto (cenizas) explicaron un poco más de la variación (5,5%) y estuvieron asociados positivamente con el tiempo de coagulación (Tabla 3). La literatura reporta que las concentraciones de Cl y Na aumentan cuando aumentan los RCS (Fox and McSweeney, 1998) lo cual sugeriría que estos minerales podrían explicar parcialmente los cambios en los tiempos de coagulación asociados a la mastitis. Desafortunadamente en nuestro trabajo no se determinaron estos minerales.

#### **3.4.1.2. Rendimiento quesero**

La variación en el RCS, explicó el 31% del cambio en el rendimiento quesero en base seca pero este efecto no se observó cuando el rendimiento se expresó en base húmeda. Varios autores han reportado una disminución en el rendimiento quesero en base húmeda con el aumento en el RCS (Auldsist *et al.*, 1996; Klei *et al.*, 1998). Estos trabajos fueron realizados elaborando quesos de baja humedad (maduros o semimaduros) por lo cual los reportes no serían comparables con preparación de quesos de alta humedad (queso fresco) como los de nuestro estudio. En este se encontró que el contenido de humedad del queso aumentó progresivamente con el RCS (Figura 3.2). Esto explica porque los rendimientos en queso a partir de leches con alto o bajo RCS fueron similares a pesar de que con altos RCS se obtuvieron menores rendimientos en base seca y mayores pérdidas de proteína y grasa en el suero. El rendimiento quesero en base seca mostró una relación lineal inversa con el RCS donde se observa que a medida que aumenta el RCS el rendimiento disminuye. Conteos celulares cercanos a 600000 cel/mL redujeron los rendimientos en base seca en 4% y cuando el conteo superó

1000000 cel/ mL en 9%. Otros autores también han reportado relaciones inversas (Auldsist *et al.*, 1996; Politis and Ng-Kwai-Hang, 1988) lo cual sugiere que aunque es claro el efecto negativo del RCS en leche sobre el rendimiento en base seca este puede variar con el tipo de queso. Barbano *et al.* (1991), sugirió que leches con RCS superiores a 100000 cel/mL disminuyen los rendimientos queseros (Barbano *et al.*, 1991). Otros reportes señalan que incrementos de 100000 hasta 500000 cel/mL reducen el rendimiento quesero entre 4 a 10% dependiendo en tipo de queso lo cual disminuye la rentabilidad en las industrias lácteas (Guinee and O'Brien, 2010).

El queso en base seca incluye la grasa, proteína (caseína principalmente) y algunas sales minerales. Se ha reportado que la disminución en el rendimiento quesero en base seca para leches con alto RCS se debe a una disminución en la concentración de caseína y de grasa debido a una menor síntesis de estos compuestos en la glándula mamaria de vacas con mastitis (Fox and McSweeney, 1998; Myllys and Rautala, 1995). Adicionalmente, se ha sugerido que en leches con alto RCS aumenta la actividad proteolítica asociada a la presencia de enzimas como la plasmina y otras proteasas de las células somáticas. Estas enzimas hidrolizan principalmente la  $\alpha_{s1}$  y  $\beta$  caseínas disminuyendo la concentración total de caseína y aumentando productos nitrogenados que se pierden en el suero (Coulon *et al.*, 2002; Mara *et al.*, 1998). Normalmente en los procesos de elaboración de queso se pierde grasa (5%) y proteína (10%) (Fox and McSweeney, 2006). En nuestro estudio, la pérdida de proteína y grasa en el suero aumentó con altos RCS y esto se puede explicar por las razones mencionadas anteriormente que disminuyen la concentración de ambos componentes en el queso. Los resultados de pérdidas de proteína y grasa se asocian con disminución de rendimientos (Barbano *et al.*, 1991; Klei *et al.*, 1998). Mazal *et al.* (2007) sugiere que la pérdida de proteína de queso en leche se refleja con aumentos de nitrógeno no proteico en el suero.

### **3.4.1.3. Composición del queso**

Un aumento en el RCS de la leche se asoció con una mayor humedad y una menor concentración de proteína y grasa en el queso, resultados que coinciden con reportes de la literatura (Guinee *et al.*, 2006).

El mayor contenido de humedad de los quesos provenientes de leches con altos en RCS se ha asociado a la actividad proteolítica de la plasmina y las enzimas proteolíticas de los poliformonucleares sobre las caseínas. La matriz formada en esta clase de quesos presenta una estructura porosa que facilita la entrada de agua al interior del gel (Srinivasan and Lucey, 2002). Alto contenido de humedad en los quesos a su vez provoca poca firmeza y mayor sinéresis durante el almacenamiento (Pearse and Mackinlay, 1989). Durante el almacenamiento de nuestros quesos observamos que los quesos elaborados a partir de leches de alto RCS tenían un mayor residuo de agua en el empaque y poca firmeza. Vianna *et al* (2008), sugiere que en quesos elaborados a partir de leches con altos RCS y mayor pH aumenta el contenido de humedad por el mayor tiempo de coagulación que provoca un gel más débil y húmedo.

En nuestro estudio se encontró que la concentración de grasa en el queso disminuye a medida que aumenta el RCS. La grasa no participa en la formación del gel. Debido a su carácter apolar, estas se unen al complejo que forman las caseínas cuando se agregan para formar la matriz y son ocluidas en el proceso (Fox and McSweeney, 2006). Algunos autores sugieren que la menor concentración de grasa en el queso elaborado a partir de leche con altos RCS es causado por un aumento en la porosidad de la matriz que permite la entrada de agua que a su vez impide la unión de la grasa al complejo de proteína (Srinivasan and Lucey, 2002). Se ha sugerido que existe lipólisis espontánea en la leche de vacas con mastitis (Downey, 1980).

Adicionalmente, obtuvimos que un alto conteo de mesófilos en la leche se relacionó con una disminución de la concentración de grasa en el queso. Se

sugiere una disminución en la oclusión de grasa en estos quesos elaborados con leches de altos conteos de mesófilos. Las enzimas de los microorganismos mesófilos o psicrófilos presentes en la leche tienen efecto lipolítico y proteolítico aumentando el contenido de ácidos grasos libres y la porosidad de la matriz (Deeth, 2006; Ouattara *et al.*, 2011). Los ácidos grasos insaturados libres pueden sufrir procesos de oxidación y las partículas de grasa que quedaron de la hidrólisis flotan (Fox and McSweeney, 1998) impidiendo así la unión de estos al gel tridimensional formado por las caseínas.

### **3.4.2. Efecto del RCS en los atributos sensoriales del queso campesino**

Quesos provenientes de leches con alto RCS por la apariencia externa, el aroma-sabor y la textura (apariencia interna) se vieron afectados negativamente con incrementos del RCS en la leche. La literatura reporta que existen varios factores que pueden alterar las características sensoriales de la leche y productos lácteos como el estado de salud de los animales, la alimentación, el manejo de la leche luego del ordeño y aspectos relacionados al proceso de elaboración del queso (Coulon *et al.*, 2004; Noziere *et al.*, 2006). Además, el almacenamiento puede intensificar los defectos en sabor-aroma (*off-flavours*). Por tanto factores de manejo en finca, el proceso de elaboración y el almacenamiento de los quesos campesinos por 21 días en refrigeración pudo haber intensificado los defectos encontrados en el queso con altos RCS.

Respecto a la apariencia externa, los panelistas evaluaron el color y el grado de sinéresis (perdida de suero). Los quesos elaborados con leches con RCS mayores a un millón por ml fueron mal calificados debido a colores muy amarillentos y alto grado de sinéresis. La sinéresis se puede explicar por el daño estructural de las caseínas que forman el gel permitiendo una mayor porosidad y humedad del queso durante su elaboración pero mayores pérdidas de suero durante el almacenamiento (Srinivasan and Lucey, 2002). A su vez, un alto contenido de humedad en los quesos resulta en quesos con poca firmeza (Pearse and Mackinlay, 1989). El color amarillento de los quesos campesinos elaborados con

alto RCS podría estar asociado a las mayores pérdidas de humedad durante el almacenamiento.

La menor calificación en sabor-aroma fue evidente en queso campesino elaborado a partir de leches con RCS mayor a 800000 cel/mL. En la literatura existe evidencia de este efecto negativo por aumento en los procesos de proteólisis y lipólisis provocado por la plasmina y las enzimas de las células somáticas (Auldist and Hubble, 1998). Sin embargo, se ha reportado también un mejor aroma en quesos elaborados a partir de leches con altos RCS (Andreatta *et al.*, 2009). Lo anterior sugeriría que el efecto de las células somáticas en la leche sobre el sabor-aroma de los quesos dependería del tipo de queso.

Los defectos detectados por los panelistas de texturas demasiado blandas, borrosas o grumosas se podrían explicar también por el daño estructural sobre la matriz proteínica que forma el gel o también se relaciona a diferencias composicionales de la leche que provocan variación en la textura del queso (Bryant *et al.*, 1995). Estos defectos fueron evidentes en los quesos campesinos elaborados a partir de leches con RCS mayores o iguales a 600000 cel/mL coincidiendo con reportes de la literatura (Chen *et al.*, 2010).

### **3.5. Conclusión**

Este estudio sugiere que altos RCS en la leche tiene efectos indeseables tanto en los parámetros de aptitud quesera como en las características organolépticas del queso campesino. El tiempo de coagulación aumentó, el rendimiento quesero en base seca disminuyó y la concentraciones de proteína y grasa en el queso disminuyeron mientras las pérdidas en el suero aumentaron a medida que el RCS aumento. Cuando la leche usada para elaborar el queso campesino superó las 600000 cel/ mL, los quesos almacenados al vacío durante 21 días fueron mal calificados por un panel sensorial entrenado.

### **3.6. Agradecimientos**

Los autores agradecemos el apoyo logístico prestado por el personal de los laboratorios de nutrición animal y microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, así como también al personal del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) por la realización de las pruebas sensoriales, a Enrique Ortega del Consejo Nacional de la leche por la ayuda para obtener las muestras de leche y a John Panche por su apoyo en la elaboración de los quesos.

### **3.7. Referencias**

- Andreatta E, Fernandes A, Santos M, Mussarelli C, Marques M, and Oliveira C. Composition, functional properties and sensory characteristics of Mozzarella cheese manufactured from different somatic cell counts in milk. *Braz Arch Biol Tech* 2009 52(5):1235-1242.
- Auldism M, and Hubble I. Effects of mastitis on raw milk and dairy products. *Aus J Dairy Tech* 1998 53(1):28-36.
- Auldism M, Coast S, Sutherland BJ, Mayes JJ, McDowell GH, and Rogers GL. Effect of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *J Dairy Res* 1996 63:269-280.
- Baldi A, Savoini G, Cheli F, Fantuz F, Senatore E, Bertocchi L, and Politis I. Changes in plasmin-plasminogen-plasminogen activator system in milk from Italian Friesian herds. *Int Dairy J* 1996 6(11):1045-1053.
- Barbano D, Rasmussen R, and Lynch J. Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *Journal of dairy science* 1991 74(2):369-388.
- Bastian E, and Brown R. Plasmin in milk and dairy products: an update. *Int Dairy J* 1996 6(5):435-457.
- Bryant A, Ustunol Z, and Steffe J. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. *J Food Sci* 1995 60(6):1216-1219.
- Celik S. Beta-Lactoglobulin genetic variants in Brown Swiss breed and its association with compositional properties and rennet clotting time of milk. *Int Dairy J* 2003 13(9):727-731.
- Cooney S, Tiernan D, Joyce P, and Kelli A. Effect of somatic cell count and polymorphonuclear leucocyte content of milk on composition and proteolysis during ripening of Swiss-type cheese. *J Dairy R* 2000 67(02):301-307.

- Coulon JB, Delacroix-Buchet A, Martin B, and Pirisi A. Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: a review. *Le Lait* 2004 84(3):221-241.
- Coulon JB, Gasqui P, Barnouin J, Ollier A, Pradel P, and Pomiès D. Effect of mastitis and related-germ on milk yield and composition during naturally-occurring udder infections in dairy cows. *Animal Research* 2002 51(5):383-394.
- Chen S, Wang J, Van Kessel J, Ren F, and Zeng S. Effect of somatic cell count in goat milk on yield, sensory quality, and fatty acid profile of semisoft cheese. *J Dairy Sci* 2010 93(4):1345-1354.
- Deeth H. Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *Int Dairy J* 2006 16(6):555-562.
- Dohoo I, and Meek A. Somatic cell counts in bovine milk. *Can Vet J* 1982 23(4):119.
- Downey W. Risks from pre- and post-manufacture lipolysis. Flavour Impairment of Milk and Milk Products due to Lipolysis, Document No. 118, pp. 4–18, International Dairy Federation, Brussels. 1980.
- Drake M. Invited review: sensory analysis of dairy foods. *J Dairy Sci* 2007 90(11):4925-4937.
- Fox P, and McSweeney P. 1998. Dairy chemistry and biochemistry Massachusetts: Kluwer academic publisher group
- Fox P, and McSweeney P. 2006. Chemistry and biochemistry of cheese manufacture and ripening. 28-32 p.
- Franceschi P, Formaggioni P, Malacarne M, Summer A, Fieni S, and Mariani P. Variations of nitrogen fractions, proteolysis and rennet-coagulation properties of milks with different somatic cell values. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia* 2003 54:301–310.
- Guinee T, and O'Brien B. The Quality of Milk for Cheese Manufacture. *Technology of Cheesemaking* 2010:1-67.
- Guinee T, O'Kennedy B, and Kelly P. Effect of milk protein standardization using different methods on the composition and yields of Cheddar cheese. *J Dairy Sci* 2006 89(2):468-482.
- IDF. Bovine Rennets. Determination of Total Milk-clotting Activity, Provisional Standard 157, International Dairy Federation, Brussels. 1992.
- Klei L, Yun J, Sapru A, Lynch J, Barbano D, Sears P, and Galton D. Effects of milk somatic cell count on cottage cheese yield and quality. *J Dairy Sci* 1998 81(5):1205-1213.
- Kutner MH, Nachtsheim CJ, Neter J, and Li W. Applied linear statistical models. *Recherche*. 67 pp 02. 2005 67:02.

- Le Roux Y, Laurent F, and Moussaoui F. Polymorphonuclear proteolytic activity and milk composition change. *Vet Res* 2003 34(5):629-645.
- Mahecha G. Evaluación sensorial en el control de calidad de alimentos procesados. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Ed. Carrera Séptima Ltda. 1985.
- Mara O, Roupie C, Duffy A, and Kelly A. The curd-forming properties of milk as affected by the action of plasmin. *Int Dairy J* 1998 8(9):807-812.
- Marino R, Considine T, Sevi A, McSweeney P, and Kelly A. Contribution of proteolytic activity associated with somatic cells in milk to cheese ripening. *Int Dairy J* 2005 15(10):1026-1033.
- Mazal G, Vianna P, Santos M, and Gigante M. Effect of somatic cell count on Prato cheese composition. *J Dairy Sci* 2007 90(2):630-636.
- Myllys V, and Rautala H. Characterization of clinical mastitis in primiparous heifers. *J Dairy Sci* 1995 78(3):538-545.
- Ng-Kwai-Hang K, Politis I, Cue R, and Marziali A. Correlations between coagulation properties of milk and cheese yielding capacity and cheese composition. *Canadian Institute of Food Science and Technology journal* 1989 22(3):291-294.
- Norman H, Lombard J, Wright J, Koprak C, Rodriguez J, and Miller R. Consequence of alternative standards for bulk tank somatic cell count of dairy herds in the United States. *J Dairy Sci* 2011 94(12):6243-6256.
- Novoa C, and Osorio D. Derivados lácteos: Guía para la elaboración de algunos productos derivados de la leche. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia 2009.
- Noziere P, Graulet B, Lucas A, Martin B, Grolier P, and Doreau M. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Animal Feed Sci Tech* 2006 131(3):418-450.
- Ouattara G, Jeon I, Hart Thakur R, and Schmidt K. Fatty acids released from milk fat by lipoprotein lipase and lipolytic psychrotrophs. *J Food Sci* 2011 69(8):C659-C664.
- Pearse M, and Mackinlay A. Biochemical aspects of syneresis: a review. *J Dairy Sci* 1989 72(6):1401-1407.
- Politis I, and Ng-Kwai-Hang K. Effects of somatic cell count and milk composition on cheese composition and cheese making efficiency. *J Dairy Sci* 1988 71(7):1711-1719.
- Srinivasan M, and Lucey J. Effects of added plasmin on the formation and rheological properties of rennet-induced skim milk gels. *J Dairy Sci* 2002 85(5):1070-1078.

- Summer A, Malacarne M, Martuzzi F, and Mariani P. Structural and functional characteristics of Modenese cow milk in Parmigiano-Reggiano cheese production. *Ann Fac Med Vet Univ Parma* 2002 22:163-174.
- Vianna P, Mazal G, Santos M, Bolini H, and Gigante M. Microbial and sensory changes throughout the ripening of Prato cheese made from milk with different levels of somatic cells. *J Dairy Sci* 2008 91(5):1743-1750.
- Viguiet C, Arora S, Gilmartin N, Welbeck K, and O'Kennedy R. Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends Biotech* 2009 27(8):486-493.
- Wedholm A, Larsen LB, Lindmark-Månsson H, Karlsson AH, and Andrén A. Effect of protein composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows. *J Dairy Sci* 2006 89(9):3296-3305.
- Wendorff B. 2003. Milk composition and cheese yield. *Proc 7th Great Lakes Dairy Sheep Symp*, Ithaca, NY, USA. p 104-117.
- Zachos T, Politis I, Gorewit R, and Barbano D. Effect of mastitis on plasminogen activator activity of milk somatic cells. *J Dairy Res* 1992 59(04):461-467.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

La presentación de mastitis clínica y el recuento de células somáticas explicaron un bajo porcentaje de las variaciones en la composición de la leche siendo solo significativo para la variación en la concentración de la grasa y no significativo para proteína y sólidos totales. Los días en lactancia y la raza explicaron un mayor porcentaje de esta variación en la concentración tanto para proteína, grasa y sólidos totales.

La presentación de mastitis medido a través del CMT en las vacas aumentó la concentración de grasa en la leche ( $p < 0,05$ ), mientras que esta concentración aumentó con el incremento del recuento de células somáticas de la leche ( $p < 0,05$ ). Esto sugiere que existen dos mecanismos diferentes para explicar los cambios en la concentración de grasa cuando hay presencia de mastitis clínica: uno asociado al aporte de lípidos por las células somáticas y otro relacionado la síntesis de lípidos por las células alveolares. El primero aumenta las concentraciones de grasa al aumentar el RCS debido a la mastitis mientras que en el segundo, la síntesis de lípidos por las células alveolares disminuye con la presencia de mastitis clínica. La mastitis no afectó las concentraciones de proteína y sólidos totales en la leche.

Al aumentar los días en lactancia aumentaron la concentración de proteína, grasa y sólidos totales en la leche ( $p < 0,0001$ ). La raza Normando presentó mejores sólidos en la leche que la Holstein ( $p < 0,0001$ ). Las fincas de la región occidente de la Sabana de Bogotá presentaron mayores concentraciones de proteína y sólidos totales en la leche que las de la región Norte independientemente de la raza ( $p < 0,0001$ ), se sugiere que esta diferencia puede ser por la diferencia en la

alimentación donde en la región occidente las vacas podrían tener mayores consumos de forraje. El número de partos tuvo poco efecto en la variación de la concentración de grasa y proteína en la leche ( $p < 0,01$ ).

Altos RCS en la leche tiene efectos indeseables tanto en los parámetros de aptitud quesera como en las características organolépticas del queso campesino. El tiempo de coagulación aumentó, el rendimiento quesero en base seca disminuyó y la concentraciones de proteína y grasa en el queso disminuyeron mientras las pérdidas en el suero aumentaron a medida que el RCS aumento. Cuando la leche usada para elaborar el queso campesino superó las 600000 cel/ mL, los quesos almacenados al vacío durante 21 días fueron mal calificados por un panel sensorial entrenado.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Este trabajo permitió conocer la influencia de factores en producción primaria que afectan la variación en la composición de la leche en un experimento observacional, por tanto se recomienda realizar ensayos controlados donde puedan evidenciarse de manera más precisa los efectos de la mastitis sobre la variación de la composición de la leche.
- Realizar ensayos donde se abarquen de manera general todos los parámetros a través de la cadena de producción (producción primaria, acopio, transporte, industrialización, comercialización etc.) que puedan influir sobre la variación en la composición de la leche.
- Realizar ensayos controlados en las condiciones de la Sabana de Bogotá y otras regiones lecheras del país donde se relacione a la presentación de mastitis en los hatos lecheros con el recuento de células somáticas y factores asociados a la producción primaria.
- Determinar efecto del recuento de células somáticas de la leche en la fabricación de otros tipos de queso nacionales y productos lácteos (leches fermentadas, leches en polvo, leches higienizadas, otros tipos de queso).

- Determinar el efecto del alto recuento de células somáticas o leches provenientes de animales con mastitis sobre los procesos industriales especialmente tratamientos térmicos y conservación de los productos.
- Se recomienda en los ensayos evaluar las enzimas relacionadas con mastitis y altos recuentos de células somáticas (plasmina y las enzimas de los polimorfonucleares), para establecer relación de estas con los efectos negativos sobre los productos lácteos.
- Ensayos donde se relacione el aumento de minerales como el Na y Cl en leches mastíticas sobre los procesos de industriales.



# **Anexos**

## ANEXO A. Formato para la evaluación sensorial

### A. FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE QUESO CAMPESINO

Fecha: \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_

#### Puntaje de los Factores de Calidad de Queso Campesino

##### Apariencia y color

- 3 Uniforme, blanco crema
- 1 Amarillo intenso, con manchas claras u oscuras, presencia de sinéresis (suero), sombra blanca en el centro del queso, con menos del 1% de ojos y pequeños.
- 0 Decolorado, blanco (tiza), opaco (hueco), con muchos ojos

##### Aroma y Sabor

- 9 Característico, ligeramente ácido, cremoso, a cuajada
- 3 Insípido, frutal (fragante), ácido, salado, ligeramente rancio.
- 0 Pútrido, amargo, rancio

##### Textura y apariencia interna

- 9 Suave, sedosa, blanda, sin sinéresis.
- 3 Seca, dura, cauchosa, granulosa (se desmorona), pastosa, pegajosa (muy húmeda), muy blanda, esponjosa
- 0 Textura no compacta, con muchos huecos húmedos, partes blandas que exudan agua, muchos agujeros de cabeza de alfiler.

Por favor califique los factores de calidad, según la escala anterior:

Muestra No					
Apariencia y color					
Aroma y sabor					
Textura					

Observaciones \_\_\_\_\_

## ANEXO B. Pruebas de Friedman en la evaluación sensorial

### B. Prueba de Friedman para apariencia externa

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	calificacion Media
0.060257	46.38145	7.189125	15.50000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
RCS	5	656.1632653	131.2326531	2.54	0.0297
Juez	6	0.0000000	0.0000000	0.00	1.0000

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
RCS	5	656.1632653	131.2326531	2.54	0.0297
Juez	6	0.0000000	0.0000000	0.00	1.0000

Tests (LSD)

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	198
Error de cuadrado medio	51.68352
Valor crítico de t	1.97202
Diferencia menos significativa	3.7709
Media armónica de tamaño de celdas	28.26923

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	RCS
A	17.643	35	B
A	17.179	14	A
A	15.888	49	C
A	15.327	49	D
A	15.202	42	E
B	10.905	21	F



**Prueba de Friedman para apariencia interna**

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	calificacion Media
0.105634	48.90124	7.579693	15.50000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
RCS	5	1343.554932	268.710986	4.68	0.0005
Juez	6	0.000000	0.000000	0.00	1.0000

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
RCS	5	1343.554932	268.710986	4.68	0.0005
Juez	6	0.000000	0.000000	0.00	1.0000

Tests (LSD)

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	198
Error de cuadrado medio	57.45174
Valor critico de t	1.97202
Diferencia menos significativa	3.9758
Media armónica de tamaño de celdas	28.26923

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	RCS
A	19.757	35	B
A	18.107	14	A
B A	16.714	49	C
B	13.786	21	F
B	13.235	49	D
B	13.167	42	E