

EFFECTO DEL RECUENTO DE CÉLULAS SOMÁTICAS SOBRE LA APTITUD QUESERA DE LA LECHE Y LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL QUESO CAMPESINO

J. A. Vásquez¹, C. F. Novoa², J. E. Carulla^{1}*

Artículo recibido: 13 de enero de 2014 • Aprobado: 5 de junio de 2014

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 estandarizados para el RCS. Colombia no lo ha hecho de manera oficial y tan solo unas pocas industrias manejan sus propios límites. **Objetivos:** Determinar el efecto del RCS sobre parámetros de aptitud quesera de la leche y la calidad sensorial del queso campesino. **Métodos:** Se tomaron muestras de leche de seis tanques con altos y bajos RCS y se realizaron mezclas para obtener 30 baches con diferentes RCS (desde 150.000 hasta 1.200.000 cel/ml). Con estas mezclas se elaboraron 30 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 descriptiva de puntajes con panel de seis jueces con experiencia previa y entrenados en queso campesino. 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 200.000 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 respecto de la textura y la apariencia disminuyó con RCS mayores a 600.000 cel/ml ($P < 0.01$) y el sabor y el aroma, a partir de 800.000 cel/ml ($P < 0.01$). **Conclusiones:** Aumentos en el RCS en leche afectan negativamente parámetros de aptitud quesera y la calidad sensorial del queso campesino. Se sugiere que los impactos serán menores sobre el rendimiento cuanto menor sea el RCS, mientras que la calidad organoléptica mejorará cuando la leche tenga RCS por debajo de 600.000 cel/ml.

Palabras clave: mastitis bovina, composición del queso, rendimiento quesero, tiempo de coagulación.

¹ Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá sede Bogotá, Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

² Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

* Autor para correspondencia: jecarullaf@unal.edu.co

SOMATIC CELL COUNT EFFECT ON CHEESE YIELD AND QUALITY OF FRESH CHEESE

ABSTRACT

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. In Colombia these limits have not been established officially, only a few industries have their own limits. **Objectives:** 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 150.000 to 1.200.000 somatic cells/mL. Thirty fresh cheeses were prepared and clotting time, yield (protein, fat, dry matter) and whey losses were determined. Additionally, score descriptive sensorial quality test was performed by 6 trained judges. 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 600.000 cells per ml ($P < 0,01$), flavor and aroma when they were higher than 800.000 cells/ml. **Conclusions:** 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 600.000 cells per ml.

Key words: Bovine mastitis, cheese composition, cheese yield, milk clotting time.

INTRODUCCIÓN

La elaboración de queso es un proceso en donde se concentra la caseína y grasa de la leche. En éste, 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 y 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 a nivel industrial como ‘coagulación de la leche’, se puede realizar mediante: hidrólisis de la κ -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 y 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 la estructura de las caseínas (Wedholm *et al.* 2006). Por lo tanto, cualquier alteración de éstas puede 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 y 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, albúminas, 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 y 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) lo que se atribuye principalmente a una alta humedad y a 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 oficiales en este aspecto lo cual puede significar una desventaja en los tratados comerciales con otros países (Ministerio de la Protección Social de Colombia, decreto No. 616 de 2006); sin embargo, existen industrias que manejan sus propios límites como parte de su esquema de calidad donde se tienen incentivos para productores con leche de bajos RCS. 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de la leche y composición

Se escogieron dos hatos de raza Normando de producción de leche especializada en la Sabana de Bogotá, con contenidos 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 estandarizó

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 142.000 y 1.199.000 cel/ml. Estas fueron refrigeradas a <4°C 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 realizó un recuento de células somáticas con el contador electrónico DeLaval Counter (DCC®) (Viguier *et al.* 2009) y un conteo de mesófilos utilizando placas Petrifilm® (Tabla 1).

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). 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 CaCl₂, 1 ml de cuajo líquido microbiano y se dejó en reposo durante 45 min. Cuando 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 (8 g/l), se mezcló con la leche cuajada y se vació sobre 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.

Análisis de los quesos

Para la toma de muestras de los quesos se siguió el procedimiento de muestreo de la Norma Técnica Colombiana 750 (Icontec 2009).

Coagulación

Se determinó el tiempo de coagulación (IDF 1992), el rendimiento quesero en

TABLA 1. Características de las muestras de leche según semana de muestreo y RCS.

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/ml)	1.029	1.031	1.029	1.030	1.028	1.030
Crioscopía	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)	938 000	229 000	877 000	142 000	1 199 000	377 000
Mesófilos (UFC/ml)	2 090 000	253 000	355 000	160 000	680 000	505 000

* (A) es la leche con alto RCS y B la de bajo RCS. Los números (1, 2, 3) indican la semana de muestreo.

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.

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) y humedad por gravimetría (AOAC 948.12).

Prueba sensorial

Los quesos fueron calificados por un panel sensorial conformado por seis jueces entrenados usando una prueba descriptiva de puntajes. Los jueces fueron seleccionados de un grupo de personas que habían trabajado anteriormente en análisis sensorial de quesos; por tanto, el entrenamiento se enfocó en determinar las características específicas de calidad. Para el entrenamiento se realizaron dos sesiones en las cuales se daban muestras de quesos con defectos sensoriales y quesos sin defectos aparentes para que ellos tuvieran un referente a la hora de evaluar las muestras del ensayo. Para el análisis sensorial se utilizaron tres repeticiones por cada nivel de células somáticas. El panel evaluó atributos de color (apariencia externa), sabor-aroma y textura (apariencia interna); las escalas de evaluación empleadas fueron tomadas de ensayos previos de evaluación sensorial de queso campesino (Drake 2007; Mahecha 1985).

No se realizaron pruebas microbiológicas en los quesos para asegurar inocuidad, sólo se utilizó como referente la pasteurización de la leche previa a la elaboración de los quesos.

Análisis estadístico

Aptitud quesera

Para determinar el efecto parcial del RCS y otras características de la leche (Tabla 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:

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

[ecuación 1]

Donde: Y_{ij} son las variables de aptitud quesera, β_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 β_{12} son coeficientes de regresión para R (RCS); P (proteína), C (caseína), S (sólidos totales), N (cenizas), K (calcio), F (fósforo), 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® (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).

Para todos los análisis estadísticos de aptitud quesera, el nivel de significancia considerado fue $P \leq 0.05$.

Prueba sensorial

Los datos se asignaron a siete grupos según el RCS: A (hasta 200 000 cel/ml), B (>200 000-400 000 cel/ml), C (>400 000-600 000 cel/ml), D (>600 000-800 000

cel/ml), E ($>800\ 000$ - $1\ 000\ 000$ cel/ml) y F ($>1\ 000\ 000$ cel/ml). Éstos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Friedman de acuerdo con el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad [\text{ecuación 2}]$$

Donde: Y_{ij} es la calificación de cada atributo del queso (color, aroma-sabor o textura-apariencia), μ media general, ρ_i efecto del juez, τ_j efecto del RCS y ε_{ij} error experimental (se obtuvieron un total de 210 calificaciones para cada atributo). Se utilizó el programa SAS® (SAS Inst. Inc; Version 9.2, Cary, NC) mediante el proceso GLM, la comparación de medias se realizó mediante prueba LSD. Para todos los análisis estadísticos, el nivel de significancia considerado fue $P \leq 0.05$.

RESULTADOS

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

Variables tecnológicas

El tiempo de coagulación se vio afectado por el RCS, la concentración de calcio, la concentración de cenizas y de sólidos en leche (Tabla 2). 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 1A). El contenido de cenizas explicó el 5.5% de la variación en el tiempo de coagulación. La concentración de sólidos y calcio se asoció inversamente con el tiempo de coagulación y explicaron el 3.9 y 2.2% de esta variación, respectivamente (Tabla 2).

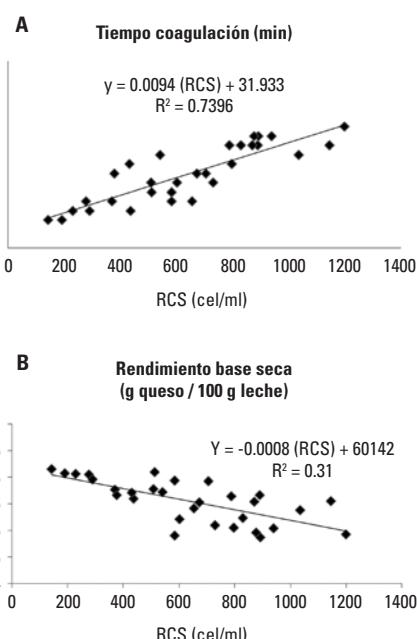


FIGURA 1. Asociación del RCS en leche con el tiempo de coagulación (A) y el rendimiento quesero (B)..

La variación en el RCS causó 31% de la variación en el rendimiento quesero, pues por cada aumento de 100 000 cel/ml el rendimiento disminuyó 0.7 unidades porcentuales ($P < 0.0013$) (Tabla 2). El RCS mostró una relación lineal con el rendimiento quesero en base seca (Figura 1B). 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.

Composición del queso

El RCS explicó el 53% de la variación en la humedad del queso y mostró una relación lineal (Figura 2) donde por cada aumento en 100 000 cel/ml ésta se in-

TABLA 2. Coeficientes de regresión y de determinación parcial para RCS, y otros parámetros de influencia sobre las variables tecnológicas y la composición del queso y del suero*.

Variable	β_0	Parámetro	β_n	R ²	P
Variables tecnológicas					
Tiempo coagulación (min)	34.76	RCS	0.00000938	0.73	<0.0001
		Ca	-72.5	0.02	0.0002
		Cenizas	413	0.05	0.0098
		Sólidos	-14.9	0.04	0.0154
				0.84	
Rendimiento BS (%)	6.014	RCS	-0.00000779	0.31	0.0013
		Ca	-3.4	0.15	0.0101
		P	10.9	0.10	0.0163
				0.56	
Rendimiento ajustado 55%	11.62	Cenizas	-21.8	0.24	0.0059
		Caseína	2.9	0.13	0.0252
				0.37	
Queso					
Humedad (%)	58.71	RCS	0.00000612	0.53	<0.0001
		Proteína	-4.1	0.08	0.01
		Ca	6.7	0.07	0.03
				0.68	
Proteína (%)	18.51	RCS	-0.0000036	0.77	<0.0001
		Ca	11.5	0.02	0.0541
		Cenizas	-10.8	0.02	0.0809
				0.81	
Grasa (%)	21.58	RCS	-0.00000464	0.55	<0.0001
		Ca	6.7	0.11	0.002
		Mesófilos	-0.00000173	0.09	0.0108
				0.75	
Suero					
Pérdidas proteína (%)	18.82	RCS	0.000012	0.40	0.0002
		Cenizas	218.7	0.12	0.0153
				0.52	
Pérdidas grasa (%)	6.61	RCS	0.000007	0.28	0.0026

* Para el análisis de utilizaron 30 registros. β_0 : intercepto. β_n : coeficientes de regresión; R²: coeficientes de determinación parcial.

creció en 0.6 unidades porcentuales ($P<0.0001$) (ver Tabla 2). 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 100 000 cel/ml significaron una disminución de 0,3 unidades porcentuales ($P<0.0001$) (Tabla 2). El RCS mostró una relación lineal con la concentración de proteína del queso (Figura 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 100 000 cel/ml la concentración de grasa disminuyó en 0,4 unidades porcentuales ($P<0.0001$) (Tabla 2). 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.

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 100 000 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 2).

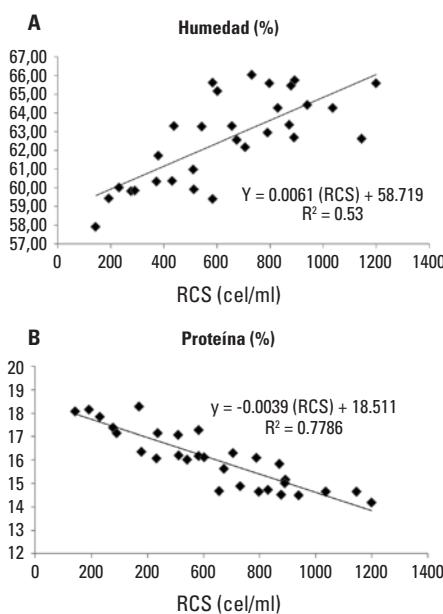


FIGURA 2. Asociación del RCS en leche con el contenido de humedad (A) y proteína (B) en el queso.

Efecto del RCS en la calidad sensorial del queso campesino

Apariencia

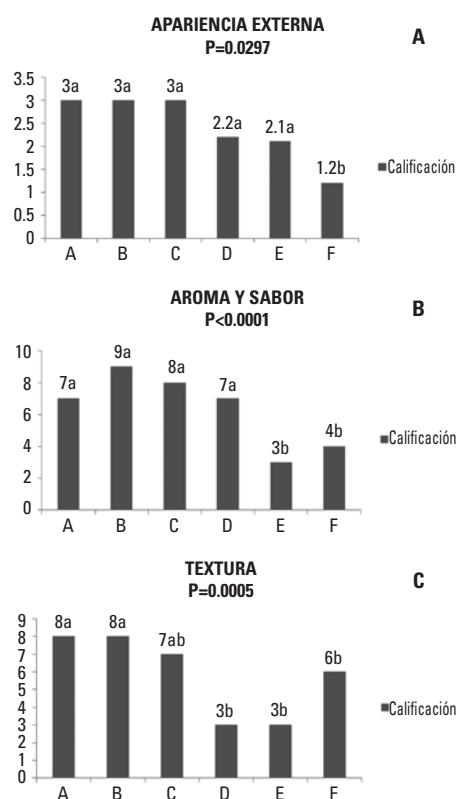
El panel de expertos calificó el color y el aspecto general de los quesos elaborados a partir de leches con RCS mayor a 1 000 000 cel/ml con la menor calificación ($P=0.0297$), calificación menor a 3 en una escala donde el mayor puntaje era 3, con defectos como alta sinéresis y colores muy amarillentos (Figura 3).

Aroma-sabor

Los quesos elaborados a partir de leches con RCS superiores a las 800.000 cel/ml obtuvieron la menor calificación ($P<0.0001$) y en algunos fueron calificados casos como amargos y pútridos (Figura 3).

Textura

La textura de los quesos elaborados con leches de RCS mayor a 600.000 cel/ml obtuvieron la menor calificación ($P=0,0005$). Los quesos elaborados a partir de leche con más de 1.000.000 cel/ml no fueron diferente estadísticamente a los elaborados a partir de leches que contenían 600.000 a 1.000.000 cel/ml pero se observó una tendencia (Figura 3). Los quesos con menor calificación tuvieron defectos como textura blanda, boronosa o grumosa.



A (hasta 200 000 cel/mL). B (>200 000-400 000 cel/mL). C (>400 000-600 000 cel/mL). D (>600 000-800 000 cel/mL). E (>800 000-100 0000 cel/mL) y F (>100 0000 cel/mL). Letras iguales son promedios estadísticamente iguales.

FIGURA 3. Efecto del RCS sobre la apariencia (A), el aroma-sabor (B) y la textura (C) en quesos campesinos. Medianas de la calificación de los panelistas.

DISCUSIÓN

Parámetros de aptitud quesera de la leche

El incremento en el RCS en la leche se asoció 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 142 000 hasta 1 199 000 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 con 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.

Tiempo de coagulación

El tiempo de coagulación mostró una relación lineal y positiva con el RCS señal un aumento de 0.9 minutos por cada incremento de 100 000 cel/ml. Algunos autores encontraron que aumentos del RCS de 100 000 a 600 000 cel/ml incrementaron el tiempo de coagulación en 5 minutos (Ng-Kwai-Hang *et al.* 1989; Vianna *et al.* 2008), lo cual implica que por cada 100 000 cel/ml 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 600 000 cel/ml), el pH de la leche es ligeramente mayor 5.42 y esto retrasa el efecto del cuajo sobre la κ -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 de 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 y O'Brien 2010). Sin embargo, en este estudio el Ca contribuyó 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 (ver Tabla 2). La literatura reporta que las concentraciones de Cl y Na aumentan cuando los RCS (1) se incrementan, lo cual sugeriría que estos minerales podrían explicar parcialmente los cambios en los tiempos de coagulación asociados con la mastitis. Desafortunadamente en nuestro trabajo no se determinaron estos minerales.

Rendimiento quesero

La variación en el RCS explicó el 31% del cambio en el rendimiento quesero en base seca; sin embargo, 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 el presente estudio. Hallamos que el contenido de humedad del queso aumentó progresivamente con el RCS

(ver Figura 2), lo cual 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 en la que se observa que, a medida que aumenta el RCS el rendimiento disminuye. Conteos celulares cercanos a 600.000 cel/ml redujeron los rendimientos en base seca en 4% y cuando el conteo superó 1.000.000 cel/ ml en 9%. Otros autores también han reportado relaciones inversas (Auldsist *et al.* 1996; Politis y 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), sugirieron que leches con RCS superiores a 100 000 cel/ml disminuyen los rendimientos queseros (Barbano *et al.* 1991). Otros reportes señalan que incrementos de 100.000 hasta 500.000 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 y 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 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 y McSweeney 1998). 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 α_{s1} y β caseínas disminuyendo la concentración total de caseína y aumentando los 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 y 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). Por su parte, Mazal *et al.* (2007) sugieren que la pérdida de proteína de queso en leche se refleja con aumentos de nitrógeno no proteico en el suero.

Composición del queso

Un aumento en el RCS de la leche se asoció con una mayor humedad y menores concentraciones de proteína y grasa en el queso, resultados que coinciden con reportes de la literatura.

El mayor contenido de humedad de los quesos provenientes de leches con altos en RCS se ha asociado con 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 y Lucey 2002). Alto contenido de humedad en los quesos a su vez provoca poca firmeza y mayor sinéresis durante el almacenamiento (Pearse y Mackinlay 1989). Durante el almacenamiento se observó 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) sugieren 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.

Por otro lado, 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 se une al complejo que forman las caseínas, cuando se agregan, para formar la matriz y son ocluidas en el proceso (Fox y 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 y Lucey 2002). Se ha sugerido que existe lipólisis espontánea en la leche de vacas con mastitis (Downey 1980).

Adicionalmente, fue posible relacionar un conteo alto de mesófilos en leche con la disminución de la concentración de grasa en el queso. Se sugiere una reducción 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 efectos lipolítico y proteolítico, lo que incrementa 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 y McSweeney 1998) impidiendo así la unión de estos al gel tridimensional formado por las caseínas.

Efecto del RCS en los atributos sensoriales del queso campesino

Los quesos provenientes de leches con alto RCS se vieron afectados negativamente en su apariencia externa, aroma-sabor y textura (apariencia interna). La literatura reporta que existen varios factores que pueden alterar las características sensoriales de la leche y los 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 (pérdida 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 con pérdidas significativas de suero durante el almacenamiento (Srinivasan y Lucey 2002). A su vez, un alto contenido de humedad en los quesos resulta en quesos con poca firmeza (Pearse y Mackinlay 1989). El color amarillento de los quesos campesinos elaborados con alto RCS podría estar asociado con las mayores pérdidas de humedad durante el almacenamiento.

La menor calificación en sabor-aroma fue evidente en queso campesino elabo-

rado a partir de leches con RCS mayor a 800 000 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 y 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 relativos a texturas demasiado blandas, boronosas o grumosas se podrían explicar también por el daño estructural sobre la matriz proteínica que forma el gel o, también, por 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 600 000 cel/ml coincidiendo con reportes de la literatura (Chen *et al.* 2010).

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 se redujeron, mientras las pérdidas en el suero aumentaron a medida que el RCS se incrementó. Cuando la leche usada para elaborar el queso campesino superó las 600 000 cel/ml, los quesos almacenados al vacío durante 21 días fueron mal calificados por un panel sensorial entrenado. Entre los defectos sensoriales encontrados

por el panel en los quesos campesinos mal calificados se cuenta: sinéresis alta, color muy amarillo, sabores amargos y pútridos, y textura boronosa o grumosa.

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.

REFERENCIAS

- Andreatta E, Fernandes A, Santos M, Mussarelli C, Marques M, Oliveira C. 2009. Composition, functional properties and sensory characteristics of Mozzarella cheese manufactured from different somatic cell counts in milk. *Braz Arch Biol Tech.* 52(5):1235-1242.
- [AOAC] Association Official Analytical Chemists. 2002. Official methods of analysis. 17th. ed. Washington: AOAC.
- Auldsist M, Coast S, Sutherland BJ, Mayes JJ, McDowell GH, Rogers GL. 1996. Effect of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *J Dairy Res.* 63:269-280.
- Auldsist M, Hubble I. 1998. Effects of mastitis on raw milk and dairy products. *Aus J Dairy Tech.* 53(1):28-36.
- Baldi A, Savoini G, Cheli F, Fantuz F, Senatore E, Bertocchi L, Politis I. 1996. Changes in plasmin-plasminogen-plasminogen activator system in milk from Italian Friesian herds. *Int Dairy J.* 6(11):1045-1053.
- Barbano D, Rasmussen R, Lynch J. 1991. Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *J Dairy Sci.* 74(2):369-388.
- Bryant A, Ustunol Z, Steffe J. 1995. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. *J Food Sci.* 60(6):1216-1219.
- Cooney S, Tiernan D, Joyce P, Kelli A. 2000. Effect of somatic cell count and polymorphonuclear leucocyte content of milk on composition and proteolysis during ripening of Swiss-type cheese. *J Dairy R.* 67(2):301-307.
- Coulon JB, Gasqui P, Barnouin J, Ollier A, Pradel P, Pomiès D. 2002. Effect of mastitis and related-germ on milk yield and composition during naturally-occurring udder infections in dairy cows. *Anim Res.* 51(5):383-394.
- Coulon JB, Delacroix-Buchet A, Martin B, Pirisi A. 2004. Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: A review. *Le Lait.* 84(3):221-241.
- Chen S, Wang J, Van Kessel J, Ren F, Zeng S. 2010. Effect of somatic cell count in goat milk on yield, sensory quality, and fatty acid profile of semisoft cheese. *J Dairy Sci.* 93(4):1345-1354.
- Deeth H. 2006. Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *Int Dairy J.* 16(6):555-562.
- Dohoo I, Meek A. 1982. Somatic cell counts in bovine milk. *Can Vet J.* 23(4):119.
- Downey W. 1980. Risks from pre- and post-manufacture lipolysis. Flavour impairment of milk and milk products due to lipolysis. Document No. 118, Brussels (Bélgica): International Dairy Federation. p. 4-18.
- Drake M. 2007. Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *J Dairy Sci.* 90(11):4925-4937.
- Fox PF, McSweeney PLH. 1998. Dairy chemistry and biochemistry. London: Blackie Academic and Professional Publishers. 478 p.
- Fox PF, McSweeney PLH. 2006. Chemistry and biochemistry of cheese manufacture and ripening. *Food Sci Technol.* 20:28-32.
- Franceschi P, Formaggioni P, Malacarne M, Summer A, Fieni S, Mariani P. 2003. Variations of nitrogen fractions, proteolysis and rennet-coagulation properties of milks with different somatic cell values. *Scienza e Tecnica Lattiero-Caseraria.* 54:301-310.
- Guinee T, O'Kennedy B, Kelly P. 2006. Effect of milk protein standardization using different methods on the composition and yields of Cheddar cheese. *J Dairy Sci.* 89(2):468-482.

- Guinee TP, O'Brien B. 2010. The quality of milk for cheese manufacture. En: Law BA, Tamime AY (editores). *Technology of cheesemaking*, 2nd. ed. Chichester, West Sussex (UK): John Wiley & Sons. p. 1-67.
- [ICONTEC] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2009. Norma Técnica Colombiana NTC 750: Productos lácteos y queso. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- [IDF] International Dairy Federation. 1992. Bovine rennets. Determination of total milk-clotting activity. Provisional Standard 157. Brussels (Bélgica): IDF.
- Klei L, Yun J, Sapru A, Lynch J, Barbano D, Sears P, Galton D. 1998. Effects of milk somatic cell count on cottage cheese yield and quality. *J Dairy Sci.* 81(5):1205-1213.
- Kutner MH, Nachtsheim CJ, Neter J, Li W. 2005. *Applied linear statistical models*, 5th ed. New York: McGraw-Hill. NUMERO DE PAGINAS?
- Le Roux Y, Laurent F, Moussaoui F. 2003. Polymorphonuclear proteolytic activity and milk composition change. *Vet Res.* 34(5):629-645.
- Mahecha G. 1985. Evaluación sensorial en el control de calidad de alimentos procesados. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá: Ed. Carrera Séptima Ltda. NUMERO DE PAGINAS?
- Mara O, Roupie C, Duffy A, Kelly A. 1998. The curd-forming properties of milk as affected by the action of plasmin. *Int Dairy J.* 8(9):807-812.
- Marino R, Considine T, Sevi A, McSweeney P, Kelly A. 2005. Contribution of proteolytic activity associated with somatic cells in milk to cheese ripening. *Int Dairy J.* 15(10):1026-1033.
- Mazal G, Vianna P, Santos M, Gigante M. 2007. Effect of somatic cell count on Prato cheese composition. *J Dairy Sci.* 90(2):630-636.
- Ministerio de la Protección Social de Colombia. Decreto No. 616. 28 de Febrero de 2006. Reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expenda, importe o exporte en el país.
- Ng-Kwai-Hang K, Politis I, Cue R, Marziali A. 1989. Correlations between coagulation properties of milk and cheese yielding capacity and cheese composition. *Can J Food Sc Tech* J. 22(3):291-294.
- Norman H, Lombard J, Wright J, Kopral C, Rodriguez J, Miller R. 2011. Consequence of alternative standards for bulk tank somatic cell count of dairy herds in the United States. *J Dairy Sci.* 94(12):6243-6256.
- Novoa C, Osorio D. 2009. Derivados lácteos: guía para la elaboración de algunos productos derivados de la leche. Bogotá (Colombia): Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia.
- Noziere P, Graulet B, Lucas A, Martin B, Grolier P, Doreau M. 2006. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Anim Feed Sci Tech.* 131(3):418-450.
- Quattara G, Jeon I, Hart Thakur R, Schmidt K. 2011. Fatty acids released from milk fat by lipoprotein lipase and lipolytic psychrotrophs. *J Food Sci.* 69(8):C659-C664.
- Pearse M, Mackinlay A. 1989. Biochemical aspects of syneresis: A review. *J Dairy Sci.* 72(6):1401-1407.
- Politis I, Ng-Kwai-Hang K. 1988. Effects of somatic cell count and milk composition on cheese composition and cheese making efficiency. *J Dairy Sci.* 71(7):1711-1719.
- Srinivasan M, Lucey J. 2002. Effects of added plasmin on the formation and rheological properties of rennet-induced skim milk gels. *J Dairy Sci.* 85(5):1070-1078.
- Summer A, Malacarne M, Martuzzi F, and Mariani P. 2002. Structural and functional characteristics of Modenese cow milk in Parmigiano-Reggiano cheese production. *Ann Fac Med Vet Univ Parma.* 22:163-174.
- Vianna P, Mazal G, Santos M, Bolini H, Gigante M. 2008. Microbial and sensory changes throughout the ripening of Prato cheese made from milk with different levels of somatic cells. *J Dairy Sci.* 91(5):1743-1750.
- Viguier C, Arora S, Gilmartin N, Welbeck K, O'Kennedy R. 2009. Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends Biotech.* 27(8):486-493.
- Wedholm A, Larsen L, Lindmark-Måansson H, Karlsson A, Andrén A. 2006. Effect of protein

composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows. J Dairy Sci. 89(9):3296-3305.

Wendorff B. 2003. Milk composition and cheese yield. En: Proc 7th Great Lakes Dairy Sheep Symposium. Ithaca, NY, USA. p. 104-117.

Article citation:

Vásquez JA, Novoa CF, Carulla JE. 2014. Efecto del recuento de células somáticas sobre la aptitud quesera de la leche y en la calidad fisicoquímica y sensorial del queso campesino [Somatic cell count effect on cheese yield and quality of fresh cheese]. Rev Fac Med Vet Zoot. 61(2): 171-185.