

EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE LECHE BOVINA Y CAPRINA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL DULCE DE LECHE¹

Alejandro Chacón-Villalobos², María Lourdes Pineda-Castro³, Sandra Gabriela Méndez-Rojas⁴

RESUMEN

Efecto de la proporción de leche bovina y caprina sobre las características físicas y sensoriales del dulce de leche. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la proporción de leche de vaca y leche de cabra en las características del dulce de leche. En la Universidad de Costa Rica y en el Instituto Nacional de Aprendizaje (enero de 2010 a mayo de 2011) se evaluó el efecto sobre el pH, grados Brix, color y textura en los días 1 y 60 de almacenamiento, de diferentes proporciones de sustitución de leche bovina por leche caprina en el dulce de leche (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). El agrado sensorial se estimó en el día 15 con 100 consumidores para las formulaciones y un producto comercial de referencia, efectuando un análisis de conglomerados. Para todas las variables existió efecto significativo del almacenamiento ($p \leq 0,05$), solo para el pH hubo interacción almacenamiento x producto. A mayor porcentaje de sustitución, menor fue el pH, disminuyendo este con el almacenamiento. Se requirió de más grados brix para alcanzar la consistencia deseada en las formulaciones que contenían leche caprina. El color mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) pero con variaciones leves, incrementándose el color rojizo y amarillento con el tiempo y el porcentaje de sustitución. Existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en elasticidad, dureza, consistencia, índice de viscosidad y adhesividad para todos los porcentajes de leche de cabra excepto para 25% y 50%, generando un 0% de leche caprina la mayor dureza, adhesividad y elasticidad. Sensorialmente, un primer conglomerado (63%) arrojó un aceptable agrado para todas las muestras, mientras un segundo conglomerado (37%) manifestó un mayor agrado por el dulce de leche comercial y en segundo lugar por la sustitución de 50%.

Palabras clave: leche de cabra, leche de vaca, dulce de leche, productos lácteos, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

Effect of different proportions of goat milk and cow's milk on the physical and sensory characteristics of "dulce de leche". The objective of this work was to determine the effect of the proportion of cow and goat milk in the composition of milk candy "dulce de leche". The evaluation was conducted at the Universidad de Costa Rica and the Instituto Nacional de Aprendizaje (from January 2010 to May 2011), to establish the effect on the pH, Brix degrees, color and texture in days 1 and 60 of storage, of different goat milk proportions in the milk candy (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). Sensorial acceptance of such formulations was estimated for 100 consumers using formulations at day fifteen and a commercial product used as reference; this data was assessed using a cluster analysis. For all variables there is a significant effect of storage ($p \leq 0.05$), but only interactions between storage and pH were revealed. The higher the proportion of goat milk, the lower the pH, especially as storage time increases. High Brix values were needed to obtain a desirable consistency in formulations containing goat milk. The color showed significant differences ($p \leq 0.05$) but with slight variations, reddish and yellowish color being increased with time and with the percentage of substitution. Significant differences ($p \leq 0.05$) in elasticity, hardness, consistency, viscosity index and adhesiveness for all the percentage of goat milk except for 25% and 50% existed; the 0% formulation generated the greater hardness, adhesiveness and elasticity. Analysis of sensory data obtained a first cluster (63%) of people who showed a good acceptance for all samples, while a second cluster (37%) reported increased liking for the commercial brand used as reference and for the 50% substitution as well.

Key words: goat milk, cow milk, "dulce de leche", dairy products, physicochemical properties.

¹ Recibido: 12 de marzo, 2012. Aceptado: 1 de abril, 2013. Proyecto N° 737-A4-040 inscrito en Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. alejandro.chacon@ucr.ac.cr

³ Escuela de Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. maria.pinedacastro@ucr.ac.cr

⁴ Industria privada. gaby16_mr8@yahoo.com



INTRODUCCIÓN

La industria de los productos derivados de la leche es uno de los sectores agroindustriales más representativo y de mayor crecimiento de la economía costarricense (Vega 2002, Díaz 2004), siendo sobresaliente por su autosuficiencia en el concierto industrial de América Latina (Morón *et al.* 2005). A pesar de este dinamismo, el sector lácteo del país se fundamenta de manera casi exclusiva en derivados de la leche bovina (Corrales y Chacón 2005, Rojas *et al.* 2007, Vargas *et al.* 2007), estando los productos elaborados a partir de otras leches menos tradicionales, como la de cabra, circunscritos al sector artesanal rural donde es limitada su distribución y venta (Chacón 2004). Los pocos productos caprinos existentes en el mercado, destacándose la leche fluida, son presa de prejuicios sensoriales y culturales, así como de un desconocimiento derivado de su poca disponibilidad, aspectos que provocan que sean pocos los consumidores habituales dispuestos a pagar precios más altos para adquirir estos productos, usualmente en el mismo lugar donde se manufacturan (Chacón *et al.* 2008). Esto genera una espiral de poco desarrollo, de poca rentabilidad y de un estancamiento del sector caprinocultor.

En un estudio de consumidores costarricenses realizado por Chacón *et al.* (2008), se encontró que un 93,7% de los entrevistados no consume leche de cabra. Las mayores razones para este comportamiento fueron la escasa disponibilidad (31,2%), la sensación de náusea (31,2%) y el desconocimiento del producto (14,6%). Otro trabajo realizado por Vargas *et al.* (2007), con el fin de evaluar la percepción de la leche caprina en los estudiantes de la Universidad de Costa Rica, evidenció que un 40% de los entrevistados no tenía conocimiento alguno de este tipo de leche. Esto refleja la necesidad que existe en cuanto a desarrollo, promoción y mejoramiento de los lácteos caprinos en el mercado costarricense.

La realidad antes descrita ha llevado a que en los últimos años, y con el objeto de incentivar al sector caprino, se efectúen en la Universidad de Costa Rica esfuerzos de investigación orientados a la caracterización, diversificación y mejoramiento de productos derivados de la leche de cabra, ya sea que esta se emplee como materia prima principal, o que la misma se mezcle en diferentes proporciones con la leche bovina; esto con la intención de buscar una mayor aceptación y, deseablemente, algunas ventajas técnicas resultantes

de este maridaje. Investigaciones surgidas en el seno de esta iniciativa, como la de Rojas *et al.* (2007), ya han mostrado, por ejemplo, que la sinéresis de un yogurt batido tiende a disminuir a medida que se sustituye la leche bovina por leche caprina en la formulación.

Por su prolongada vida útil, su fácil implementación y su valor agregado, el dulce de leche es un producto con un buen perfil para la producción artesanal rural, siendo sujeto de investigación por mérito propio en estudios orientados a fortalecer este tipo de sectores productivos (Roca 2011). Este producto es nutritivo y menos perecedero que la leche, razones por las cuales tiene un amplio uso industrial y culinario. Es muy popular en Latinoamérica (Ares y Giménez 2008), denominándosele “arequipe” en Venezuela y Colombia, mientras que en Chile y Ecuador se le llama “manjar”, “cajeta” en México y “dulce de leche” en Uruguay, Argentina, Costa Rica y Panamá (Pauletti *et al.* 1996, Dorantes *et al.* 1998).

El dulce de leche es una forma de leche condensada que se prepara a partir de leche líquida, a la cual se le adiciona aproximadamente 20% de azúcar y, en ocasiones, otros sólidos lácteos (Ares y Giménez 2008). La leche sufre un proceso de concentración gracias a la acción del calor a presión normal o reducida, hasta que se alcance un determinado nivel en los sólidos solubles que es cercano a 66-68°Brix (Casals y De Hombre 1995, Paiva Soares *et al.* 2010). El proceso descrito genera un producto con una actividad del agua (a_w) que oscila entre 0,801 y 0,851, con un pH entre 5,6 y 6,3 (Murillo 2008), y que muestra el desarrollo de un color, una textura y un sabor característico debido a reacciones de pardeamiento no enzimático y al tipo de leche utilizado (Hentges *et al.* 2010).

La composición del producto y las características de acidez, textura, color y sabor del mismo son criterios importantes de consideración inmediata al establecer su calidad y agrado (Pinho *et al.* 2004). Un exceso de acidez puede ser causal de sabores intensos no deseables acompañados de coagulación de las proteínas y de sinéresis, generando una textura harinosa y aspecto desagradable del producto; asimismo, la acidez excesiva también podría provocar que las reacciones de Maillard se den más despacio y no se logre obtener el color característico (INA 2001). El sabor del dulce de leche es por lo general de moderada a intensamente dulce y sin presencia de otras sensaciones extrañas al mismo (Roca 2011). El color, por su parte, es muy característico en el dulce de leche, variando entre el crema claro y el

marrón oscuro; es un atributo de calidad particularmente apreciado por los consumidores en conjunto con el sabor y la textura (Pauletti *et al.* 1995). Según Pauletti *et al.* (1996), el color del dulce de leche se torna más oscuro a medida que se incrementa la concentración de solutos, disminuye la acidez de la mezcla inicial y aumenta la proporción de sacarosa utilizada. Se estima que el color es principalmente el resultado de tres tipos de reacciones generales que, dadas las condiciones de pH y temperatura propias del proceso de elaboración, se producen en el sistema constituido por leche y azúcares: pardeamiento tipo Maillard, reacciones de caramelización y reacciones de oxidación (Pauletti *et al.* 1995).

En cuanto a su textura, el dulce de leche se caracteriza por ser un fluido no newtoniano de carácter pseudoplástico, cuya consistencia está en función de los grados Brix que posee (Pauletti *et al.* 1990). Se ha observado que su viscosidad se ve afectada principalmente por el contenido de sólidos solubles, la acidez de la mezcla inicial y el porcentaje de sacarosa, explicando estas tres variables el 73-85% de las variaciones en la viscosidad final (Casals y de Hombre 1995). Entre mayor sea la concentración de sólidos solubles en el producto, más espeso será (Zunino 1998). El consumidor busca en el dulce de leche una consistencia cremosa o pastosa (Pauletti *et al.* 1992), y una textura homogénea (sin grumos) que sea agradable a su paladar y que esté libre de una sensación arenosa provocada por la cristalización de la lactosa durante el almacenamiento y la manipulación posterior a la elaboración (Dorantes *et al.* 1998, Ares y Giménez 2008). Desde el punto de vista industrial, hay tres aspectos de la textura del dulce de leche que es necesario controlar: la consistencia, considerada en este caso como la capacidad del producto de mantenerse sin derramarse al ser extendido; el tipo de corte, que va a determinar la formación o no de hilos al separar dos porciones del producto; y, por último, la extensibilidad, que va a condicionar la uniformidad de la capa que se forme al depositarlo sobre una superficie (Pauletti *et al.* 1992). La evaluación sensorial e instrumental constituyen en este caso las herramientas idóneas para establecer la naturaleza de las características de textura, color y sabor del producto (Pauletti *et al.* 1992, Pinho *et al.* 2004, HunterLab 1996).

El presente trabajo tuvo la finalidad de determinar el efecto de la proporción de leche de vaca y leche de cabra en las características de color, textura, pH y aceptación sensorial del dulce de leche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se efectuó entre enero del año 2010 y mayo de año 2011. La leche bovina (*Bos taurus*) y caprina (*Capra hircus*) se obtuvo de los hatos de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Ochomogo, provincia de Cartago a 1542 msnm, con una precipitación media anual de 2050 mm, una temperatura media de 19,5°C y una humedad relativa media de 84% (Boschini y Elizondo 2004), y en cuyo módulo lácteo se efectuó el manejo primario de las leches y sus evaluaciones de calidad. En el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica (CITA) ubicado en San Pedro de Montes de Oca, provincia de San José, y en el Módulo de Industria del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), localizado en Montecillos, provincia de Alajuela, se efectuaron las corridas de elaboración del dulce de leche. Asimismo, en la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, ubicada en San Pedro de Montes de Oca, provincia de San José, se realizaron las evaluaciones sensoriales, así como los análisis químicos y las determinaciones instrumentales de textura y color de las diferentes formulaciones.

Caracterización preliminar de la leche caprina y bovina utilizada en los procesos

Se utilizó leche fresca e íntegra con menos de doce horas de ordeño y mantenida a 4°C, la que fue producida por bovinos de la raza “Jersey” en pastoreo y caprinos de la raza “Lamancha” en semi-estabulación.

Con el objeto de constatar que la leche a utilizar en el proceso experimental presentaba una composición normal a la vez que fuese inocua, se efectuaron diferentes determinaciones iniciales. Los diferentes lotes de leche fueron analizados por el método Snap⁵ para garantizar la inexistencia de antibióticos. Además, se evaluó la acidez titulable expresada como ácido láctico (ATECAL) por medio del método volumétrico 947,05 de la AOAC (1990), en donde se tituló

⁵ González, A. 2003. Evaluación de antibióticos en leche empleando el método Snap. INDULAC. San José, Costa Rica. Comunicación personal.

la leche con NaOH 0,1N utilizando fenolftaleína como indicador. El peso específico de la leche se estableció mediante el método densimétrico 925.22 de la AOAC (1990), en donde se utilizó un lactodensímetro de Quevenne (Kirk *et al.* 2005, Chacón 2004). Las pruebas anteriores tuvieron el fin de garantizar en todos los casos una materia prima con un valor de ATECAL menor a 0,18% y un peso específico igual o superior a 1,028, criterios de calidad recomendados por la bibliografía para la leche destinada a la elaboración de derivados lácteos (Revilla 1985, Chacón 2004). Adicionalmente, se determinó el porcentaje de grasa de la leche mediante el método 989.04 de la AOAC (2000), conocido como método de Babcock. A partir de los datos de peso específico y porcentaje de grasa se estableció el contenido de sólidos totales y no grasos, utilizando la fórmula modificada de Richmond para leche fresca, tal y como establecen Kirk *et al.* (2005). La proteína láctea se estimó por medio del método de "Titulación con formol de Walker" descrito por Bateman (1970).

Una vez efectuadas las pruebas descritas, la leche, indiferentemente de su tipo, se depositó en contenedores lecheros de aluminio previamente sanitizados y se trasladó refrigerada a 4°C, hasta el lugar de procesamiento, tal y como recomienda Chacón (2004).

Proceso de elaboración de las diferentes formulaciones de dulce de leche

Formulación base y formulaciones experimentales

Para la elaboración del dulce de leche se utilizó la formulación base citada por Henderson y Cortés (2001), la que fue modificada a través de pruebas preliminares para prescindir del uso de leche descremada en polvo y de glucosa de maíz (Cuadro 1). La primera modificación se justifica en la inexistencia en el mercado costarricense de sólidos lácteos caprinos. Por su parte, la glucosa de maíz no se incluyó en la formulación para ahorrarle costos al productor, pues las pruebas preliminares no presentaron problemas de cristalización en ausencia de la misma luego de un mes de almacenado el producto.

Empleando como fundamento la formulación base definida, se establecieron, para efectos de estudio, cinco formulaciones experimentales a partir de diferentes grados de sustitución de la leche bovina habitual

Cuadro 1. Formulación base del dulce de leche adoptada durante el proceso de elaboración experimental. San José, Costa Rica. 2011.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Leche entera fluida (bovina, caprina o mixta)	81,89
Azúcar	18,02
Bicarbonato de sodio (como regulador de acidez)	0,08
Sorbato de potasio (como preservante)	0,01

con leche caprina (0 %, 25%, 50%, 75% y 100% de sustitución).

Establecimiento del número de repeticiones por formulación

Luego de definir la formulación base, se realizaron tres repeticiones de elaboración de la formulación 100% leche de cabra por medio del proceso que se describirá en la siguiente sección de esta metodología. Las mismas se evaluaron fisicoquímicamente para establecer pH, color y textura, por medio de los métodos que se discutirán más adelante. A partir de estos análisis preliminares se estableció estadísticamente que el parámetro que proporcionó la mayor variabilidad, expresada como desviación estándar fue la dureza del dulce de leche. Con esta desviación estándar (0,571 N), utilizando un α de 0,05 y un $1 - \beta$ de 0,8 y con una diferencia mínima a detectar de 1,35 N, se calculó el número de repeticiones utilizando las "Tablas para determinar el número de repeticiones para análisis de varianza" (Bratcher *et al.* 1970). Se determinó así un número de cinco repeticiones (lotes) por formulación para el presente estudio.

Proceso de elaboración de las diferentes formulaciones de dulce de leche

Para cada uno de los porcentajes de sustitución propuestos se realizaron cinco repeticiones de las corridas de elaboración, tal y como se estableció en el apartado anterior de esta metodología, empleando para ello 6 kg de leche pura o mezclada, según correspondiese.

El proceso general de elaboración comprendió las siguientes etapas:

a. Pre calentamiento y mezclado: se colocó la leche fluida a 4°C, pura o en mezcla, según el caso, en un recipiente de calentamiento de acero inoxidable de 20 litros de capacidad, y se calentó por medio de una plantilla de gas propano, existiendo siempre agitación constante, hasta que la misma alcanzó una temperatura de 45-50°C. Obtenida dicha temperatura, se adicionaron juntos el azúcar y el bicarbonato, los que previamente se habían mezclado para formar un solo sustrato.

b. Concentración: se continuó el calentamiento con agitación constante hasta llegar a temperatura de ebullición, la cual fluctuó entre 95-98°C, evitando el derrame del producto debido a la formación de espuma. Se detuvo el calentamiento una vez hubiese sido comprobado, por medio de mediciones periódicas a lo largo del proceso, que se alcanzó una concentración de entre 65-75°Brix (Henderson y Cortés 2001).

c. Adición del preservante: se enfrió la mezcla sumergiendo el contenedor en un baño de hielo hasta que esta alcanzó 70°C, adicionándose entonces el sorbato de potasio seguido de agitación para distribuirlo homogéneamente.

d. Empaque y enfriamiento: se realizó inmediatamente después de finalizar el proceso de adición del preservante, a la misma temperatura para evitar que el producto se espesara y dificultara esta etapa. El dulce de leche se empacó por vertido manual en contenedores plásticos de 250 g de capacidad, procediéndose entonces a su enfriamiento en baño de hielo hasta 25°C.

Evaluación de las diferentes formulaciones de dulce de leche

Evaluación instrumental

Cada una de las cinco formulaciones se prepararon con cinco lotes de leche diferentes, y a cada formulación de cada lote se le realizaron mediciones por quintuplicado de pH, grados Brix, textura, y color, tanto al día 1 como al día 60 después de la elaboración.

Para las pruebas de textura y pH se utilizaron 150 ml del producto, mientras que para el color se utilizaron 10 g aproximadamente, y menos de 1 g de producto para los grados Brix. El procedimiento particular para cada determinación se describe a continuación:

Medición de pH

Se realizó la medición a 25°C (temperatura ambiente) utilizando un pHmetro marca Metrohm, modelo 827, el cual se calibró antes de su uso con buffers de pH 4,0 y pH 7,0. Se siguió el método 981.12 de la AOAC (1999).

Medición de grados Brix

Se utilizó un refractómetro marca “Atago”, modelo NAR1T. Las mediciones fueron realizadas a una temperatura aproximada de 25°C. Este aparato cuenta con una escala de 0 a 100 °Brix. El método utilizado fue el 932.12 de la AOAC (1990).

Mediciones asociadas a la textura

Las mediciones asociadas a la textura se realizaron en forma instrumental directamente en el producto contenido en el recipiente de plástico, esto por medio del empleo de un texturómetro modelo TA.XT Plus de Stable Micro Systems⁶. Se evaluaron los parámetros de dureza, adhesividad, consistencia, índice de viscosidad y elasticidad, empleando un método de compresión adaptado a partir de las aplicaciones sugeridas por el software del texturómetro (Stable Micro Systems 2007).

Para la medición se empleó un cilindro de 10 mm de diámetro. Los parámetros de funcionamiento del texturómetro fueron una velocidad de prueba de 300 mm/min, una de post prueba de 600 mm/min, una de penetración de 10 mm, una distancia de devolución del cilindro de 9 cm, y una fuerza de gatillo de 5 g; se empleó una celda de carga de 50 kg.

Medición de color

Se utilizó el colorímetro marca Hunterlab modelo Colorflex 430, calibrado según las especificaciones del software (Hunterlab 1996, Hunterlab 2002), mediante el uso consecutivo de un patrón negro, blanco y verde. Las mediciones se realizaron tanto en la escala CIELab como en la CIELch utilizando un ángulo de incidencia de 45°/0°, un ángulo del observador de 10° y el iluminante D65.

⁶ Pineda, ML. 2009. Utilización del Texturómetro TA.XTPlus de Stable Micro Systems. Escuela de Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica. Comunicación Personal.

Evaluación sensorial del nivel de agrado de las diferentes formulaciones

Se empleó un panel sensorial conformado por 100 consumidores adultos de dulce de leche, para evaluar el nivel de agrado de cada una de las cinco formulaciones propuestas. Se utilizó una escala híbrida con los descriptores extremos de “me disgusta muchísimo” y “me gusta muchísimo”, y un descriptor central de “ni me gusta ni me disgusta” (Villanueva *et al.* 2005). Para evitar prejuicios sobre la leche de cabra, se omitió el origen de la leche con la que se elaboró el producto. Antes del panel sensorial, las muestras se almacenaron por quince días con el fin de que el producto se estabilizara luego de su fabricación.

Adicionalmente, y con el objeto de que sirviera de marco de comparación, se evaluó también en idéntica manera el agrado sensorial por un dulce de leche bovino de presencia comercial establecida en el mercado y que representase un producto de reconocida aceptación. El mismo se seleccionó por medio de una encuesta preliminar aplicada a 110 consumidores adultos habituales de dulce de leche y será denominado en este artículo como “dulce de leche comercial”.

De manera simultánea a los paneles sensoriales, se les solicitó a los panelistas completar un cuestionario en donde se les pidió que indicaran información demográfica e información referente a las frecuencias de consumo de leche de cabra y de dulce de leche.

Diseño experimental y evaluación estadística

Para las pruebas instrumentales se utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados con un arreglo factorial 5x2, en donde se tenían diez tratamientos en total, obtenidos por la combinación de diferentes proporciones de leche de cabra (0, 25, 50, 75 y 100%) y dos tiempos de evaluación (1 y 60 días de almacenamiento). Los tratamientos se aplicaron a cinco lotes diferentes de materia prima.

Los datos obtenidos de pH, Brix, color y textura fueron analizados mediante un análisis de varianza utilizando el programa JMP SAS versión 4.0.4 (SAS 2001) con el fin de determinar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos, aplicándose posteriormente un análisis de comparación de medias de Tukey para conocer el origen de las

diferencias o construyéndose un gráfico en el caso de que se detectaran interacciones.

Para la prueba de agrado se utilizó un diseño irrestricto aleatorio en donde se contó con seis tratamientos, que corresponden a las cinco formulaciones de dulce de leche y al dulce de leche comercial. Con los datos obtenidos se realizó un “Análisis de Conglomerados” en función del agrado, utilizando el método de aglomeración de Ward en el programa SAS 9.1 (SAS 2004), con el fin de encontrar subgrupos con agrado similar de las distintas formulaciones de dulce de leche. Este tipo de análisis es útil porque no es representativo tomar el agrado del panel en general, sino más bien agrupar los panelistas en conjuntos con agrados similares y, de acuerdo al porcentaje de cada uno de los conglomerados, decidir cuál es el dulce de leche de mayor agrado.

Posteriormente, con los jueces anidados por conglomerados, se realizó un análisis de varianza con el programa JMP SAS versión 4.0.4, esto con el objetivo de encontrar diferencias significativas en el agrado de las cinco formulaciones con distintas proporciones de leche de cabra, además del dulce de leche comercial. Debido a la presencia de interacciones, la información se analizó por medio del uso de gráficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización preliminar de la leche caprina y bovina utilizada en los procesos

La composición promedio obtenida (Cuadro 2) para las muestras de leche caprina y vacuna no difieren de aquella comúnmente reportada por la literatura (Chacón 2005). Las mismas se enmarcan dentro de los márgenes establecidos por Chacón (2004), quien reportó para la leche de cabra valores promedios de sólidos totales promedio de entre 12,2%, grasa de 3,8% lactosa de 4,5%, proteína de 3,25%, índice de ATECAL de 0,17% y un peso específico de 1,029. Asimismo, reporta para la leche de vaca valores de sólidos totales de 12,0%, grasa de 4,0%, lactosa de 4,9%, proteína de 3,3%, índice de ATECAL de 0,17% y un peso específico de 1,029. Autores como Le Jaquen (1982), Pinto *et al.* (1984), Tacsan (1987), Haenlein (2002), Oliszewski *et al.* (2002), USDA *et al.* (2004) enuncian porcentajes similares.

Cuadro 2. Composición promedio de la leche caprina y de la leche bovina empleada en la elaboración de las diferentes formulaciones de dulce de leche. San José, Costa Rica. 2011.

Parámetro evaluado	Leche caprina	Desviación (DS)	Leche bovina	Desviación (DS)
Proteína	3,3%	0,1	3,5%	0,1
Sólidos totales	13,1%	0,6	14,0%	0,3
Grasa	4,1%	0,2	4,8%	0,2
Sólidos no grasos	9,0%	0,5	9,2%	0,2
Peso específico	1,0300	0,0005	1,0300	0,0005
Ácido láctico (ATECAL)	0,17%	0,005	0,18%	0,005

Lo anterior, sumado al hecho de que las pruebas de presencia de antibióticos siempre fueron negativas en todos los casos, permite afirmar que la leche empleada reunía la composición media aceptable para un procesamiento técnicamente viable y que, según Chacón (2004), se encuentra dentro de los rangos normales de calidad y puede asociarse con adecuados procesos de manufactura de los productos lácteos convencionales.

Evaluación de las diferentes formulaciones de dulce de leche

Evaluación instrumental

Las medias obtenidas para los parámetros instrumentales de las diferentes formulaciones se resumen en el Cuadro 3.

Medición del pH

A los datos de pH obtenidos se les realizó un análisis de varianza, cuyas probabilidades asociadas se muestran en el Cuadro 4.

Existieron diferencias significativas entre los lotes (repeticiones) utilizados, los días y los productos, así como una interacción significativa entre los días y los productos (Cuadro 4). La interacción día x producto indica que el efecto del tiempo sobre el pH depende de la formulación. Las diferencias significativas entre los lotes muy posiblemente se presentaron por la artesanía del proceso de elaboración adoptado.

Al observar el comportamiento del pH del dulce de leche (Figura 1), es posible afirmar que, en general, ya sea al día 1 o al día 60 de almacenamiento, este disminuyó al aumentar el porcentaje de leche de cabra en

Cuadro 3. Medias de las mediciones instrumentales para las diferentes formulaciones de dulce de leche según la sustitución de leche bovina por leche de cabra en los días 1 y 60 del almacenamiento. San José, Costa Rica. 2011.

Parámetros	Porcentaje de sustitución (1 día)					Porcentaje de sustitución (60 días)				
	0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%
pH	6,7	6,6	6,5	6,5	6,5	6,6	6,3	6,3	6,3	6,3
°Brix	65,8	67,3	75,2	71,0	75,2	66,9	69,7	76,4	72,1	77,2
Dureza (N)	5,5	2,3	1,9	0,9	2,0	5,9	2,4	2,3	1,1	2,1
Adhesividad (N)	-4,18	-1,5	-1,5	-0,3	-1,7	-4,5	-1,6	-2,1	-0,4	-1,7
Elasticidad (mm)	28,6	18,9	19,8	13,7	20,8	28,0	19,3	21,8	15,1	21,6
Consistencia (Ns)	5,0	2,1	1,7	1,0	2,6	5,3	2,2	2,2	1,3	3,2
Índice de viscosidad (Ns)	-2,7	-0,9	-1,0	-0,3	-1,6	-2,9	-1,0	-1,3	-0,4	-1,9
L*	55,4	54,7	51,9	55,0	55,1	50,3	53,7	50,1	55,0	53,7
a*	10,2	9,2	11,4	11,0	11,42	11,0	11,6	12,4	12,0	12,48
b*	25,5	26,5	30,2	30,0	33,0	26,0	28,3	31,1	31,4	34,2
c*	27,5	28,1	32,3	32,0	35,0	28,2	30,5	33,5	33,7	35,0
h*	68,3	70,8	69,3	70,0	70,9	67,1	68,8	68,4	69,1	70,0

Cuadro 4. Probabilidades asociadas al análisis de varianza del pH en dulce de leche. San José, Costa Rica. 2011.

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada
Tiempo (T)	1	<0,0001*
Producto (P)	4	<0,0001*
T*P	4	0,0472*
Lote	4	<0,0001*

*Diferencia significativa para una $p < 0,05$.

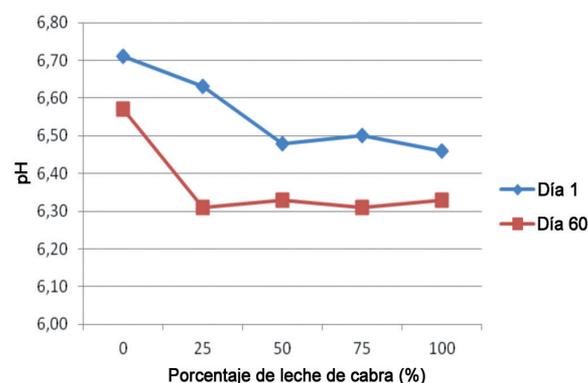


Figura 1. Comportamiento del pH exhibido por las diferentes formulaciones experimentales de dulce de leche para 1 y 60 días de almacenamiento. San José, Costa Rica. 2011.

la formulación. Con base en los resultados del análisis inicial de la acidez de la leche, no es posible atribuir un efecto de la misma en este comportamiento, al ser los contenidos de ácido láctico muy similares en la leche anteriormente al inicio de la manufactura. Además, el pH de las diferentes formulaciones disminuyó con el tiempo. La existencia de una interacción día x producto se refleja en que, durante el almacenamiento, el pH disminuyó menos en la formulación que no tenía leche de cabra y esta disminución fue mayor en el dulce de leche con una sustitución del 25% de leche de cabra.

La diferencia de pH entre las formulaciones (Cuadro 3), es atribuible a los procesos que durante el calentamiento sufren las proteínas lácteas. La desnaturalización que se produce tiende a provocar cambios conformacionales en la proteínas que ahora

exponen muchos de los grupos ácidos asociados a sus aminoácidos conformantes, provocándose un descenso del pH por exposición de estos grupos funcionales ácidos, lo cual se intensifica al aumentar la temperatura del proceso y el tiempo posterior de almacenamiento (Walstra y Jenness 1987). Diferencias en la constitución y reacción al efecto térmico entre la proteína caprina y la bovina pueden explicar las diferentes tasas de acidificación observadas, lo cual se evidencia aún más al considerar la mayor inestabilidad térmica de las proteínas de la leche caprina (Chacón 2005). Además, por el tipo de grasa que la leche de cabra posee, tiene una mayor tendencia a la rancidez hidrolítica y esto afecta el pH del dulce de leche, orientándolo hacia valores más bajos.

El pH de los productos disminuyó durante el periodo de tiempo evaluado debido a que durante el almacenamiento del dulce de leche en envases plásticos, e inclusive de vidrio, el agua libre se continúa evaporando; esto genera que el ácido láctico se vaya concentrando en la fase acuosa, por lo que la acidez aumenta progresivamente (Roca 2011).

Los datos obtenidos de pH del dulce de leche elaborados con leche de cabra, a pesar de que presentan valores ligeramente más bajos que los de vaca, aún durante el almacenamiento se mantienen dentro del rango establecido como aceptable para un dulce de leche de 6,0-7,0 (Rovedo *et al.* 1991). Por lo tanto, se comprueba que la leche de cabra funciona adecuadamente para la elaboración de dulce de leche con respecto al pH, ya sea que se utilice al 100% o en sustituciones parciales.

A lo anterior contribuyen varios factores. Primeramente, se encontró que la leche de cabra sometida a un buen manejo postordeño se logra mantener en el rango de acidez recomendada para su procesamiento industrial (<0,18% de ácido láctico), lo que, controla la aparición de un defecto común en la leche, como lo es la grumosidad causada por la precipitación de la caseína que alcanza su punto isoeléctrico ante una acidez inicial elevada (Henderson y Cortés 2001). Por otro lado, el pH del dulce de leche se controla por la adición de bicarbonato de sodio con el fin de promover el desarrollo del color caramelo característico, a través de la reacción de Maillard (U.S. Dairy Export Council 2005).

El pH del dulce de leche no solo se controla porque las reacciones de Maillard son retardadas por el

descenso del pH, sino que también, porque si la acidez no se controla y aumenta progresivamente por la concentración de ácido láctico durante la preparación del producto, culminará en la aparición de sinéresis (el dulce se corta), debido a la coagulación de las proteínas (U.S. Dairy Export Council 2005, Roca 2011).

Medición de grados Brix

Para los grados Brix existen diferencias significativas entre los productos, los lotes y los días de almacenamiento (Cuadro 5). Esto implica que los productos son diferentes entre sí, debido a las leches utilizadas; además, el valor de grados Brix cambia durante el almacenamiento; sin embargo, se observa que el efecto del tiempo sobre los sólidos solubles del dulce de leche no dependen de la formulación, debido a que no existe interacción significativa entre día*producto.

Los grados Brix son un factor determinante en la textura del dulce de leche. A mayor valor, más espeso será. El dulce de leche normalmente posee valores de grados Brix entre 65 y 70 (Henderson y Cortés 2001, Zunino 2008). Según lo anterior, los resultados obtenidos (Cuadro 5), no difieren sustancialmente de los valores normales, a pesar de la semi artesanalidad con la que fueron preparados.

Cuadro 5. Probabilidades asociadas al análisis de varianza de los grados Brix en dulce de leche. San José, Costa Rica. 2011.

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada
Tiempo (T)	1	<0,0001
Producto (P)	4	0,0465
T x P	4	0,7704
Lote	4	<0,0001

Diferencia significativa para una $p < 0,05$.

Mientras mayor es el contenido de leche de cabra en el dulce de leche, mayor es el valor de grados Brix que debe alcanzar la muestra para tener una textura adecuada, y para que el producto tenga la apariencia característica del dulce de leche (Cuadro 6). Se observa que todas las formulaciones presentan diferencias significativas, a excepción de las formulaciones 50% y

Cuadro 6. Media de los valores para los grados Brix entre los días 1 y 60 de almacenaje, de las diferentes formulaciones experimentales de dulce de leche. San José, Costa Rica. 2011.

Porcentaje de leche de cabra (%)	° Brix
0	65,27d
25	66,67c
50	72,04a
75	69,61b
100	72,44a

Promedios con letra diferente presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

100% leche de cabra, las cuales presentan los valores más altos de grados Brix. Es importante resaltar que, para lograr obtener la textura deseada en un dulce de leche elaborado con leche de cabra, los valores de grados Brix sobrepasaron lo estipulado en la literatura.

Esta situación se ha presentado con productos lácteos como el yogurt y el queso (Corrales 2004, Rojas 2005), además del dulce de leche, en donde al utilizar leche de cabra se dificulta la obtención de texturas adecuadas. La naturaleza de la fracción proteica de la leche caprina puede estar probablemente involucrada en dicho fenómeno. Según Rojas (2005), gracias al pequeño tamaño de las micelas de caseína caprinas, se da un aumento en la densidad de la red proteica, lo que trae consigo poros de menor tamaño y habilidad de retener agua mucho más fuerte que en otros tipos de leche. Por esta razón, es probable que en el dulce de leche de cabra se dificulte más la evaporación del agua y requiera un valor de sólidos solubles mayor para alcanzar la textura adecuada. Por otro lado, la α_s - caseína, componente mayoritario de la fracción proteica de la leche bovina (50%), forma mejores coágulos y ofrece mayor simetría y, por lo tanto, la textura de los productos lácteos obtenidos con leche de vaca es mejor y más constante; mientras que en la β - caseína, mayoritaria en la leche caprina (79%) existe más impedimento estérico, dificultándose más que esta se acople (Walstra y Jenness 1987, Schlimme y Buchheim 2002, Chacón 2005). El tamaño más pequeño de los glóbulos grasos de la leche de cabra podría adicionalmente dificultar la formación de geles,

requiriéndose mayores grados Brix para obtener una textura adecuada.

Los grados Brix promedio al día 60 (69,5°) resultaron superiores a los del día 1 (68,9°). Esto se debe a la evaporación del agua del dulce de leche durante su almacenamiento, tal como se comentó anteriormente, la cual provoca una concentración de los sólidos del producto y un aumento del valor de los grados Brix.

El análisis de los grados Brix del dulce de leche en la etapa de almacenamiento ayuda a determinar qué tan estable será el producto durante su vida útil (Roca 2011). Si los grados Brix aumentan rápidamente, esto se debe a que el producto está perdiendo agua a una gran velocidad debido a su estructura y composición y llegará un momento en que el equilibrio entre la solubilidad de la sacarosa y la humedad del producto se rompa, provocando la aparición de cristales perceptibles al paladar, lo que es considerado un defecto grave de la textura del producto.

Como en promedio las diferentes formulaciones de dulce de leche tuvieron un aumento de menos de un grado Brix durante los dos meses de estudio, se puede afirmar, según los parámetros establecidos por Roca (2011), que todos los productos son altamente estables desde el punto de vista del control de la cristalización.

Evaluación del color

Con el objetivo de analizar el efecto que tiene la leche de cabra sobre las variables de color (L^* , a^* , b^* , c^* y h^*) determinadas para las diferentes formulaciones experimentales en los dos momentos de medición, se efectuó un análisis de varianza (Cuadro 7).

Para todas las variables, se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en cuanto a día, producto y lote (repetición). Es decir, la leche de cabra produce un efecto en el color, y en los dulces de leche preparados existe un color diferente entre el día 1 y el día 60 de almacenamiento. Sin dejar de considerar que para una misma formulación, existieron diferencias en los distintos lotes que, si bien son significativas, son estrechas, como se verá más adelante.

La variable L^* establece la relación en el espacio polar entre los extremos de blanco (100) y negro (0) (Hunterlab 1996). En el Cuadro 8 se observa que las formulaciones 0%, 50% y 100% de leche de cabra son más oscuras y no difieren significativamente entre sí, mientras que las proporciones de 25% y 75% de leche de cabra son estadísticamente diferentes y más claras que las formulaciones anteriormente mencionadas. El valor de L^* se encuentra en la mitad de la escala entre blanco y negro existiendo escasa diferencia entre las formulaciones, que, por lo tanto, presentan una luminosidad intermedia. El color del dulce de leche es más oscuro cuanto menor es la acidez de la mezcla inicial y mayor es el contenido de sólidos solubles del producto final (Pauletti *et al.* 1996). En promedio, la acidez de la leche de cabra fue de 0,17% y la de vaca fue de 0,18%; mientras que los sólidos solubles de los productos con 0% y 100% de leche de cabra fueron 65,27 y 72,44, respectivamente. Lo anterior concuerda con lo establecido en la teoría, porque los dulces de leche parcialmente sustituidos con leche de cabra son más oscuros y presentan un contenido de sólidos mayor, y la leche con la que fueron elaborados tenían menor acidez. Con respecto al almacenamiento, se encontró

Cuadro 7. Probabilidades asociadas al análisis de varianza de las diferentes variables de color en dulce de leche según la sustitución de leche bovina por leche de cabra. San José, Costa Rica. 2011.

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada (variables de color)				
		L^*	a^*	b^*	c^*	h^*
Tiempo (T)	1	0,0148	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0054
Producto (P)	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T x P	4	0,4316	0,4061	0,1980	0,2085	0,2744
Lote	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Diferencia significativa para una $p < 0,05$.

que el valor de L* al día 1 (54,87) fue mayor que al día 60 (53,99), por lo que el producto tiende a oscurecerse debido a que durante el almacenamiento se siguen produciendo los pigmentos producto de la reacción de Maillard (Miranda *et al.* 2007).

Los valores de a* indican la presencia de coloraciones rojizas (Brenes 2010). No se observó una relación definida entre coloración rojiza y porcentaje de leche de cabra; sin embargo, aparentemente, conforme aumentó el porcentaje de leche de cabra, se incrementó ligeramente este parámetro. En este caso, la mayoría de las formulaciones son estadísticamente diferentes entre sí (Cuadro 8), sin que esto tenga un impacto técnico relevante. El color rojizo característico del dulce de leche se produce porque los grupos aldehído de la lactosa, y de otros hidratos de carbono minoritarios de la leche, reaccionan con los grupos amino de las proteínas lácteas y otros aminoácidos libres durante el tratamiento térmico (Schlimme y Buchheim 2002). Además, un factor determinante en la producción de esta reacción es el efecto del tiempo de proceso (aproximadamente 2-2,5 horas). Los valores de a* presentaron un ligero aumento del día 1 (9,86) con respecto al día 60 de almacenamiento (10,71), provocando una coloración más rojiza en el dulce de leche por efecto del pardeamiento no enzimático debido a la reacción de Maillard, la cual sigue ocurriendo durante el almacenamiento (Miranda *et al.* 2007), como se mencionó anteriormente.

Los valores positivos de la variable b* indican coloraciones amarillas y los negativos coloraciones azules, mientras que la variable c* indica qué tan saturado o “fuerte” es el color en general (Hunterlab

2002). Para ambas variables se observa la misma tendencia; entre mayor es el porcentaje de leche de cabra, mayor es el valor; esto quiere decir que el dulce de leche tiende a ser más amarillo y que el color resulta más saturado. Existieron diferencias significativas para estas variables entre todas las formulaciones, excepto entre las de 50 y 75% cabra (Cuadro 8). La variable b* aumentó durante el almacenamiento (28,55 al día 1 y 29,60 al día 60), lo que significa un color más amarillo. De igual manera se presentó una saturación del color indicado por la variable c*, que con el tiempo aumentó (30,25 al día 1 y 31,53 al día 60 de almacenamiento).

El parámetro h*, conocido como matiz o tono, es la sensación visual según la cual una región se asemeja a un color definido por el tono, el cual es el ángulo de giro con respecto a los valores a* y b* (Nollet 2004). Un ángulo de 90°C representa un color amarillo y una disminución de este valor representa colores más rojos (Clydesdale 1976). En este caso los valores se encuentran entre 68 y 73, por lo que el dulce de leche tiende a ser más amarillo que rojo en todas las proporciones estudiadas. Sin embargo, se observa que los dulces de leche con 0% y 100% de leche de cabra son más rojizos, mientras que las mezclas presentan coloraciones más amarillas. En la prueba de comparación de medias se obtuvieron diferencias significativas en el matiz entre algunas formulaciones pero no entre todas (Cuadro 8). Se observó que las formulaciones extremas (0% y 100% de leche de cabra) no son distintas entre sí, pero esta última no presenta diferencias con la de 50% de leche de cabra, mientras que la de 0% de cabra sí. De igual manera, el dulce

Cuadro 8. Promedios de variables de color del dulce de leche según la sustitución de leche bovina por leche de cabra, entre el día 1 y 60 de almacenamiento y resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey*. San José, Costa Rica. 2011.

Porcentaje leche de cabra (%)	Variables de color				
	L*	a*	b*	c*	h*
0	52,81b	9,91c	25,65d	27,52d	68,94d
25	56,81a	8,78d	27,38c	28,83c	72,34a
50	53,49b	10,65b	29,93b	31,82b	70,53bc
75	56,10a	10,06bc	30,29b	31,99b	71,78ab
100	52,94b	12,02a	32,11a	34,31a	69,42cd

Promedios con letra diferente en una misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

de leche con un 50% de leche de cabra no presenta diferencias con aquel con 75% de leche de cabra, pero sí con todas las demás formulaciones. Esto indica que existen diferencias poco significativas en el tono del dulce de leche debido a la variación en el contenido de leche de cabra. Con respecto al tiempo, se observó una ligera disminución, pero significativa, de esta variable del día 1 (71,02) al día 60 (70,18), presentándose, en consecuencia, coloraciones menos amarillas conforme transcurre el almacenamiento del producto.

En términos generales, existe una tendencia en el dulce de leche a hacerse más oscuro y más amarillo conforme aumentan el porcentaje de leche de cabra y la duración del almacenamiento. Los cambios significativos en las variables de color se deben a que la reacción de Maillard se produce tanto durante el procesamiento como en el almacenamiento, especialmente a temperaturas altas (Ruiz 2009).

Evaluación de la textura

El análisis textural de las distintas formulaciones de dulce de leche se realizó por medio de una prueba de compresión en el propio envase de los productos. Del gráfico de compresión obtenido (Figura 2), se calcularon cinco parámetros: dureza (pico máximo), adhesividad (pico mínimo), consistencia (área de la curva positiva), índice de viscosidad (área de la curva negativa) y elasticidad (tiempo que tarda en despegarse de la celda de compresión).

Para todas las variables de textura determinadas en las cinco formulaciones de dulce de leche en los

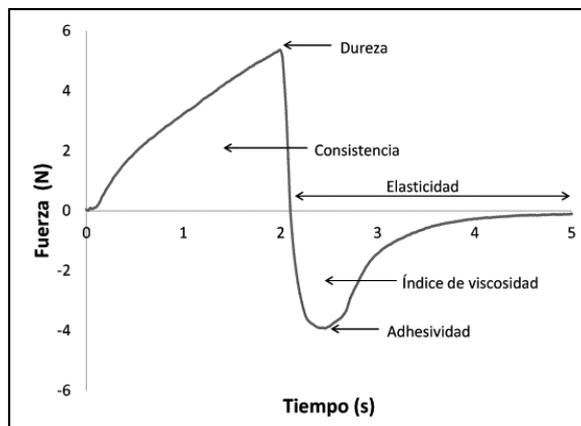


Figura 2. Curva de compresión característica del dulce de leche con indicación de los parámetros texturales asociados. San José, Costa Rica. 2011.

dos tiempos de almacenaje, se realizó un análisis de varianza (Cuadro 9), donde se hallaron, en todos los casos, diferencias significativas en cuanto al tiempo de almacenaje, el tipo de formulación y el lote.

En cuanto a los parámetros de dureza, adhesividad, consistencia e índice de viscosidad del producto, las formulaciones de 25% y 50% de leche de cabra no presentaron diferencias significativas entre sí, siendo todas las demás formulaciones diferentes entre sí (Cuadro 10). La elasticidad presenta valores más variables, registrándose diferencias significativas para todas las formulaciones con distintas proporciones de leche de cabra (Cuadro 10).

Cuadro 9. Probabilidades asociadas al análisis de varianza para la evaluación de los parámetros de textura del dulce de leche obtenido de sustitución de leche bovina por leche de cabra. San José, Costa Rica. 2011.

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada				
		Dureza	Adhesividad	Elasticidad	Consistencia	Índice de viscosidad
Tiempo (T)	1	0,0069	0,0073	0,0022	<0,0001	<0,0001
Producto (P)	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0185	0,0063
T x P	4	0,8310	0,7488	0,4870	0,8682	0,9282
Lote	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Diferencia significativa para una $p < 0,05$.

Cuadro 10. Promedios de los valores entre el día uno y sesenta de almacenamiento para los parámetros de textura, dureza, adhesividad y elasticidad del dulce de leche, según las diferentes formulaciones de sustitución de leche bovina por leche de cabra, y resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey. San José, Costa Rica. 2011.

Porcentaje leche de cabra (%)	Parámetro				
	Dureza (N)	Adhesividad (N)	Elasticidad (mm)	Consistencia (Ns)	Índice de vis- cosidad (Ns)
0	4,57a	-3,33a	29,58a	5,18 a	-2,83 a
25	1,72c	-1,00c	15,55d	2,13 c	-0,95 c
50	1,65c	-1,20c	19,09c	1,95 c	-1,10 c
75	0,92d	-0,28d	12,179e	1,15 d	-0,36 d
100	2,47b	-1,85b	24,329b	2,90 b	-1,72 b

Promedios con letra diferente en una misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las formulaciones extremas (0% y 100% leche de cabra) resultaron ser las más duras, adhesivas, elásticas, consistentes y con mayor índice de viscosidad. Podría, en este sentido, existir una interacción entre las proteínas de leche de cabra y leche de vaca que disminuye la consistencia del producto. Además, a medida que aumenta la proporción de leche caprina, en las formulaciones intermedias, el producto se torna cada vez menos duro, adhesivo, elástico, consistente y con menor índice de viscosidad (Cuadro 10).

Es factible que las proteínas del suero y las caseínas trabajen sinérgicamente en condiciones de altas temperaturas para cambiar la textura, de igual manera que ellas contribuyen a la retención y distribución del agua en el producto. Las proteínas del suero se desnaturalizan con altas temperaturas mientras que las caseínas son menos sensibles al calor. A 75°C, las proteínas del suero se desnaturalizan y se asocian con las micelas de caseína por medio de enlaces covalentes y no covalentes (Atapattu 1997). Por lo tanto, es probable que la textura de los dulces de leche preparados con mezclas de leche de cabra y vaca presenten diferencias en algún grado, debidas a las diferencias de su composición proteica antes discutidas. La mayor concentración de minerales y la menor hidratación de la micela de la leche de cabra le confieren una débil estabilidad térmica (Luquet *et al.* 1991). Además, al ser estas proteínas menos estables precipitan con mayor facilidad y, por lo tanto, se dificulta la formación de una textura firme en los productos lácteos, tal y como

se observó en el dulce de leche 100% de cabra con respecto al 100% leche de vaca.

Dado que, según el Cuadro 10, todas las variables de textura evaluadas en el dulce de leche aparentan estar relacionadas entre sí, se evaluaron los coeficientes de correlación entre ellas (Cuadro 11), presentándose excelentes coeficientes de correlación en todos los casos, excepto para las relaciones de la elasticidad con la dureza y con la consistencia, que presentaron valores inferiores a 0,9, pero que, aun así, se puede considerar que tienen una aceptable correlación. De manera que, una sola de estas variables de textura, por ejemplo, la dureza, podría considerarse un buen predictor de todas las demás y utilizarse como parámetro de control de calidad; siendo, entonces, que en el dulce de leche, preparado bajo las condiciones explicadas en este estudio, al aumentar la dureza, aumentan al mismo tiempo la adhesividad, la consistencia, el índice de viscosidad y también la elasticidad. Por otra parte, Valencia y Millán (2009) establecieron, a través de un análisis multivariado, que las variables de textura que mejor representan este tipo de productos son la dureza, la adhesividad y la elasticidad.

La textura del dulce de leche es una de las características de calidad más importantes que debe controlarse, ya que defectos en esta, por lo general, llevan a rechazos del producto por parte de los consumidores (Pauletti *et al.* 1992). Por lo tanto, se debe prestar atención a la hora de producir dulce de leche con mezclas de leches de vaca y de cabra. En este caso,

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre los parámetros texturales del dulce de leche. San José, Costa Rica. 2011.

	Dureza	Adhesividad	Consistencia	Índice de viscosidad	Elasticidad
Dureza	1				
Adhesividad	-0,985	1			
Consistencia	0,991	-0,978	1		
Índice de viscosidad	-0,980	0,990	-0,985	1	
Elasticidad	0,888	-0,904	0,894	-0,935	1

hay que recordar que la textura del dulce de leche está ligada directamente a los grados Brix, variable que se puede controlar en el proceso de elaboración.

Luego de 60 días de almacenamiento, las diferentes formulaciones de dulce de leche se tornaron más duras, adhesivas, elásticas, consistentes y con mayor índice de viscosidad (Cuadro 12). Esto se presenta porque, como se explicó anteriormente, con el tiempo continúa la pérdida de agua del producto por evaporación, lo que conlleva a un aumento en la concentración de sólidos y, por ende, en la viscosidad (Roca 2011), que, como también se señaló, está íntimamente ligada a las demás variables texturales del dulce de leche. Así como el aumento de los grados Brix de los dulces de leche durante el almacenamiento resultó mínimo, de igual manera, su efecto en las variables de textura, también fue reducido, y, al no presentarse cristalización, se comprueba la alta estabilidad física de los productos obtenidos.

En el estudio de Valencia y Millán (2009) también se observó un aumento de la dureza y la adhesividad, y un comportamiento variable de la elasticidad durante el almacenamiento de un dulce de leche bajo en calorías, en tanto que, en el estudio de García (1999),

al aumentar la concentración final de sólidos de un producto similar al dulce de leche, la dureza aumentó pero la adhesividad disminuyó. Esto demuestra cómo el método de preparación y los ingredientes utilizados tienen una gran influencia en las propiedades texturales del dulce de leche.

Evaluación sensorial del dulce de leche

Luego de obtener los datos del panel sensorial, se procedió a realizar un análisis de conglomerados con las evaluaciones de agrado. Si en una población de estudio existen conglomerados (consumidores que se agrupan de acuerdo con diferentes características), es posible que los promedios generales no sean representativos de ninguno de los grupos; por lo que se estaría tomando un valor de aceptación que no corresponde con ninguno de ellos (Murillo 2008).

Se encontraron dos conglomerados, en donde el 63% de los panelistas corresponde al conglomerado 1 y el 37% al 2; por lo tanto, se le dará más relevancia a los resultados obtenidos en el conglomerado 1 por comprender las preferencias de la mayoría de los panelistas.

Cuadro 12. Variables de textura promedio de las diferentes formulaciones de dulce de leche mediante la sustitución de leche bovina por leche de cabra para dos tiempos de almacenamiento. San José, Costa Rica. 2011.

Tiempo (días)	Dureza (N)	Adhesividad (N)	Elasticidad (mm)	Consistencia (Ns)	Índice de viscosidad (Ns)
1	2,10	-1,39	19,1	2,50	-1,28
60	2,41	-1,66	21,1	2,82	-1,50

Se destaca que existen diferencias significativas entre conglomerados, y entre los productos y además se presentó una interacción conglomerado x producto (Cuadro 13). Esto quiere decir que el agrado por las muestras es diferente estadísticamente, tanto entre los conglomerados como entre las distintas formulaciones de dulce de leche evaluadas y, además, como existe interacción, cada conglomerado tiene un comportamiento diferente con respecto a la valoración del agrado de las distintas formulaciones. Los jueces no resultaron significativos, lo que indica que sus preferencias, dentro de los conglomerados, son similares.

En términos generales, se observó que, para la mayoría de las muestras, se tiene un agrado bastante aceptable (valores mayores a 6); únicamente el dulce de leche elaborado con 75% de leche de cabra obtuvo una calificación entre 3 y 4 por parte del conglomerado 2 (Figura 3). Este rechazo aparente se podría explicar por sus propiedades de viscosidad baja antes descritas, y convierte a esta formulación en la de menores posibilidades técnicas para un eventual desarrollo.

De igual manera, se obtuvo para el dulce de leche comercial un agrado elevado, posiblemente porque es típico del mercado y los consumidores están acostumbrados a su sabor, textura y olor (Aguilar e Ivancovich 1996). Sin embargo, cabe destacar que los dulces de

Cuadro 13. Probabilidades asociadas al análisis de varianza para la evaluación sensorial de agrado de dulce de leche procedente de la sustitución de leche bovina por leche de cabra. San José, Costa Rica. 2011.

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada
Conglomerado (C)	1	<0,0001
Juez	82	0,0552
Producto (P)	5	<0,0001
C x P	5	<0,0001

Diferencia significativa para una $p < 0,05$.

leche elaborados con leche de cabra, a excepción de la formulación con 75% leche de cabra, podrían ser competitivos en el mercado debido al valor de agrado obtenido en el panel sensorial, que estaría en capacidad de rivalizar con el agrado evidenciado por el producto comercial evaluado.

El conglomerado 1 presenta mayores valores de agrado en comparación con el conglomerado 2 para todas las muestras, a excepción del dulce de leche comercial. Además, el conglomerado 1

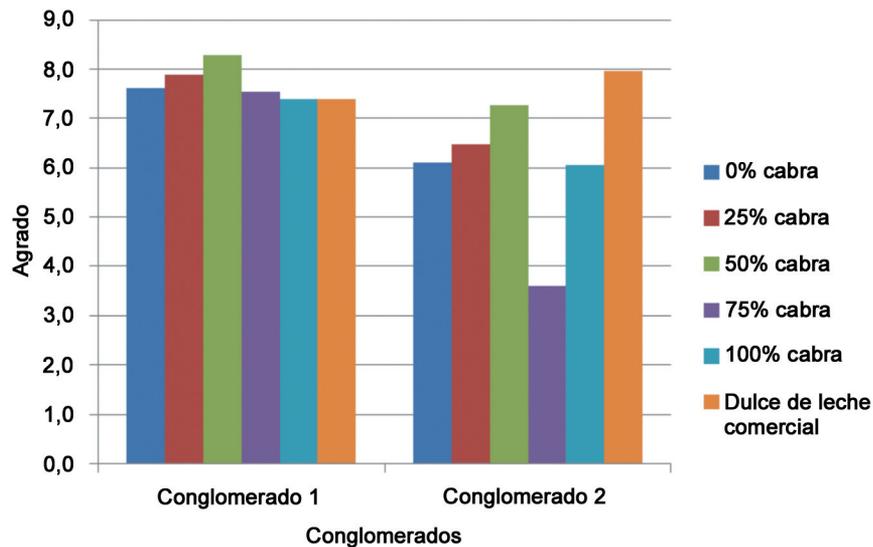


Figura 3. Agrado de los dos conglomerados de consumidores por las diferentes formulaciones de dulce de leche obtenidos con base en la sustitución de leche bovina por leche de cabra. San José, Costa Rica. 2011.

presenta un agrado bastante semejante para todas las muestras, cuyos valores se encuentran entre 7 y 8,5, aproximadamente. Este grupo tiene un agrado ligeramente mayor por la muestra 50% cabra.

Para el conglomerado 2, el agrado por las muestras presenta variaciones más grandes (valores entre 3 y 8). Se aprecia que este grupo tiene un marcado agrado por la muestra del producto comercial y el de 50% cabra, mientras que le desagrada bastante el dulce de leche que posee en su formulación 75% cabra, el cual tiene un agrado promedio de 3,6. Para las muestras de 0%, 25% y 100% de cabra, los valores fueron aceptables, entre 6 y 7.

En general, contemplando las formulaciones que poseen leche de cabra, la de 50% fue la que más agradó a ambos conglomerados; sin embargo, en comparación con la de 0%, las de 25 y 100% también poseen valores bastante aceptables de agrado. Por lo tanto, si se considera solo la evaluación sensorial, estos tres productos que contienen leche de cabra poseen un potencial bastante elevado de comercialización en el mercado costarricense, ya que su agrado es semejante al dulce de leche habitualmente disponible en el país.

A los panelistas también se le hicieron preguntas sobre el consumo de leche de cabra y dulce de leche. En general, un 94% de los participantes no consumían leche de cabra, principalmente por razones de sabor y poca disponibilidad. El 6% de los participantes, que sí consumen leche de cabra, se encuentran distribuidos en proporciones similares en ambos conglomerados. No se investigó el por qué del consumo o no de esta leche; sin embargo, estos resultados coinciden con Vargas *et al.* (2007), quienes hallaron que un muy bajo porcentaje de estudiantes universitarios consumía leche de cabra. Al analizar los resultados de los conglomerados y relacionarlos con las características de los panelistas, se puede afirmar que, aunque la mayoría de ellos no consumían leche de cabra, esta no fue razón importante para que no les agradara el producto, como se observa principalmente en el conglomerado 1, en donde el agrado es muy semejante para todas las muestras de dulce de leche. Se podría predecir una buena posición del producto en el mercado costarricense y de esta manera se aprovecharía la producción de leche de cabra para la fabricación de este tipo de producto, de acuerdo con lo obtenido en el análisis sensorial.

En cuanto a la frecuencia de consumo de dulce de leche, esta no está muy establecida pues hubo una amplia distribución; sin embargo, se pudo conocer que el dulce de leche no es un producto de consumo muy frecuente; apenas un 10,7% lo consume una vez a la semana, casi el mismo porcentaje que casi nunca lo consume (7,1%). Aproximadamente el 50% lo consume entre una vez por semana y una vez por mes, en general, esto en ambos conglomerados. Sin embargo, se observa que en el conglomerado 2 se ubicaron los panelistas que consumieron de manera más frecuente el dulce de leche, más de una vez por semana (12,9%), lo cual explica que este posea un agrado mayor por el dulce de leche comercial.

Consideraciones finales

La artesanidad en la elaboración del dulce de leche es capaz de generar productos de una adecuada aceptación y características sensoriales, más allá de la variabilidad normal esperada para este tipo de situaciones.

Es en el apartado de la textura general en el que tiene una mayor incidencia el grado de sustitución con leche caprina sobre las características usuales de un producto comercial, por lo cual es el punto de mayor interés en la industrialización subsecuente de productos híbridos. La incorporación de leche de cabra al dulce de leche invita a la adopción de estrategias orientadas al manejo de la textura, especialmente a medida que se incrementa el grado de sustitución.

De acuerdo con lo expuesto en este documento, es posible afirmar que las diferentes formulaciones evaluadas cumplen con las características teóricas de un dulce de leche, además de que cuentan con una buena aceptación por un segmento apreciable de la población, con la excepción de una sustitución al 75% que presenta una disminución en las variables de textura características del dulce de leche producido con leche de vaca. La incorporación de leche de cabra, que suele ser causa de baja aceptación en otros productos, no parece tener un impacto negativo en el dulce de leche, dadas las apreciaciones sensoriales obtenidas, siendo una combinación del 50:50 una posibilidad industrial interesante de evaluar según los hallazgos. Investigaciones a escala industrial en este sentido son recomendables para arrojar más luces a este respecto.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Núcleo de Industria Alimentaria del Instituto Nacional de Aprendizaje, especialmente al señor Gerardo Vásquez, por el apoyo técnico y material para la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, F; Ivancovich, C. 1996. Investigaciones de mercado para la calidad. Alma Mater. San José, Costa Rica. 140 p.
- Ares, G; Giménez, A. 2008. Influence of temperature on accelerated lactose crystallization in dulce de leche. *International Journal of Dairy Technology* 61(3):277-283.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 1990. *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry*. 15 ed. Arlington, USA. 1230 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 1999. *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry*. 16 ed. Washington, USA. 1141 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2000. *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry*. 17 ed. Gaithersburg, USA. 2200 p.
- Atapattu, C. 1997. Milk protein functionality in caramel processing. Thesis presented to the degree of Doctor of Philosophy. University of Guelph. Ottawa, Canadá. 195 p.
- Bateman, V. 1970. *Nutrición animal: manual de métodos analíticos*. Herrero Hermanos. México. 468 p.
- Boschini, C; Elizondo, J. 2004. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. *Agronomía Mesoamericana* 15(1):31-37.
- Bratcher, T; Moran, M; Zimmer, W. 1970. Tables of sample sizes in the analysis of variance. *Journal of Quality Technology* 2:156-164.
- Brenes, M. 2010. Aplicación de tratamiento enzimático para el aprovechamiento del pejibaye (*Bactris gasipaes*) en la obtención de un puré con alto contenido de compuestos bioactivos y su evaluación de aceptación en el mercado. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 101 p.
- Casals, C; De Hombre, R. 1995. Características reológicas del dulce de leche (Bufito). *Ciencia de Tecnología de Alimentos* 5:62-67.
- Chacón, A. 2004. Acidez y peso específico de la leche de cabra de un grupo de caprinocultores de la Meseta Central Costarricense. *Agronomía Mesoamericana* 15(2):179-183.
- Chacón, A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 16(2):239-252.
- Chacón, A; Araya, Y; Gamboa, M. 2008. Percepciones y hábitos de consumo de la leche de cabra y sus derivados en los costarricenses. *Agronomía Mesoamericana* 19(2):241-250.
- Clydesdale, F. 1976. Instrumental techniques for color measurement of foods. *Food Technology* 30(10):52-55.
- Corrales, J. 2004. Elaboración de un queso fresco a partir de leche de cabra adaptado a las condiciones técnicas de la Asociación de Criadores de Cabras (ACCC) y al gusto del consumidor nacional. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 78 p.
- Corrales, J; Chacón, A. 2005. Estudio de opinión de consumidores sobre el queso fresco de cabra (*Capra hircus*) en Costa Rica. *Revista de Agricultura Tropical* 35:39-49.
- Díaz, C. 2004. Caracterización de la agroindustria láctea en Turrialba. Costa Rica. *Revista de Agricultura Tropical* 34:27-39.
- Dorantes, L; García, M; Arana, R. 1998. La cajeta o dulce de leche. *Boletín de Divulgación de los Grupos Mexicanos* 3:9-12.
- García, R. 1999. Evaluación de las características de textura y color en cajeta de leche de vaca. Tesis Ing. Agroindustrial. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 82 p.
- Haenlein, GFW. 2002. Milk and meat products (en línea). Consultado 31 oct. 2004. Disponible en http://goatconnection.com/articles/publish/article_73.shtml
- Henderson, M; Cortes, M. 2001. Ficha técnica dulce de leche. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 11 p.
- Hentges, D; Teixeira Da Silva, D; Alves Dias, P; Cássia Dos Santos Da Conceição, R; Nunes-Zonta, M; Dias-Timm, C. 2010. Pathogenic microorganism survival in dulce de leche. *Food Control* 21(1):1291-1293.

- Hunterlab. 1996. CIE L*a*b color scale. Application Notes 8(7):1-4.
- Hunterlab. 2002. Universal software versions 4.10 and above user's manual. Manual version 2.5. Hunter Associates Laboratory, Inc., Virginia, USA. p. 25.2.
- INA (Instituto Nacional de Aprendizaje). 2001. Tecnología de elaboración de dulce de leche. Manual de apoyo al instructor. San José, Costa Rica. 38 p.
- Kirk, R; Egan, H; Sawyer, R. 2005. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Ceca, México. 777 p.
- Le Jaquen, JC. 1982. La fabrication du fromage de chèvre fermier. 3 ed. Societé de Presse et d'Édition Ovine et Caprine. Paris, Francia. 209 p.
- Luquet, F; Keilling, J; De Wilde, R. 1991. Leche y productos lácteos: vaca-oveja-cabra. Acribia. Zaragoza, España. 390 p.
- Miranda, G; Ventura, J; Suárez, S; Fuertes, C. 2007. Actividad citotóxica y antioxidante de los productos de la reacción de Maillard de los sistemas modelo D-glucosa-glicina y D-glucosa-L-lisina. Revista de la Sociedad Química del Perú 4:215-225.
- Murillo, L. 2008. Desarrollo y caracterización sensorial y físico-química de un dulce de leche sin grasa y sin azúcar elaborado a nivel de laboratorio. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 120 p.
- Morón, C; Alonso, L; Crovetto, M. 2005. Cambios en la estructura del consumo de alimentos y nutrientes de América Latina 1979-1981 a 1999-2001. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 63 p.
- Nollet, L. 2004. Handbook of food analysis: physical characterization and nutrient analysis. Vol. 1. 2 ed. Marcel Dekker. New York, USA. 912 p.
- Oliszewski, R; Rabasa, A; Fernández, JL; Poli, M; Núñez De Kairúz, M. 2002. Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. Zootecnia Tropical 20(2):179-189.
- Paiva Soares, KM; Marinho De Souza, JL; Alves De Gois, V; Mendes Aroucha, EM; Morais Bezerra, N; Alves Da Silva, JB. 2010. Efeito do enchimento a quente, ausência de "espaço de cabeça" e utilização de sorbato de potássio na estabilidade do doce de leite. Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia 4(4): Art 737.
- Pauletti, MS; Venier, A; Sabbag, N; Stechina, D. 1990. Rheological characterization of dulce de leche, a confectionary dairy product. Journal of Dairy Science 73:601-603.
- Pauletti, M; Calvo, C; Izquierdo, L; Costell, E. 1992. Color y textura del dulce de leche. Selección de métodos instrumentales para el control de calidad industrial. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos 32(3):291-305.
- Pauletti, M; Castelao, E; Sabbag, N; Costa, S. 1995. Velocidad de las reacciones responsables del color de dulce de leche. Food Science and Technology International 1:137-140.
- Pauletti, M; Castelao, E; Bernardi, M. 1996. Influencia de los sólidos solubles, de la acidez y del azúcar sobre el color del dulce de leche. Food Science and Technology International 2:45-49.
- Pinho, O; Mendes, E; Alves, MM; Ferreira, IMPLVO. 2004. Chemical, physical, and sensorial characteristics of "Terrincho" Ewe cheese: changes during ripening and intravarietal comparison. Journal of Dairy Science 87(2):249-257.
- Pinto, M; Villena, J; Jofre, H. 1984. Contribución al estudio de la composición de la leche de cabra Anglo-Nubian. Agro-Sur 12(2):163-173.
- Revilla, A. 1985. Tecnología de la leche. IICA. San José, Costa Rica. 598 p.
- Roca, EP. 2011. Determinación del mejor proceso de elaboración de dulce de leche a partir de la sustitución parcial o total de leche fresca por leche en polvo. Tesis Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 246 p.
- Rojas, W. 2005. Evaluación del efecto de diferentes proporciones de leche de vaca y leche de cabra sobre las características químicas, físicas y sensoriales de un yogurt batido de fresa. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 99 p.
- Rojas, WN; Chacón, A; Pineda, ML. 2007. Características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra. Agronomía Mesoamericana 18(2):221-237.
- Rovedo, C; Viollaz, P; Suarez, C. 1991. The effect of pH and temperature on the rheological behavior of dulce de leche, a typical dairy Argentine. Product Journal Dairy Science 74(5):1497-1502.
- Ruiz, B. 2009. Propiedades antioxidantes de los productos de la reacción de Maillard y su influencia en la

- absorción de hierro y cobre. Relación con la capacidad quelante de los metales. Tesis Ph. D. en Farmacia. Departamento de Fisiología. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. Granada, Nicaragua. 421 p.
- SAS (Statistical Analysis System). 2001. JMP 4.0.4. SAS Institute. Cary, NC, USA. sp.
- SAS (Statistical Analysis System). 2004. SAS ® 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA. sp.
- Schlimme, E; Buchheim, W. 2002. La leche y sus componentes. Propiedades químicas y físicas. Acribia. Zaragoza, España. 121 p.
- Stable Micro Systems. 2007. Getting started guide. TA.XTplus. Texture Analyser/Texture Exponent Software V.4.0.8.0. Vienna, Austria. sp.
- Tacsan, I. 1987. Fabricación de un queso de leche de cabra tipo Crottin adaptado al gusto costarricense. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 83 p.
- U.S. Dairy Export Council. 2005. Reference manual for U.S. whey and lactose products. U.S. Dairy Export Council. Arlington, VA, USA. 226 p.
- USDA Department of Agriculture, Agricultural Research Service; Nutrient Data Laboratory. 2004. USDA National Nutrient Database for Standard Reference (Release 17) (en línea). Consultado 16 nov. 2004. Disponible en <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>
- Valencia G, FE; Millán C, L de J. 2009. Estimación de la vida útil de un arequipe bajo en calorías. Revista La-sallista de Investigación 6(1):9-15.
- Vargas, P; Pineda, ML; Chacón, A. 2007. Lácteos bovinos y percepción de la leche caprina entre estudiantes de la Universidad de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 18(1):27-36.
- Vega, O. 2002. Desempeño de la ganadería de leche y de la industria de la transformación de productos lácteos en Costa Rica 1999-2001. SEPSA, Área de Estudios Económicos e Información. San José, Costa Rica. 32 p.
- Villanueva, N; Petenate, A; Da Silva, M. 2005. Performance of the hybrid hedonic scale as compared to the traditional hedonic, self-adjusting and ranking scales. Food Quality and Preference 16:691-703.
- Walstra, P; Jennes, R. 1987. Química y física lactológica. Acribia. Zaragoza, España. 423 p.
- Zunino, A. 1998. Dulce de leche. Aspectos básicos para su adecuada elaboración. Departamento de Fiscalización de Industrias Lácteas, Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción. Buenos Aires, Argentina. 28 p.

