

## Aptitud tecnológica de leche de cabra enriquecida en ácidos grasos poliinsaturados obtenida en una granja comercial de General Pueyrredón en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

### Technological quality of goat milk enriched in polyunsaturated fatty acids obtained at a farm in General Pueyrredón, Buenos Aires Province, Argentina

#### **Claudia Beatriz Domé**

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina

#### **Lorena Mignino**

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina

#### **Yasmín Carrión Sad**

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina

#### **Sandra Medici**

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

#### **Darío Cabezas**

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); Laboratorio de Investigación en Funcionalidad y Tecnología de Alimentos (LIFTA), Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina

#### **María Alejandra Pereyra\***

Instituto de Innovación para el Desarrollo Agroalimentario y Agroenergético Sostenible (IIDEAGROS). Grupo "Innovación y desarrollo de alimentos regionales". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina

#### **Revista de la Facultad de Agronomía**

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 123, 2024

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 25 octubre 2022

Aprobación: 12 marzo 2024

Publicación: mayo 2024

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e138>

\*Autor de correspondencia: [malperea@mdp.edu.ar](mailto:malperea@mdp.edu.ar)

## **Resumen**

La leche de cabra suplementada con aceites de girasol y pescado presenta un aumento en el porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (LAGPI) respecto a la leche de cabra no suplementada (LC), una disminución en el porcentaje de ácidos grasos saturados y la consecuente baja del índice aterogénico que le otorga mayor valor nutracéutico. El objetivo del trabajo fue caracterizar y comparar las propiedades físico-químicas que determinan la calidad tecnológica para la elaboración de quesos de LAGPI y LC, con énfasis en las proteínas. Ambas leches se obtuvieron en una granja comercial de cabras raza Saanen ubicada en el Sudeste Bonaerense. Una vez confirmados los perfiles de ácidos grasos se analizaron: 1) componentes principales: grasa butirosa (GB), proteína bruta, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales (ST), 2) composición porcentual de la caseína y tamaño de las micelas, 3) tamaño de los glóbulos grasos, 4) composición físico-química: contenido de humedad, densidad, pH y acidez y 5) calidad higiénica (bacterias aeróbicas mesófilas totales). Los contenidos de GB, lactosa y ST fueron significativamente mayores en LAGPI ( $P < 0,05$ ) sin cambios en proteína bruta y caseínas, pero con un aumento significativo ( $P < 0,05$ ) en el porcentaje de  $\alpha$ -S1 ( $P < 0,05$ ) y en el tamaño de las micelas. LAGPI también mostró mayores pH y alcalinidad ( $P < 0,05$ ). Los cambios observados en los parámetros medidos son un indicio de que LAGPI presenta además de un mayor valor nutracéutico que LC, una mejor aptitud tecnológica para la elaboración de quesos.

**Palabras clave:** grasa butirosa, lactosa, sólidos totales, pH y alcalinidad, caseína  $\alpha$ -S1

## **Abstract**

The study reported here was performed at a commercial farm located in Batán city, General Pueyrredón district, Buenos Aires province, Argentina, to analyze the composition (with an emphasis on proteins) and the physicochemical properties of milk obtained from Saanen dairy goats supplemented with a mixture of sunflower and fish (SFO+FO) oils. Milk (PUFAM) obtained from supplemented goats presented a changed fatty acid composition, with augmented polyunsaturated fatty acids % (PUFA), and reduced total saturated fatty acids content with concomitant decrease in the atherogenic index and increase in the nutraceutical value. Control milk (CM) was obtained from non-oil supplemented goats. Milk fat content, a determining factor for the economic value of goat's milk resulted higher ( $P < 0.05$ ) in PUFAM. Total protein and total casein contents were not altered. Instead, PUFAM showed a significant increase ( $P < 0.05$ ) in  $\alpha$ -S1-casein (which has been shown to improve milk coagulation properties) and a high proportion of big micelles (that should improve the gelling properties of milk). Lactose and total solids were also enhanced ( $P < 0.05$ ). The physicochemical properties pH and alkalinity were both higher in PUFAM ( $P < 0.05$ ). These preliminary results showed that milk obtained from SFO+FO supplementation to dairy goats should have enhanced commercial value and aptitude to obtain milk derivatives.

**Key words:** milk fat, lactose, total solids, pH and alkalinity,  $\alpha$ S1-casein

## **INTRODUCCIÓN**

La leche de cabra y sus derivados son alimentos que suscitan mucho interés en los consumidores por sus características nutritivas, su alta digestibilidad y su menor potencial alergénico comparada con la leche vacuna (Clark y Mora García, 2017). Estas características derivan principalmente de la composición proximal y de las propiedades físico-químicas. Es además un alimento funcional con valor nutracéutico, ya que presenta en su grasa, una composición de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), enriquecida en ácidos linoleicos conjugados (conocidos como CLA), y en particular en ácidos grasos bioactivos (como los ácidos ruménico (AR) y vaccénico (AV)), con demostradas propiedades antitumorales y cardio protectoras (Livingstone et al., 2012). El contenido y la calidad de los AGPI de la grasa láctea y, en consecuencia, su valor nutracéutico, pueden aumentarse suplementando la dieta de los animales con una mezcla de distintos aceites vegetales y de pescado (Chilliard et al., 2003). En la zona de Mar del Plata, el aceite de pescado (AP) es un producto abundante y de costo accesible para ser utilizado como suplemento en la alimentación de las cabras, a fin de obtener un producto con mayor valor agregado. En 2006, Gagliostro y colaboradores llevaron a cabo un ensayo en una granja experimental de la ciudad de Batán (Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires), en el cual suplementaron la alimentación de las cabras de raza Saanen con una mezcla de aceites de girasol y pescado (5:1) y confirmaron la obtención de leche enriquecida en AGPI (LAGPI) respecto a la leche obtenida de cabras control (LC) sin suplementar. Un alto porcentaje de la leche caprina que se produce se utiliza para la obtención de quesos y otros productos derivados (yogur y dulce de leche). La calidad tecnológica de la leche (aptitud para producir derivados) depende tanto de la grasa láctea como del resto de los componentes, particularmente las proteínas, y de las propiedades físico-químicas. Las proteínas lácteas pueden dividirse en dos grandes categorías: caseínas (CN) y proteínas del suero. Las CN se encuentran en mayor porcentaje y son las que le proveen valor tecnológico a la leche cuando se utiliza en quesería (Glantz et al., 2010). Están constituidas por cuatro fracciones:  $\alpha$ -s1 (S1CN),  $\alpha$ -s2 (S2CN),  $\beta$  ( $\beta$ CN), and  $\kappa$  (CN) (Kruif et al., 2012), que se asocian en forma de dispersiones coloidales esféricas, conocidas como micelas, con un diámetro promedio de 200 nm (Holt et al., 2013). Particularmente, el tamaño micelar afecta las propiedades físico-químicas de los productos derivados (Smithers et al., 1991; Amenu y Deeth, 2007). Se ha reportado un mayor rendimiento en queso (gramos de masa seca de queso/100g de proteína láctea) cuando se partía de leche vacuna con altas concentraciones de S1CN,  $\beta$ CN, and  $\kappa$  CN (Wedholm et al., 2006). El objetivo del trabajo fue estudiar si los cambios en la fracción grasa (particularmente el enriquecimiento en AGPI) generados a partir de una alimentación de las cabras suplementada con una mezcla de aceites, modificaba la aptitud tecnológica de la leche obtenida comparada con un control. Se analizó la composición % de los AG y se constató el enriquecimiento en AGPI. Luego se determinaron y compararon parámetros relacionados con la aptitud tecnológica como la composición proximal (grasa, proteína bruta, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos), las propiedades físico-químicas (% humedad, densidad, pH y acidez), el contenido de CN y su composición porcentual, y los tamaños de las micelas y de los glóbulos grasos.

## **METODOLOGIA**

### ***OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE LECHE CAPRINA***

La leche se obtuvo en el Establecimiento comercial "Granja La Piedra" ubicada en la ciudad de Batán, General Pueyrredón, Buenos Aires, Argentina, siguiendo un protocolo de manejo de los animales definido por Gagliostro et al. (2006) para la obtención de LAGPI. Las cabras fueron asignadas al azar a dos grupos para obtener LC (leche control a partir de una dieta sin adición de aceites) y LAGPI (leche rica en AGPI obtenida a partir de una dieta adicionada con 75 g de aceite de girasol más 15 g de AP (5:1)). Se prepararon ocho muestras compuestas por tratamiento, combinando los ordeños matutino y vespertino de dos cabras. Para la determinación de la composición de AG de la grasa se separaron 50 mL de cada leche y se congelaron (-20°C) hasta la realización de los análisis de composición ácida por GC. El resto de la muestra (500 mL) se mantuvo refrigerada hasta efectuar el resto de los análisis.

### ***DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS***

Los ácidos grasos extraídos de la grasa láctea fueron metilados con una solución de hidróxido de sodio en metanol y analizados por cromatografía gaseosa (Agilent HP 6890) con un detector FID (300°C), temperaturas del horno: inicial 180° C y final 215°C, Temperatura del inyector: 250°C. Para la separación se utilizó una columna capilar (TRACE™TR-FAME, Thermo Scientific,

60mx0.25mmx0.2µm), y los tiempos de retención se calcularon sobre la base de una mezcla de metilésteres (Supelco37 Component FAME Mix, Supelco Analytical, USA), CLA ethylester (9c,11t-Octadecadienoic, SIGMA™), y 11t-vaccenic methylester (SIGMA™) como estándares externos. El índice aterogénico (IA) se calculó según la fórmula:  $IA = (C12:0 + 4 C14:0 + C16:0) / (\text{suma de AGPI})$ . El cambio relativo en las concentraciones de los AG por efecto de la suplementación se calculó con la fórmula:  $\Delta\% = (\text{valor en la LAGPI} - \text{valor en la LC}) / \text{valor en la LC} * 100$  (Luna et al., 2005).

#### **CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA LECHE**

Se realizó por espectrometría infrarroja mediante un equipo Milko SCAN TM Minor (FIL 141/1988). Se obtuvieron los valores % de grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales.

#### **DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA LECHE**

El contenido de humedad se determinó por método gravimétrico a 102°C (AOAC 990.19 y 990.20). La densidad se midió a 15°C (AOAC 925.22) y el pH con un pHmetro. La acidez se determinó por titulación con NaOH 0,1N (AOAC 947.05).

#### **RECUESTO DE BACTERIAS AERÓBICAS MESÓFILAS TOTALES (BAMT)**

Las muestras de leche se homogeneizaron y se mantuvieron a 4°C en recipientes estériles hasta el análisis. Se realizó el recuento de las colonias viables en placas de agar nutritivo a 30°C luego de 72 h (ISO 6222-1999).

#### **CARACTERIZACIÓN DE LA CASEÍNA (CN)**

##### **Determinación del contenido total de CN**

Se separó la CN por precipitación ácida (pH 4,1) a 30°C a partir de la leche descremada y diluida en agua y centrifugada por 10 minutos a 500g. El precipitado se disolvió con NaOH 1N (pH 7,0) y se realizaron lavados y precipitaciones sucesivas por triplicado. El precipitado final de CN (como caseinato de sodio: NaCAS) se secó y liofilizó hasta su procesamiento (Kramm Vásquez, 2003). La cuantificación se realizó por el método Lowry (580 nm) con suero albúmina bovina (Sigma Chemical Co, USA) como estándar (Lowry et al., 1951).

##### **Separación y cuantificación de la composición % de la CN**

Se llevó a cabo por SDS-PAGE utilizando un equipo Minislab (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA). Para la separación se sembraron 10 microgramos de cada una de las muestras en estudio por triplicado, en un gel de poliacrilamida 12,5% (10% en el gel) y se aplicaron 100V (Laemmli, 1970). La curva de caracterización de la movilidad molecular se construyó con estándares de peso molecular conocido (Broad range, BIO-RAD, Bio-Rad Laboratories Inc., Hércules, CA, USA). La cuantificación se realizó por escaneado del gel (Software Gel-Pro Analyzer, 1997).

##### **Estimación del tamaño de las micelas**

El tamaño de las micelas de CN se estimó a partir de la resuspensión de caseinato de sodio (NaCAS). NaCAS resuspendido es una mezcla de las 4 fracciones con regiones hidrofóbicas e hidrofílicas, asociadas en forma reversible como agregados supramoleculares en solución acuosa (Nash et al., 2002). Si bien no se han determinado el tamaño y la forma exactos de las moléculas de NaCAS, las complejas interacciones que ocurren en su estructura generan agregados más pequeños cuyo tamaño se asemeja al de las caseínas naturales (Semo et al. 2007). El NaCAS liofilizado fue resuspendido en agua y el tamaño de las micelas se estimó a partir de la distribución del tamaño de las nanopartículas por dispersión dinámica de la luz (DLS) en un analizador Malvern Zetasizer ZS.

##### **Determinación del tamaño del glóbulo de grasa**

El diámetro promedio De Brouckere (D[4,3]) y la distribución de los tamaños se determinaron por difracción láser con un analizador de tamaño de partículas. Para los cálculos se utilizó el índice de refracción de una solución buffer (IR 1,33) conteniendo gotas de grasa láctea dispersas (IR 1,46).

#### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

Los análisis se llevaron a cabo mediante ANOVA con dos tratamientos (8 repeticiones por tratamiento y tres réplicas analíticas por muestra). En caso de diferencias significativas se realizó el test T de comparación de medias para observaciones independientes. El nivel de significación utilizado fue de 5%. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  la desviación estándar. Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat analysis package (Infostat, 2020).

## RESULTADOS

### COMPOSICIÓN ACÍDICA DE LA GRASA LÁCTEA

Las composiciones % de los ácidos grasos en ambas leches mostraron diferencias significativas. En la Tabla 1-1 se observa que en LAGPI se redujeron ( $P<0,05$ ) las concentraciones totales de los AG saturados (-12,36%) y las de los AG considerados potencialmente aterogénicos ( $C_{12:0}$  a  $C_{16:0}$ ) (-15,37%) y aumentó ( $P<0,05$ ) la concentración total de AGPI (64,46%), particularmente la de aquéllos con valor nutraceútico AV (21,91%) y AR (31,36%). Como consecuencia de estos cambios bajaron el cociente AG saturados/insaturados (-60%) y el IA (-57,45%). Estos resultados confirmaron el enriquecimiento en AGPI de la leche obtenida a partir de cabras suplementadas con una mezcla de aceites de girasol y pescado (5:1) y el aumento de su valor nutraceútico.

**TABLA 1**

1) Composición acídica porcentual de la grasa láctea e índice aterogénico, 2) composición de la leche, 3) parámetros físico-químicos y 4) composición porcentual de la fracción caseína, de leche de cabras no suplementadas (leche control: LC) o de cabras suplementadas con aceite de girasol + aceite de pescado (1:5) (LAGPI). <sup>1</sup>Valores expresados como media ( $n=8$ )  $\pm$  DS. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado <sup>2</sup> ml NaOH 0,1N por 100ml de leche \*\* indica diferencias significativas ( $P<0,05$ ) del mismo parámetro entre tratamientos. AG: ácido graso, AV: ácido vaccénico, AR: ácido ruménico, AGPI: AG poliinsaturados, IA:  $[(C_{12} + 4C_{14} + C_{16}) / \sum \text{insaturados}]$ .

|  | Tratamientos <sup>1</sup> |                      |
|--|---------------------------|----------------------|
|  | LC                        | LAGPI                |
| <b>1- Composición acídica (mg AG/100 mg de AG totales)</b>     |                           |                      |
| AG de cadena corta ( $C_4$ to $C_{10}$ )                       | 10,06 $\pm$ 3,10*         | 12,38 $\pm$ 2,16*    |
| AG de cadena media ( $C_{12}$ to $C_{17}$ )                    | 35,35 $\pm$ 2,09*         | 45,41 $\pm$ 2,77**   |
| AV ( <i>trans</i> -11 $C_{18:1}$ )                             | 2,56 $\pm$ 1,30*          | 11,68 $\pm$ 6,26**   |
| AR ( <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 $C_{18:2}$ )              | 0,75 $\pm$ 0,462*         | 2,42 $\pm$ 0,745**   |
| Suma AG insaturados  | 28,41 $\pm$ 6,76*         | 38,03 $\pm$ 6,23**   |
| Suma AG saturados  | 72,13 $\pm$ 3,107*        | 61,31 $\pm$ 6,26**   |
| Suma AG de cadena larga (+ $C_{18}$ )                          | 43,66 $\pm$ 6,76*         | 50,28 $\pm$ 6,26*    |
| Suma AGPI  | 4,10 $\pm$ 1,41*          | 6,36 $\pm$ 1,65**    |
| Saturados/Insaturados  | 2,75 $\pm$ 0,9**          | 1,66 $\pm$ 0,7*      |
| Índice Aterogénico (IA)  | 2,75 $\pm$ 0,87**         | 1,58 $\pm$ 0,71*     |
| <b>2- Composición de la leche (g Kg<sup>-1</sup> de leche)</b> |                           |                      |
| Contenido de grasa   | 48,04 $\pm$ 6,66*         | 5,67 $\pm$ 10,50**   |
| Contenido de proteína  | 34,22 $\pm$ 1,90*         | 32,35 $\pm$ 2,28*    |
| Contenido de lactosa   | 43,82 $\pm$ 1,40*         | 46,85 $\pm$ 0,40**   |
| Contenido de sólidos totales                                   | 134,22 $\pm$ 6,23*        | 145,41 $\pm$ 10,88** |
| Contenido de sólidos no grasos                                 | 87,47 $\pm$ 1,33*         | 88,09 $\pm$ 2,20*    |
| Grasa/proteína   | 1,41 $\pm$ 0,23*          | 1,85 $\pm$ 0,33**    |
| <b>3- Parámetros físico-químicos</b>                           |                           |                      |
| Densidad (15°C)  | 1,030 $\pm$ 0,001 *       | 1,029 $\pm$ 0,002 *  |
| Contenido de humedad (%)                                       | 85,272 $\pm$ 0,550 *      | 85,182 $\pm$ 0,362 * |
| Acidez <sup>2</sup>  | 0,182 $\pm$ 0,008 **      | 0,137 $\pm$ 0,013 *  |
| pH   | 6,632 $\pm$ 0,063 *       | 6,787 $\pm$ 0,066 ** |
| <b>4- Fracciones CN %</b>                                      |                           |                      |
| Caseína $\alpha$ S2  | 22,16 $\pm$ 1,47*         | 18,93 $\pm$ 1,87*    |
| Caseína $\alpha$ S1  | 8,79 $\pm$ 2,36*          | 16,09 $\pm$ 2,80**   |
| Caseína $\beta$  | 29,84 $\pm$ 3,65*         | 28,36 $\pm$ 1,17*    |
| Caseína $\kappa$   | 12,76 $\pm$ 3,19*         | 12,82 $\pm$ 0,85*    |
| Proporciones entre las fracciones                              | 1:3:4:2                   | 2:2:4:2              |

### COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS LECHES OBTENIDAS

La Tabla 1-2 muestra la composición físico-química de la leche con alto contenido de AGPI respecto de la LC. Los contenidos de grasa, lactosa y sólidos totales aumentaron significativamente ( $P<0,05$ ), mientras que los contenidos de proteínas y sólidos no grasos no se vieron modificados ( $P>0,05$ ). La relación grasa butirosa/proteínas, otro indicador de la calidad tecnológica de la leche que

tiene en cuenta la productividad láctea (rendimiento por kilogramos de componentes) también aumentó significativamente ( $P < 0,05$ ) en LAGPI.

#### PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS LECHES OBTENIDAS

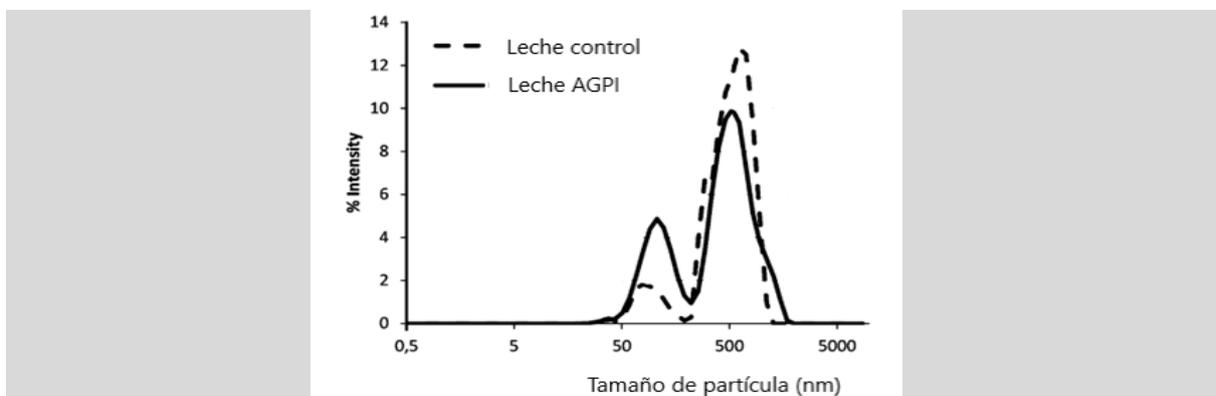
La Tabla 1-3 muestra que se vieron afectados tanto el pH como la acidez en LAGPI, con un aumento del primero ( $P < 0,05$ ) y una disminución de la segunda ( $P < 0,05$ ). La densidad y el % de humedad no se modificaron ( $P > 0,05$ ).

#### CUANTIFICACIÓN DE LA CN. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUS FRACCIONES CONSTITUYENTES

No se detectaron diferencias en el contenido de CN ( $27,76 \pm 0,68 \text{ gl}^{-1}$ ) entre LAGPI y LC y ambas leches presentaron las cuatro fracciones descriptas para leche de cabra:  $\alpha$ S1-CN;  $\alpha$ S2-CN;  $\beta$ -CN y  $\kappa$ -CN (Tabla 1-4). Sin embargo, las composiciones % de dichas fracciones fueron diferentes presentando LAGPI un mayor % de  $\alpha$ S1-CN ( $P < 0,05$ ) que afectó el del resto de las fracciones. Así las proporciones 1:3:4:2 presentes en LC se modificaron a 2:2:4:2 en LAGPI.

#### ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS MICELAS

La distribución de los tamaños de NaCAS en ambas leches se muestra en la Figura 1, donde se observa una bimodal en la que el primer pico representó los agregados más pequeños y el segundo lo agregados supramoleculares. LAGPI mostró un tamaño promedio de 106 nm en los agregados pequeños y 531 nm en los supramoleculares mientras que en LC fueron de 78,8 nm y 615nm, respectivamente (Figura 1). A priori estos resultados muestran que las micelas naturales, representadas por el primer pico tendrían mayor tamaño en la LAGPI respecto a LC.



**FIGURA 1**

*Distribución de tamaños de caseinatos de sodio NaCAS (% intensidad por dispersión dinámica de la luz) en leche rica en AGPI (LAGPI) y leche control (LC).*

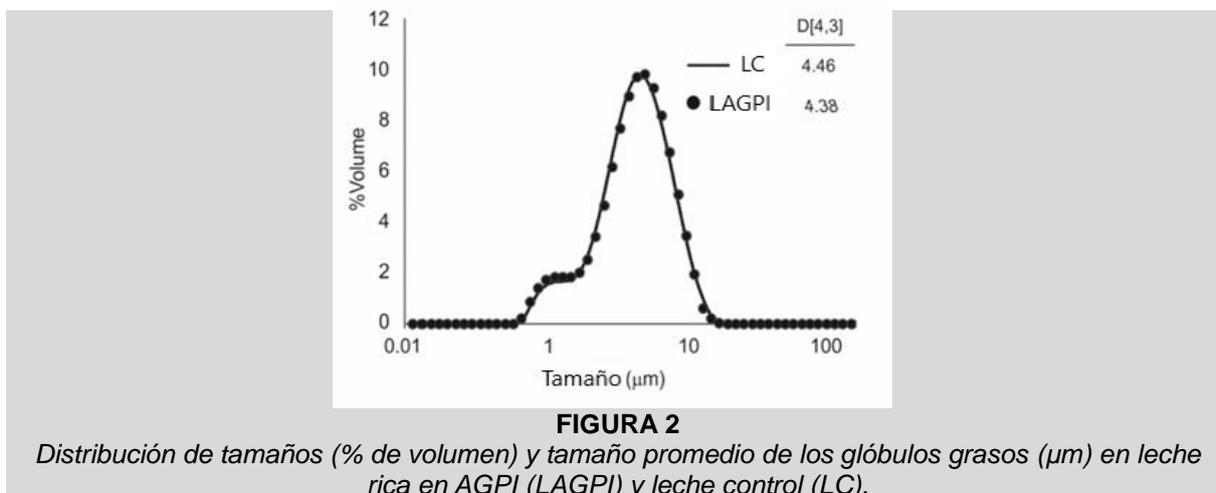
#### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO PROMEDIO DE LOS GLÓBULOS GRASOS

No se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el tamaño de los glóbulos grasos entre ambos tipos de leche. LAGPI y LC presentaron una bimodal similar en los tamaños de los glóbulos grasos (Figura 2) desde 0,5 hasta 15,0  $\mu\text{m}$ , la mayoría con un diámetro centrado en 5  $\mu\text{m}$ .

## DISCUSIÓN

Son muchos y variados los beneficios que el consumo de leche caprina aporta a la salud del consumidor. Además de ser una fuente indispensable de macro y micronutrientes, es una fuente natural de AGPI con valor nutracéutico AV y AR, cuyas concentraciones pueden ser aumentadas adicionando una mezcla de aceites a la alimentación de los animales (Chilliard et al. 2003; Gagliostro et al. 2006). LAGPI obtenida en este trabajo, suplementando la alimentación de las cabras con una mezcla de aceites de girasol y pescado (5:1), presentó mayor concentración del total de los AGPI,

particularmente de AV y de AR, además de menor concentración de los AG considerados potencialmente aterogénicos ( $C_{12:0}$  a  $C_{16:0}$ ) y en consecuencia un mayor valor nutracéutico respecto de LC (Tabla 1-1).



Algunas propiedades de LAGPI relacionadas con sus características tecnológicas para la elaboración de derivados mostraron diferencias respecto de LC. La composición físico-química mostró un aumento ( $P < 0,05$ ) en el contenido de grasa (+24%) sin cambios en el contenido de proteína (Tabla 1-2) ni en la calidad de los aminoácidos (datos no mostrados). Valores similares fueron obtenidos por Chilliard et al. (2003), Gagliostro et al. (2006) y Gassi et al. (2012). La composición de las proteínas de la leche de cabra determina su menor potencial alergénico respecto de la leche de vaca (Clark y Mora García, 2017) y además le provee un efecto buffer que determina la cinética de disminución de pH y el tiempo de fermentación. La ausencia de cambios en la cantidad y composición de las proteínas en LAGPI demuestra la estabilidad de esta fracción a la adición de aceites en la dieta. La calidad y la concentración de ambos componentes de la leche ejercen una fuerte influencia en las propiedades funcionales de la leche y determinan su valor comercial, ya que son los principales determinantes del rendimiento quesero (principalmente la grasa). En este sentido el aumento en la fracción grasa sin cambios en la fracción proteínas determina un mayor valor económico de LAGPI. Se observó también un aumento en el contenido de lactosa ( $P < 0,05$ ) (Tabla 1-2), efecto que no ha sido reportado (Chilliard et al. 2003; Gagliostro et al. 2006) y que podría aumentar las propiedades de gelación de la leche (Glantz et al., 2010). El contenido de sólidos totales también se vio incrementado (+8.3%) ( $P < 0,05$ ).

En la Tabla 1-3 se presentan los parámetros físico-químicos de ambas leches. El % de humedad y la densidad no se vieron modificados, en tanto que LAGPI presentó menor acidez y mayor pH ( $P < 0,05$ ) que LC. La leche de cabra se caracteriza por ser más alcalina que la de vaca, lo cual beneficia a los consumidores con problemas de acidez estomacal. Se ha reportado que esta mayor alcalinidad se debería a que existe una interacción diferente entre las proteínas que componen las micelas lo que modificaría la disponibilidad de los fosfatos en el medio (Jandal, 1996). Por otro lado, la acidez titulable se correlaciona en la mayoría de las leches con el recuento de BAMT presentes (Schmidt et al., 1996). Ambas leches presentaron recuentos ( $\text{CFU cm}^{-3}$ ) por debajo de lo establecido por el CAA, pero LC tuvo un mayor recuento ( $2,10^4 \pm 1,28 \cdot 10^4$ ) que LAGPI ( $8,52 \cdot 10^2 \pm 3,69 \cdot 10^2$ ). Se ha reportado que no sólo la cantidad sino la diversidad de la microbiota presente en la leche de cabra podrían ser la causa de las diferencias en acidez, que a su vez son dependientes del contenido de lactosa. Si bien el mayor contenido de lactosa en LAGPI podría ser un indicio de diferencias en la composición de la microbiota, su caracterización excede los objetivos de este trabajo.

El contenido de CN en la leche de cabra varía entre 16 y 26  $\text{g L}^{-1}$  (Park et al., 2007). Ambas leches estudiadas no mostraron diferencias en el contenido de CN ( $27,76 \pm 0,68 \text{ g l}^{-1}$ ) pero se modificaron los porcentajes de las 4 fracciones que la componen (Tabla 1-4). LAGPI presentó un mayor porcentaje de  $\alpha\text{S1-CN}$  a expensas de  $\alpha\text{S2-CN}$  (proporciones 2:2:4:2) respecto de LC (1:3:4:2). La CN tiene un rol

esencial en la producción de quesos ya que es retenida en la matriz y determina las características del gel. Son pocos los reportes que mencionan el impacto de la suplementación de la alimentación con aceites sobre la composición de la CN. Clark and Sherbon (2000) reportaron un resultado similar y demostraron que esa leche enriquecida en  $\alpha$ S1-CN presentaba mayor velocidad de coagulación y firmeza del coágulo. Una leche con estas características presenta mejores condiciones para la elaboración de quesos (Vassal et al., 1994) afectando sus propiedades funcionales, aumentando el rendimiento, reduciendo el tiempo para la formación del gel caseario y la firmeza del coágulo a los 30 minutos. Estas propiedades de coagulación y los patrones proteolíticos relacionados podrían afectar la textura y el catabolismo de la matriz del queso modificando las propiedades sensoriales y la aceptabilidad del consumidor (Park, 2017).

La estimación de los tamaños de micelas en ambas leches mostró a priori que las micelas en la LAGPI tendrían mayor tamaño que en la LC (Fig.1). Las micelas se encuentran en un equilibrio dinámico con la fase acuosa y LAGPI mostró un pH mayor que LC (Tabla 1-3). Sinaga et al. (2017) reportaron que una leche con pH 6,6 presentaba micelas de menor tamaño que una con pH 7,0 (165 nm versus 178 nm, respectivamente), y que el tamaño de micelas re-ensambladas a distintos pH por encima del normal de la leche (6,6) se incrementaba con el aumento de pH hasta un valor de 8,5. El fundamento para este comportamiento es que a mayor pH las micelas presentarían un mayor número de cargas negativas que aumentarían las fuerzas de repulsión entre las cadenas, debilitando y expandiendo su estructura. Así la diferencia de pH podría ser uno de los factores por los que las micelas presentes en LAGPI mostraron mayor tamaño. Micelas de mayor tamaño afectarían el gel en formación mejorando las propiedades de gelación y acelerando los pasos finales de la elaboración del queso (Glantz et al., 2010).

Finalmente, el tamaño de los glóbulos grasos en la leche de cabra es menor que en la leche de vaca, lo que podría explicar en parte su mejor digestibilidad. Glóbulos más pequeños se dispersan mejor y forman una mezcla más homogénea de la materia grasa. El tamaño de los glóbulos no se vio afectado en LAGPI (Figura 2). En relación con la tecnología quesera, el tamaño más pequeño de los glóbulos representa una emulsión más estable (Park, 2017). Gassi et al. (2012) reportaron los mismos tamaños de los glóbulos grasos de la leche de cabra.

La investigación en la producción de leche se está enfocando más en la calidad y no en la cantidad del producto obtenido. LAGPI presentó mayor contenido graso, con un valor nutricional substancialmente aumentado y manteniendo sus propiedades funcionales relacionadas con la estabilidad (tamaño del glóbulo graso). No se modificaron los contenidos de proteína bruta ni de CN, pero aumentó el % de  $\alpha$ S1-CN y las micelas fueron de mayor tamaño. Aumentaron los contenidos de lactosa y sólidos totales. Presentó un pH mayor y una menor acidez. Estas características justifican el interés de especialistas en nutrición animal de modular a través de la alimentación del animal y en forma natural, el perfil de ácidos grasos de la leche y el interés de los tecnólogos en alimentos en obtener un producto natural con propiedades funcionales mejoradas. Según nuestro conocimiento este es el primer reporte sobre las propiedades techno-funcionales de una leche de cabra enriquecida en AGPI.

## CONCLUSIONES

La leche de cabra enriquecida en AGPI a través de la alimentación suplementada con aceites de girasol y pescado (sin adición de productos comerciales) es un producto con valor agregado tanto desde el punto de vista nutricional para consumo como leche fluida, como tecnológico para la obtención de productos derivados.

## Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Argentina (AGR567/18) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT, PICT 2015-0084).

## BIBLIOGRAFÍA

Amenu, B. y Deeth, H.C. (2007). The impact of milk composition on cheddar cheese manufacture. *Australian Journal of Dairy Technology*, 62, 171–184.

- Association of Official Analytical Chemists. (A.O.A.C.)** (1995). Official Methods of Analysis AOAC 925.22 y 947.05. *Manual of official methods of analysis*. 15th Edition. AOAC.
- Association of Official Analytical Chemists. (A.O.A.C.)** (1993) Official Methods of Analysis AOAC 990.19 y 990.20. Moisture in Liquid Milk. En S. Suzanne Nielsen (Ed.) *Food analysis laboratory manual. Third edition* (p. 108). Springer.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J. y Lamberet, G.** (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal Dairy Science*, 86, 1751-1770. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73761-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73761-8)
- Clark, S. y Mora García, M.B.** (2017). A 100-Year Review: Advances in goat milk research. *Journal of Dairy Science*, 100, 10026–10044 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13287>
- Clark, S. y Sherbon, J. W.** (2000). Alpha s1-casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Ruminant Research*, 38, 123-134. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00154-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00154-1)
- Federación Internacional de Lechería (FIL-IDF)** (1988). *Leche entera. Determinación del contenido en grasa, proteínas y lactosa. Guía para la operación de instrumentos infrarrojos*. N°141. FIL.
- Gagliostro, G.A., Rodríguez, A., Pellegrini, P.A., Gatti, P., Muset, G., Castañeda, R.A., Colombo, D. y Chilliard, Y.** (2006). Efectos del suministro de aceite de pescado solo o en combinación con aceite de girasol sobre las concentraciones de ácido linoleico conjugado (CLA) y omega 3 (n-3) en leche de cabra. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26, 71-89.
- Gassi, J.Y., Thève, M., Beaucher, E., Camier, B., Maillard, M.B., Rousseau, F., Leboeuf-Schneider, L., Lepage, E., Gaucheron, F. y Lopez, C.** (2012). Soft goats' cheese enriched with polyunsaturated fatty acids by dietary supplementation: manufacture, physicochemical and sensory characterization. *Dairy Science & Technology*, 92, 569-591. <https://dx.doi.org/10.1007/s13594-012-0071-8>
- Glantz, M., Håkansson, A., Lindmark Månsson, H., Paulsson, M. y Nilsson, L.** (2010). Revealing the size, conformation, and shape of casein micelles and aggregates with asymmetrical flow field-flow fractionation and multiangle light scattering. *Langmuir*, 26, 12585–12591. <https://doi.org/10.1021/la101892x>
- Holt, C., Carver, J., Ecroyd, H. y Thorn, D.C.** (2013). Caseins and the casein micelle: their biological functions, structures, and behavior in foods. *Journal Dairy Science*, 96, 6127–6146. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6831>
- INFOSTAT.** (2020). Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado el 14 de marzo de 2020 de <http://www.infostat.com.ar>
- ISO 6222.** (1999). *Technical Committee: ISO/TC 147/SC 4. Microbiological methods. Revised 2015*. Recuperado el 14 de marzo de 2020 de <https://www.iso.org>
- Jandal, J.M.** (1996). Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 22, 177-185. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00880-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00880-2)
- Kramm Vásquez, J.A.** (2003). *Composición proteica y su relación con las variantes genéticas A y B de  $\kappa$ -caseína y  $\beta$ -lactoglobulina en leche de vacas Frisón Negro*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería en Alimentos, Universidad Austral de Chile.
- Kruif, C.F., Huppertz, T., Urban, V.S. y Petukhov, A.V.** (2012). Casein micelles and their internal structure. *Advances in Colloid and Interface Science*, 171, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2012.01.002>
- Laemmli, U.K.** (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Livingstone, K.M., Lovegrove, J.A. y Givens, D.I.** (2012). The impact of substituting SFA in dairy products with MUFA or PUFA on CVD risk: Evidence from human intervention studies. *Nutrition Research Reviews*, 25, 193-206 <https://doi.org/10.1017/S095442241200011X>
- Lowry, O.H., Rosebrought, N.J., Farr, A.L. y Randall, R.J.** (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Luna, P., Juárez, M. y De La Fuente, M.A.** (2005). Validation of a rapid milk fat separation method to determine the fatty acid profile by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, 88, 3399-3381. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73021-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73021-6)
- Nash, W., Pinder, D.N., Hemar, Y. y Singh, H.** (2002). Dynamic light scattering investigation of sodium caseinate and xanthan mixtures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30, 269–271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-8130\(02\)00041-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-8130(02)00041-7)
- Park, Y.W., Juárez, M., Ramos, M. y Henlein, G.F.W.** (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68, 88-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>

- Park, Y.W.** (2017). Goat Milk. En Y.W. Park y G.F.W. Haenlein (Eds.) *Chemistry and nutrition book: Handbook of milk of non-bovine mammals* (pp.42-83) Blackwell Publishing, Oxford.
- Schmidt, K.A., Stupar, J., Shirley, J.E. y Adapa, S.** (1996). Factors affecting titratable acidity in raw milk. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 0 (2), 340. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.3265>
- Semo, E., Kesselman, E., Danino, D. y Livney, Y.** (2007). Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals. *Food Hydrocolloids*, 21, 936-942. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.006>
- Sinaga, H., Bansal, N. y Bhandari, B.** (2017). Effects of milk pH alteration on casein micelle size and gelation properties of milk. *International Journal of Food Properties*, 20, 179-197. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1152480>
- Smithers, G.W., Bradford, R.S., Register, G.O. y Pearce, R.J.** (1991). New casein protein products for the food industry. *Food Australia*, 43, 252-254.
- Vassal, L., Delacroix-Buchet, A. y Bouillon, J.** (1994). Influence des variants AA, EE et FF de la caséine  $\alpha_1$  caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles de fromages traditionnels: premières observations. *Lait*, 74, 89-103.
- Wedholm, A., Larsen, L. B., Lindmark Månsson, H., Karlsson, H.A. y Andrén, A.** (2006). Effect of protein composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89, 3296-3305. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72366-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72366-9)