



# Propiedades fisicoquímicas de la leche de cabra en unidades productivas a pequeña escala

Luis Chel-Guerrero<sup>1</sup> ; Carolina Barrientos-Ávila<sup>1</sup> ; Arturo Castellanos-Ruelas<sup>1</sup> ;  
Santiago Gallegos-Tintoré<sup>1</sup> ; David Betancur-Ancona<sup>1\*</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería Química. Periférico Norte Km. 33.5, Chuburná de Hidalgo Inn. Mérida, Yucatán, México.

\*Correspondencia: [bancona@correo.uady.mx](mailto:bancona@correo.uady.mx)

Recibido: November 2023; Aceptado: Mayo 2024; Publicado: Julio 2024.

## RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar la composición fisicoquímica y el valor nutritivo de leche de cabra en tres diferentes sistemas de manejo productivo a pequeña escala en Mérida, Yucatán, México; con la finalidad de producir leche destinada a la alimentación humana con problemas de asimilación de lactosa. **Materiales y métodos.** Se recolectaron muestras de leche cada dos semanas durante cuatro meses y se les cuantificó sólidos totales, grasa, proteína, lactosa, cenizas, calcio y fósforo. Se determinó densidad, pH, acidez, ácidos grasos por cromatografía de gases y caseínas por electroforesis. **Resultados.** La composición promedio fue 2.69% grasa, 4.10% proteína, 4.12% lactosa, 12.96% sólidos totales, 0.83% cenizas, 139 mg/100g calcio y 105 mg/100g fósforo. La densidad, acidez como ácido láctico y pH obtenidos fueron 1.032 g/cm<sup>3</sup>, 1.36 g/L y 6.51, respectivamente. Las leches aportaron MUFAs como ácidos oleico y gadoleico, y PUFAs como ácido linoleico y araquidónico, implicados procesos metabólicos que reducen el riesgo del síndrome metabólico. El patrón electroforético de las caseínas mostró bandas más abundantes con pesos moleculares de 20 a 36 kDa. **Conclusiones.** La composición de la leche de cabra producida resultó ser superior, con ventajas nutricionales, y potenciales beneficios a la salud respecto a la leche de otras especies. El contenido de lactosa, el pH y la acidez de la leche de cabra fueron diferentes en función de las unidades de producción; y la densidad, grasa, proteína y cenizas no se vieron influenciadas. La ausencia  $\alpha_{s1}$ -caseína sería ventajoso para la reducción de alergias asociadas al consumo de leche.

**Palabras clave:** *Capra aegagrus hircus* L; composición química; ácidos grasos; caseína; sistemas de producción (Fuente: CAB).

## ABSTRACT

**Objective.** To evaluate the physicochemical composition and nutritional value of goat milk produced in three different small-scale production management systems in Mérida, Yucatán, Mexico were evaluated with the purpose of producing milk for human consumption with lactose assimilation problems. **Materials and methods.** Samples were collected every two weeks for four months and their fat, protein, lactose, total solids, ash, calcium and phosphorus content was quantified. Density,

### Como citar (Vancouver).

Chel-Guerrero L, Barrientos-Ávila C, Castellanos-Ruelas A, Gallegos-Tintoré S, Betancur-Ancona D. Propiedades fisicoquímicas de la leche de cabra en unidades productivas a pequeña escala. Rev MVZ Córdoba. 2024; 29(3):e3555. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3555>



©El (los) autor (es) 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

pH, acidity, fatty acid profiles by gas chromatography and the electrophoretic pattern of caseins were determined. **Results.** The average composition was 2.69% fat, 4.10% protein, 4.12% lactose, 12.96% total solids, 0.83% ash, 139 mg/100g calcium and 105 mg/100g phosphorus. The density, acidity as lactic acid and pH obtained were 1.032 g/cm<sup>3</sup>, 1.36 g/L and 6.51, respectively. The milk provided MUFAs such as oleic and gadoleic acids, and PUFAs such as linoleic and arachidonic acid, involved in metabolic processes that reduce the risk of metabolic syndrome. The electrophoretic pattern of the caseins showed more abundant bands with molecular weights of 20 to 36 kDa. **Conclusions.** The composition of the goat milk produced turned out to be superior, having nutritional advantages, and potential health benefits compared to milk from other species. The lactose content, pH and acidity of goat milk were different depending on the production units and density, fat, protein and ash were not influenced. The absence of  $\alpha_{s1}$ -casein would be advantageous for the reduction of allergies associated with milk consumption.

**Keywords:** *Capra aegagrus hircus* L; chemical composition; fatty acids; casein; production systems (Source: CAB).

## INTRODUCCIÓN

La cría y el mantenimiento sostenible de especies de pequeños rumiantes, como las cabras tiene importancia en la economía de zonas marginales (1). Para la FAO, el número de cabras aumentó de 350 millones a más de mil millones durante los últimos 60 años, donde China tiene el rebaño más grande del mundo. La leche de cabra y sus productos podría desempeñar un papel fundamental a la hora de contribuir a retener a la población en las zonas rurales y crear puestos de trabajo, debido a la demanda de los consumidores de productos lácteos de cabra de primera calidad. La producción mundial de leche de cabra alcanzó aproximadamente 21 millones de toneladas en 2021 (2).

Para vislumbrar el crecimiento de la producción mundial de la leche de cabra, se ha reportado un aumento más rápido (1.8%) en comparación con el crecimiento de la población (1.4%) y aún más, respecto a la leche de vaca (0.2%). Es de particular importancia en países de Asia con una producción mundial del 57.8%, en África con 25.2%, Europa con 13.7% y América con 3.22%, destacando México y Brasil (3).

En regiones tropicales, hay tres sistemas de producción: especializado, pequeña escala (rural o campesino) y doble propósito. El especializado se caracteriza por tener el mayor tamaño del hato, que se encuentra estabulado, mecanizado para el ordeño y producción de forraje. Los otros dos sistemas presentan menor tamaño del hato, entre 6 y 30 cabras, utilizan principalmente cruza de las razas Holstein, Suizo y Criollo, tienen menor tecnificación, predomina la mano de obra familiar y presentan rendimiento de leche por vaca oscila entre 6 y 9 L por día. El

doble propósito busca la producción de leche y aprovechamiento de la carne (4).

La composición de nutrientes básicos de la leche de cabra se asemeja a la leche de vaca. Ambas contienen sustancialmente más proteínas y cenizas, pero menos lactosa que la leche humana. En los trópicos, se tienen reporte que la leche de cabra tiene más grasa y cenizas que la de vaca, aunque se indica que la grasa de leche de vaca Holstein es similar a la leche de cabra Suiza. Los contenidos minerales de las razas Franco-Alpina y Anglo-Nubia han mostrado niveles más altos de Ca, P, K, Mg y Cl, y valores más bajos de Na y S que la leche bovina (5). Los derivados de leche de cabra se consideran saludables, naturales y ricos en ingredientes bioactivos (6) y se ha reportado relaciones ácidos grasos insaturados/ácidos grasos saturados (AGI/AGS) más favorables y un índice aterogénico (IA) más bajo respecto a otras fuentes (7).

La proteína de leche de cabra tiene una mayor capacidad amortiguadora, lo que resulta beneficioso para el tratamiento de las úlceras del estómago. Otra característica única, son las micelas de caseína que están menos solvatadas, son menos estables al calor y pierden  $\beta$ -caseína más fácilmente que en la leche de vaca, lo cual es esencial durante la elaboración de queso (8). Se considera superior a la leche de otras especies por sus múltiples ventajas para la salud y menor riesgo de alergias. Puede ser una alternativa para las personas que padecen alergias alimentarias, ya que contiene menos caseína  $\alpha_{s1}$ , que está asociada con aproximadamente el 60% de las reacciones alérgicas relacionadas con el consumo de leche. Esto es un beneficio importante para los recién nacidos que beben leche de cabra como su principal fuente de nutrición. También contiene

componentes bioactivos que ayudan a mantener el metabolismo y la función normal del cuerpo humano (9). La demanda productos lácteos de cabra, como queso, yogur y mantequilla ha aumentado en las últimas décadas debido a su alto valor nutricional, su mayor digestibilidad, la presencia de glóbulos de grasa más pequeños y la formación de cuajada más suave en comparación productos lácteos de vaca (10). El objetivo fue determinar las propiedades fisicoquímicas de leche de cabra en diferentes sistemas de producción a pequeña escala en Mérida, Yucatán en México y comparar el efecto por época de producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio y tipo de estudio.** Se analizó la composición fisicoquímica de leche a partir de cabras en tres diferentes unidades de producción, localizadas en Mérida, Yucatán en México donde el clima predominante es subhúmedo tropical y presenta dos épocas bien definidas, la seca y la lluviosa. Las condiciones climáticas durante la experimentación fueron: una temperatura media de 26.1°C y precipitación de 322.9 mm.

### Localización y descripción de las unidades productivas

**Unidad de producción CHOLUL** (Cholul). Ubicado en la Parcela Gertrudis Rosado, de la comisaría de Cholul (21°02'35"N 89°33'23"O) en Mérida, México. Las cabras lactantes (n=31) de las razas Nubia (n=20) y Boer (n=11), con una edad promedio de 22 meses y peso promedio de 50.2 kg, fueron alimentadas en un sistema mixto, semi-intensivo con pastoreo en vegetación nativa con contenido de proteína de ~10.5% y suplementación *ad libitum* con mezcla de salvado, maíz molido y soya molida con un contenido de proteína del 18.2%. Las cabras pastoreaban tres horas por la mañana y tres horas por la tarde (6 h en total) y fueron ordeñadas manualmente, lavando previamente las ubres con agua y jabón con posterior desinfección con una solución de hipoclorito de sodio al 3%.

**Unidad de producción FMVZ** (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). Localizado en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en X'matkuil (20°52'02"N 89°37'29"O), comisaría de Mérida, México. Este rebaño fue manejado bajo condiciones semi-intensivas de alimentación en un sistema mixto. Las cabras (n=24) fueron

Criollas, con una edad promedio de 20 meses y peso promedio de 49.6 kg, pastorearon diariamente en vegetación nativa con contenido de proteína de ~11.2% y recibieron cada una por la mañana, 200 g de una mezcla de sorgo y soya con un contenido de proteína del 18.9%. Las cabras pastoreaban diariamente de siete de la mañana hasta dos de la tarde (7 h). Fueron ordeñadas manualmente, lavando previamente las ubres con agua y jabón.

**Unidad de producción DIF** (Desarrollo Integral de la Familia). Rebaño del Centro de Desarrollo Integral de la Familia, localizado en la Ciudad de Mérida, México (20°57'37"N 89°39'38"O). Las cabras (n=8), Criollas (n=4), Nubias (n=2) y Cruzas (Nubia con Boer, n=2) permanecieron confinadas en un corral, donde se les proporcionó alimento balanceado *ad libitum* con un contenido de proteína del 18 % y hojas de árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) con contenido de proteína de ~19.2%, de 3 veces por semana y ocasionalmente se les proporcionó maíz molido. La ordeña fue manual y sin cuidados en la higiene de los animales.

**Recolección de muestras.** La ordeña se realizó una vez por día y la leche de cada cabra se colectó luego del despunte, lavado y secado de la ubre. Posteriormente, la leche de la ordeña del día de cada unidad de producción, se mezclaba en un recipiente limpio para hacer un pool, se homogenizaba y se tomaba una muestra de alrededor de 1000 mL en recipientes de vidrio. Las muestras fueron colocadas en una nevera con hielo para su transporte al laboratorio donde se almacenaron a 4°C un tiempo máximo entre 24-48 h, previo a su análisis. En cada unidad de producción se recolectaron muestras de leche cada dos semanas durante cuatro meses para tener un total de 24 muestras, de las cuales fueron 8 muestras para cada unidad productiva y tomando 12 muestras para la temporada de secas (abril-mayo de 2002) y 12 muestras para la temporada de lluvias (junio-julio de 2002).

Determinación de la composición fisicoquímica. A cada muestra se le determinaron el contenido grasa por el método Babcock (11), los sólidos totales por desecación en estufa, cenizas por calcinación en mufla eléctrica, proteína por Kjeldahl considerando un factor de conversión de N<sub>2</sub> x 6.38; lactosa por el método de Lane y Eynon; densidad medida con un lactodensímetro (Alla France); pH con un potenciómetro digital Orion Star™ A211, acidez por el método volumétrico por neutralización (expresada en

g/L o en °Dornic que equivale a 0.1 g/L de ácido láctico); calcio por absorción atómica y fósforo por espectrofotometría de absorción en la región visible. Todos los análisis anteriores fueron realizados de acuerdo a las técnicas indicadas en la NOM-155-SCFI-2012 Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba (12) basadas en los métodos de Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Cada análisis se realizó por triplicado.

**Perfil de ácidos grasos.** Se determinó por cromatografía de gases (CG) basados en el método 996.06 de la AOAC (13). La obtención de la grasa se realizó centrifugando la leche a 3000 x g durante 10 min a 4°C en una centrífuga Beckman-J2HS y la grasa fue separada cuidadosamente sobre hielo, se eliminó el agua residual con un liofilizador LABCONCO y fue almacenada en congelación en recipientes oscuros hasta su análisis. Las fracciones lipídicas en la muestra fueron derivatizadas con Trifluoruro de Boro-Metanol (BF<sub>3</sub>-MeOH) a ésteres metílicos (FAME). Las muestras se inyectaron mediante un sistema automático de muestreo (HP-GC Autosampler Controller modelo G1512A) empleando un inyector Agilent 6890 a un cromatografo de gases modelo Hewlett-Packard/Agilent 5890 serie II acoplado a un detector de masas selectivo modelo HP-5972. Las temperaturas del inyector y del detector fueron 280°C. Se usó una rampa de temperatura de 60°C al inicio por 1 min, incrementándose ésta a 15 °C/min hasta llegar a 300°C por 3 min. Se empleó una columna HP5MS de 30 m con diámetro interior de 0.25 mm y espesor de película de 0.25 µm. Se empleó gas Helio ultrapuro como gas acarreador. Los FAME se identificaron comparando los espectros de masas experimentales con la biblioteca del National Institute of Standards and Technology (14).

**Extracción de las caseínas.** Durante el proceso de extracción de grasas, se obtuvo al mismo tiempo leche descremada que se utilizó para la extracción de caseínas. La leche descremada se calentó hasta 43°C, entonces se añadió gota a gota ácido acético 1 Molar (M) en agitación constante, hasta pH 4.6. Una vez precipitada la caseína, se dejó reposar y se filtró para separar la cuajada. Esta, se volvió a suspender en agua destilada/desionizada, se filtró nuevamente, se lavó con alcohol isopropanol y se dejó evaporar el alcohol (15). La caseína obtenida se liofilizó y se conservó en congelación en frasco herméticamente cerrado.

### **Patrón electroforético de las caseínas.**

El patrón electroforético de las caseínas se determinó en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE). Se utilizaron geles de poliacrilamida al 10% como gel separador de 13% para el gel concentrador. Se inyectaron 5 µl de la solución muestra por cada carril y 8 µl de la solución del marcador o estándar de peso molecular de rango bajo (Low Molecular Weight, Sigma-M3913). Se colocó el gel en una cámara electroforética HOEFER conectada a una fuente de poder de 120V. La prueba se realizó durante 5 h con una corriente de 8-10 V/gel. Los geles se tiñeron durante 1 h con azul de Coomassie G-250 (Fluka 27815) en agua:metanol:ácido acético. Los pesos moleculares se determinaron mediante análisis de regresión lineal basado en las distancias de migración relativa (Rf) de las proteínas estándar.

**Análisis estadístico.** Los resultados fueron procesados mediante estadística descriptiva. Las variables independientes o factores fueron unidades productivas (Cholul, FMVZ y DIF) y las épocas (lluvias y secas). Las variables dependientes o de respuestas fueron los componentes y las propiedades fisicoquímicas de las leches obtenidas. Los datos obtenidos se evaluaron mediante ANOVA previa comprobación de normalidad, independencia y homocedasticidad. Para establecer las diferencias, se usó una comparación de medias (Duncan, 95% de nivel de confianza), con el paquete computacional Statgraphics Centurión Versión 18 (16).

## **RESULTADOS**

### **Composición fisicoquímica de la leche.**

La composición de los sólidos mayoritarios de la leche de cabra obtenida en cada unidad de producción, así como la variación de cada componente entre sistemas se indica en la tabla 1. El análisis estadístico indicó que solamente el contenido de lactosa presentó diferencia significativa ( $p=0.006$ ) entre los sistemas productivos.

A diferencia de las unidades productivas CHOLUL y FMVZ donde hubo pastoreo, en la unidad DIF esencialmente con el rebaño confinado, a excepción de lactosa, se encontraron valores estadísticamente iguales ( $p>0.05$ ) de los componentes químicos.



**Tabla 1.** Componentes mayoritarios de la leche de cabra obtenida en tres unidades productivas a pequeña escala.

Componente	CHOLUL	FMVZ	DIF
Grasa (%)	2.63 ±0.54 <sup>a</sup>	2.51 ±0.61 <sup>a</sup>	2.94 ±0.74 <sup>a</sup>
Proteína (%)	4.01 ±0.35 <sup>a</sup>	4.09 ±0.51 <sup>a</sup>	4.19 ±0.36 <sup>a</sup>
Lactosa (%)	3.92 ±0.23 <sup>a</sup>	4.08 ±0.18 <sup>a</sup>	4.36 ±0.20 <sup>b</sup>
Sólidos Totales (%)	12.66 ±0.69 <sup>a</sup>	12.73 ±1.24 <sup>a</sup>	13.51 ±1.09 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	0.87 ±0.03 <sup>a</sup>	0.81 ±0.04 <sup>a</sup>	0.82 ±0.05 <sup>a</sup>
Calcio (mg/100g)	140 ±4 <sup>a</sup>	138 ±11 <sup>a</sup>	139 ±9 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	103 ±9 <sup>a</sup>	94 ±16 <sup>a</sup>	118 ±11 <sup>a</sup>

<sup>a-b</sup> Literales diferentes en una misma fila, indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ).

Los valores promedio ( $n=24$ ) de densidad, pH y acidez fueron  $1.032 \text{ g/cm}^3$ ,  $6.51$  y  $1.36 \text{ g/L}$  ( $13.6^\circ \text{Dornic}$ ), respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre el pH ( $p=0.004$ ) y la acidez ( $p=0.011$ ) de la leche de cabra en función de las unidades de producción (Tabla 2). La densidad fue igual ( $p > 0.05$ ) en la leche de las tres unidades. En el DIF se presentó el valor numéricamente más bajo de pH y el valor más alto de acidez. Comparativamente, con la leche de FMVZ se presentó una menor acidez.

**Variación entre épocas.** En la tabla 3, se indica el comportamiento en cada unidad productiva de acuerdo a la época del año en la que fue recolectada, considerando dos épocas: secas (abril-mayo) y lluvias (junio-julio). En CHOLUL se puede observar que sólo la lactosa ( $p=0.007$ ) y el fósforo ( $p=0.017$ ) presentaron diferencias entre épocas, siendo estos dos componentes más altos en la temporada lluviosa. En este sistema la alimentación de las cabras fue mixta (pastoreo en vegetación nativa + suplementación *ad libitum*).

**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas de la leche de cabra obtenida en tres unidades productivas a pequeña escala.

Propiedad	Unidad productiva		
	CHOLUL	FMVZ	DIF
Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	1.031 ±0.002 <sup>a</sup>	1.032 ±0.001 <sup>a</sup>	1.033 ±0.002 <sup>a</sup>
pH	6.53 ±0.065 <sup>a</sup>	6.54 ±0.054 <sup>a</sup>	6.45 ±0.058 <sup>b</sup>
Acidez ( $\text{g/L}$ ácido láctico)	1.35 ±0.12 <sup>a</sup>	1.20 ±0.09 <sup>b</sup>	1.54 ±0.19 <sup>c</sup>

<sup>a-c</sup> Literales diferentes en una misma fila, indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ).

En CHOLUL y el DIF, no se encontraron variaciones ( $p > 0.05$ ) relevantes en la composición con respecto a la época del año. Sin embargo, en el sistema FMVZ se presentaron diferencias en los sólidos mayoritarios de la leche. Grasa, proteína y lactosa aumentaron significativamente ( $p < 0.05$ ) en la época lluviosa.

**Perfiles de ácidos grasos.** Los contenidos de AG de las diferentes unidades se indican en la tabla 4. Diferencias ( $p < 0.05$ ) en C10:0, C12:0, C15:0, C17:0, C18:1, C19:0, C20:0, C20:1, C20:4 y C22:0 fueron encontradas. En los otros AG, la unidad productiva no tuvo influencia ( $p > 0.05$ ). Los cinco AG mayoritarios obtenidos en este trabajo en orden de abundancia fueron: C16:0, C18:1, C18:0, C14:0 y C10:0, los cuales sumaron más del 80 % del total. El perfil promedio representativo de leche de cabra producida en las tres unidades productivas estuvo compuesto por 64.2% de ácidos grasos saturados (AGS) y 25.6% de ácidos grasos insaturados (AGI), destacando mayoritariamente, el ácido palmítico con  $\sim 26\text{-}27 \text{ g/100}$  lípido y el ácido oleico con  $\sim 22\text{-}27 \text{ g/100}$  lípido.

**Tabla 3.** Composición de la leche de cabra de obtenida de las unidades de producción a pequeña escala en las distintas épocas.

Componente	CHOLUL		FMVZ		DIF	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
Grasa (%)	2.77±0.68 <sup>a</sup>	2.49±0.40 <sup>a</sup>	2.05±0.39 <sup>a</sup>	2.96±0.42 <sup>b</sup>	2.77±0.69 <sup>a</sup>	3.1±0.86 <sup>a</sup>
Proteína (%)	3.79±0.11 <sup>a</sup>	4.23±0.38 <sup>a</sup>	3.67±0.37 <sup>a</sup>	4.50±0.15 <sup>b</sup>	4.34±0.39 <sup>a</sup>	4.05±0.29 <sup>a</sup>
Lactosa (%)	3.75±0.18 <sup>a</sup>	4.09±0.09 <sup>b</sup>	3.93±0.10 <sup>a</sup>	4.22±0.09 <sup>b</sup>	4.33±0.28 <sup>a</sup>	4.40±0.12 <sup>a</sup>
Sólidos Totales (%)	12.45±0.9 <sup>a</sup>	12.86±0.401 <sup>a</sup>	11.66±0.67 <sup>a</sup>	13.79±0.36 <sup>b</sup>	13.39±1.17 <sup>a</sup>	13.62±1.16 <sup>a</sup>
Calcio (mg/100g)	139 ± 4 <sup>a</sup>	140 ± 4 <sup>a</sup>	131 ± 12 <sup>a</sup>	145 ± 5 <sup>a</sup>	139 ± 10 <sup>a</sup>	140 ± 9 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	96 ± 4 <sup>a</sup>	110 ± 4 <sup>b</sup>	86 ± 21 <sup>a</sup>	101 ± 5 <sup>a</sup>	112 ± 4 <sup>a</sup>	124 ± 14 <sup>a</sup>

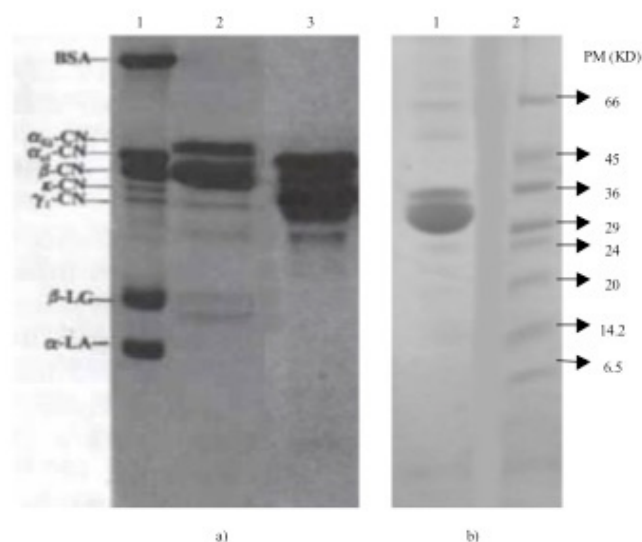
<sup>a-b</sup> Letras diferentes por componente dentro de un mismo sistema productivo en una misma línea indican diferencias significativas entre épocas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 4.** Perfiles de AG de la leche de cabra obtenida en tres sistemas productivos a pequeña escala (g/100g lípido).

ÁCIDO GRASO	CHOLUL	FMVZ	DIF
C8:0 (octadecanoico/ caprílico)	2.18 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.50 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.39 <sup>a</sup>
C10:0 (decanoico/cáprico)	7.61 ± 0.59 <sup>b</sup>	8.84 ± 1.37 <sup>a</sup>	7.42 ± 0.03 <sup>b</sup>
C12:0 (dodecanoico/laúrico)	4.14 ± 0.51 <sup>c</sup>	5.22 ± 1.07 <sup>ab</sup>	4.92 ± 0.73 <sup>bc</sup>
C14:0 (tetradecanoico/mirístico)	10.02 ± 0.64 <sup>a</sup>	10.45 ± 1.31 <sup>a</sup>	9.39 ± 0.32 <sup>a</sup>
C15:0 (pentadecanoico/)	1.96 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.57 ± 0.15 <sup>c</sup>	1.69 ± 0.22 <sup>bc</sup>
C16:0 (hexadecanoico/palmítico)	27.37 ± 1.26 <sup>a</sup>	26.00 ± 2.59 <sup>a</sup>	25.43 ± 1.30 <sup>a</sup>
C17:0 (heptadecanoico/)	1.84 ± 0.36 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.42 ± 0.15 <sup>b</sup>
C18:0 (octadecanoico/esteárico)	12.55 ± 1.37 <sup>a</sup>	12.56 ± 2.08 <sup>a</sup>	10.27 ± 2.31 <sup>a</sup>
C18:1 (9-octadecenoico/oleico)	22.82 ± 1.71 <sup>b</sup>	23.34 ± 3.32 <sup>b</sup>	27.45 ± 1.33 <sup>a</sup>
C18:2 (9-12-octadecadienoico/linoleico)	0.79 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.77 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.27 <sup>a</sup>
C19:0 (nonadecanoico/)	0.60 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>b</sup>
C20:0 (eicosanoico/araquídico)	0.99 ± 0.20 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.15 <sup>a</sup>
C20:1 (11-eicosanoico/gadoleico)	0.39 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.48 ± 0.05 <sup>a</sup>
C20:4 (5,8,11,14-eicosatetraenoico/araquidónico)	0.59 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.57 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.78 ± 0.11 <sup>a</sup>
C22:0 (docosanoico/behénico)	0.44 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.07 <sup>b</sup>
Otros	5.69 ± 1.32 <sup>a</sup>	5.13 ± 0.99 <sup>a</sup>	6.24 ± 3.08 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Literales diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ).

**Perfil electroforético de las caseínas.** Las fracciones de la caseína obtenida de la leche de cabra descremada fueron separadas por SDS-PAGE utilizando geles al 10% (Figura 1). El patrón obtenido (Figura 1b, Carril 1) fue comparable con los primeros estudios para estas proteínas realizados por Jin & Park (17) que se muestra en la Figura 1a (Carril 2), y algo diferente al patrón de caseína de la leche de vaca obtenido por este mismo autor, (Figura 1b, Carril 3).



**Figura 1.** Patrones electroforéticos de las caseínas de la leche obtenida en pequeña escala. a) Obtenidos por Jin & Park (17): 1. Estándar de proteínas caprinas; 2. Leche de cabra; 3. Leche de vaca. b) 1. Patrón obtenido para la leche de cabra de las unidades productivas; 2. Marcador de peso molecular.

## DISCUSIÓN

La similitud en el contenido obtenido para los componentes fisicoquímicos en las muestras de leche de cabra, ha sido reportado por Bodnár et al (7) usando veinte cabras nativas húngaras lactantes que se dividieron aleatoriamente en dos grupos para evaluar el pastoreo extensivo sobre la composición de la leche de cabra, en donde no encontraron cambios ( $p < 0.05$ ) por efecto del pastoreo. Los valores fueron 3.51-3.58% para grasa, 3.06-3.17% para proteína, 4.62-4.64% para lactosa y 11.92-12.07% para sólidos totales. Comparando con los datos del presente estudio, la leche de cabra producida en los sistemas a pequeña escala en Mérida, México presentaron más proteína y sólidos totales, pero menos grasa y lactosa. El bajo contenido de grasa estaría asociado a dietas deficientes en energía y también por la raza, ya que se observa que valores menores se presentaron en la unidad de producción FMVZ donde todas las cabras fueron Criollas, en tanto en las otras unidades de producción tenían cabras de la raza Nubia.

En general, los valores obtenidos de proteína fueron menores a los reportados por Zannierah-Mohsin et al (18) con un intervalo de 4.31 a 5.80% para leche de cabra de varias razas disponibles en Malasia. De manera contraria, los niveles de lactosa en el presente estudio fueron superiores al compararse con las leches de Malasia. Los porcentajes obtenidos de grasa en todas las unidades de producción (2.5 a 2.9%), fueron inferiores a los reportados por estos mismos

autores para diferentes razas (3.1-4.2%). Pajor et al (19), encontraron valores promedio para grasa y proteína de 3.59% y 3.22%, respectivamente para el grupo experimental, con una dieta suplementada con 5 g por cabra por día de algas marinas y de 3.51 %y 3.24%, para el grupo control, sin suplementación. Este efecto de la suplementación fue observado en el DIF donde suministraron hojas de *Bromosium alicastrum* en la alimentación de las cabras. La leche de cabra obtenida en los sistemas productivos a pequeña escala demostró ser una buena alternativa a la leche de vaca, cuya composición química reportada es 12.3% de sólidos totales, 3.8% de grasa, 3.3% de proteína y 4.6% de lactosa (5). En general, la grasa de la leche de las tres unidades productivas fue el constituyente que presentó un valor más bajo (2.5-2.94%) en relación a los promedios reportados en la literatura para diversas razas en diferentes condiciones de manejo. No hubo diferencias ( $p>0.05$ ) en cenizas, calcio y fósforo de la leche de cabra obtenida en las tres unidades de producción. La proporción de minerales es relativamente estable y difícil de alterar por medios alimenticios.

En la unidad de producción FMVZ, los sólidos mayoritarios presentaron diferencias en su contenido ( $p=0.019$ ) respecto a la época, incrementándose significativamente en los meses lluviosos. Este sistema, la alimentación estuvo basada en pastoreo en vegetación nativa y suplementación. Se ha observado que cuando las cabras son alimentadas principalmente en sistemas de pastoreo con disponibilidad y calidad en la vegetación consumida, la condición física del animal, así como la calidad de la leche que producen no se ve afectada. En contraste, en el DIF, los animales en confinamiento no dependieron de la vegetación como su alimento base, ya que se les suplementó con alimentos balanceados y granos, y se les procuraba forraje fresco sobre todo en la temporada seca, el cual consistió de hojas de árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*). Este tipo de alimentación fue probablemente la causa que en este sistema no se observaron variaciones importantes en las temporadas seca y lluviosa. Se encontraron diferencias principalmente durante la temporada de lluvias, en la que se observó mayor contenido de sólidos totales y grasa, probablemente por la alimentación rica en forrajes verdes, ya sea por las condiciones de pastoreo o por suplementación. Es probable que el incremento de lactosa y fósforo también esté relacionado

con un aumento en el nivel de suplementación con alimento balanceado en la época de lluvias.

La densidad de la leche de cabra debe estar entre 1.027 y 1.035 g/cm<sup>3</sup>, por lo que los resultados obtenidos estuvieron dentro de este rango y fueron ligeramente superiores a la leche de cabras de las razas Alpina (1.025 g/cm<sup>3</sup>), Arbia (1.026 g/cm<sup>3</sup>) y Cruzas (1.027 g/cm<sup>3</sup>) (17). Estudios realizados con leche obtenida de la raza Arbia presentaron mayores valores en pH con  $6.75\pm 0.04$  y acidez con  $17.33\pm 0.45^\circ$  Dornic (20). Estas diferencias se debieron al ácido láctico presente en cada leche. Sin embargo, los valores obtenidos para estas propiedades estuvieron dentro los reportados para la leche de cabra. Los valores de pH fueron similares a los reportados por Mohammed et al (21) en leches de cabra producidas en diferentes latitudes con  $6.54\pm 0.07$ .

La determinación de la acidez en leche fresca se realiza para evaluar si es o no apta para el consumo o para de derivados lácteos. A pesar que la acidez de la leche de cabra fue diferente en las tres unidades de producción ( $p=0.011$ ), los valores obtenidos (1.3–1.5 g/L) se mantuvieron dentro de los parámetros para la leche de vaca fresca (1.3-1.7 g/L) señalados por la NOM-155-SCFI-2012, lo cual puede relacionarse con una baja carga microbiana al momento del muestreo y la evaluación de ésta propiedad. Las diferencias podrían asociarse con el manejo higiénico durante la ordeña, ya que se encontró una acidez más baja en la unidad FMVZ, en donde se lavaban y desinfectaban las ubres antes de la ordeña, en cambio en el DIF no se realizaba esta actividad.

Los resultados de la composición de AG fueron menores a los encontrados por Stergiadis et al (22) en el estudio comparativo de leche de cabra y vaca con valores de 70.3% y 68.8% para AGS, respectivamente. Los perfiles de AG obtenidos fueron similares a los indicados por Vargas-Bello-Pérez et al (23) en AG de la leche de cabra suplementada con semillas de girasol y de linaza en dietas basadas en ensilaje de pasto. Estos autores encontraron valores 22.4 a 28.2 g/100g lípido para C:16:0 y de 24.1-28.4 g/100 g lípido para C18:1. También evidenciaron la presencia de AGS de C8:0 a C14:0 y AGI como C18:2. La variación en la composición del ácido oleico (C18:1) en el DIF, pudo estar relacionada a una mayor alimentación de grasas vegetales ricas en ácido oleico que en las otras unidades de producción.

La proporción de ácido oleico en el DIF fue la mayor de las tres unidades de producción, lo que coincide con el tipo de alimentación de las cabras, ya se les daba una mayor cantidad de granos y alimento balanceado en comparación con CHOLUL y FMVZ. La principal fuente de AGS en la nutrición humana son la leche y sus derivados, incluidos aquellos que se consideran responsables de un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular como C12:0, C14:0 y C16:0. El consumo total de AGS actualmente es superior a los niveles nutricionalmente recomendados y la tendencia es a proponer una reducción de su consumo, para contribuir con menos del 10% de la ingesta total de energía (22). Sin embargo, la leche de cabra también contiene varios AG monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA) que se han asociado con efectos positivos para la salud humana. Los principales MUFA beneficiosos en la leche son c9 C18:1 (ácido oleico; OA) y t11 C18:1 (ácido vacénico; VA), mientras que los principales PUFA beneficiosos incluyen c9t11 C18:2 (ácido ruménico; RA) y los omega-3 como 3 (n-3) c9c12c15 C18:3 (ácido -linolénico; ALNA), c5c8c11c14c17 C20:5 (ácido eicosapentaenoico; EPA), c7c10c13c16c19 C22:5 (ácido docosapentaenoico; DPA) y c4c7c10c13c16c19 C22:6 (ácido docosahexaenoico; DHA) (24). En este sentido, la leche de cabra obtenida en los sistemas productivos en pequeña escala, aportaron principalmente los MUFAs como ácidos oleico y gadoleico, que están implicados en diferentes procesos metabólicos entre los que se encuentra la disminución del colesterol LDL) y aumento de colesterol HDL), así como una reducción del riesgo de síndrome metabólico. También tuvieron PUFAs como ácido linoleico y araquidónico que pueden mejorar la disfunción cognitiva, lesiones cerebrales orgánicas y mejorar la disfunción endotelial relacionada con la edad y que suele desembocar en enfermedades cardiovasculares (25).

Las dos bandas de caseínas más abundantes se encontraron en las regiones de pesos moleculares de 20 a 36 kDa, lo cual concuerda con las identificadas por Padilla-Doval et al (26) que estuvieron en del rango (23-25 kDa) en geles SDS-PAGE. Estas dos bandas de acuerdo a los resultados de Jin & Park (17), probablemente sean las  $\alpha_s$ -caseína y la  $\beta$ -caseína. También identificaron a la primera banda de estos carriles (en orden descendente) como la  $\alpha_{s2}$ -caseína y la banda más espesa o gruesa como  $\beta$ -caseína (Figura 1a, Carril 2). Esto coincide con lo reportado acerca de que una de las proteínas

que está ausente o en bajas concentraciones en el complejo de caseínas de la leche de cabra fue la  $\alpha_{s1}$ -caseína. El porcentaje esta proteína varía del 0 al 25% y es dependiente de la existencia de polimorfismos (27). Con base a esto, la caseína más abundante del gel obtenido para la muestra de leche de cabra en este trabajo fue la  $\alpha_{s2}$ -caseína.

La ausencia de  $\alpha_{s1}$ -caseína, puede ser un factor que influya sobre las propiedades tecnológicas de la leche de cabra producida en estos sistemas, principalmente en la elaboración de quesos, al formar cuajadas más suaves y producir rendimientos menores (28). Generalmente, el menor contenido de  $\alpha_{s1}$ -caseína en comparación con la leche bovina se asocia con micelas de caseína más pequeñas, con poros menos hidratados. Por lo tanto, el yogur y el queso elaborados con leche de cabra tienen una estructura de gel menos densa y características de coagulación menores en comparación a sus homólogos elaborados con leche de vaca (29). Esto podría ser solucionado mediante la estandarización de la leche, o con el uso de tecnologías como la acidificación, concentración proteica y la adición de sales de calcio para mejorar la textura de las cuajadas. Nutricionalmente, la ausencia de esta fracción sería ventajosa para la reducción de alergias asociadas al consumo de leche de vaca y al formarse cuajadas más suaves, la leche sería mejor digerida, lo que la convierte en un ingrediente valioso para personas con altas necesidades de proteínas, como atletas y culturistas. Además, la leche de cabra tiene bajo contenido de lactosa, lo que la hace adecuada para niños y personas con intolerancia a la lactosa (15). En conclusión, la leche producida en estos sistemas de pequeña escala tiene una composición química y calidad nutricional comparable con la leche de vaca. El contenido de lactosa, el pH y la acidez de la leche de cabra fue diferente en función de las unidades de producción. La densidad, grasa, proteína y cenizas no se vieron influenciadas por la unidad productiva donde se recolectó la leche. En el sistema la alimentación de las cabras mixta que incluía pastoreo en vegetación nativa y suplementación *ad libitum*, solamente la lactosa y el fósforo presentaron diferencias entre épocas, siendo más altos en la temporada lluviosa. La leche de cabra producida presenta mejores beneficios a la salud de los consumidores por su aporte de ácidos grasos, mejor digestión de sus proteínas y ser una alternativa para las personas que padecen alergias alimentarias.



## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## Financiación

Los autores agradecen al CONACYT-México por el apoyo financiero.

## Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron a la concepción y diseño del estudio, C. Barrientos-Ávila: Trabajo experimental y obtención de resultados; A. Castellanos-Ruelas y S. Gallegos-Tintoré: Preparación de materiales, recogida y análisis de datos; L. Chel-Guerrero: Supervisión y validación experimental; D. Betancur-Ancona: escritura del primer borrador del manuscrito, gestión, conceptualización y validación del proyecto. Todos los autores participaron en la redacción y revisión del artículo.

## REFERENCIAS

1. Colonna MA, Rotondi P, Selvaggi M, Caputi-Jambrenghi A, Ragni M, Tarricone S. Sustainable rearing for kid meat production in Southern Italy marginal areas: a comparison among three genotypes. *Sustainability*. 2020; 12:6922-6936. <https://doi.org/10.3390/su12176922>
2. FAO. FAOSTAT—Statistical Databases. Food and Agriculture Organisation of the United Nation; 2023. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
3. Isidro-Requejo LM, Meza-Herrera CA, Pastor-López FJ, Maldonado JA, Salinas-González H. Physicochemical characterization of goat milk produced in the Comarca Lagunera, Mexico. *Anim Sci J*. 2019; 90:563-573. <https://doi.org/10.1111/asj.13173>
4. Ramírez-Rivera EJ, Rodríguez-Miranda J, Huerta-Mora IR, Cárdenas-Cágal A, Juárez-Barrientos JM. Tropical milk production systems and milk quality: a review. *Trop Anim Health Prod*. 2019; 51:1295-1305. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>
5. Yadav KA, Singh J, Yadav KS. Composition, nutritional and therapeutic values of goat milk: A review. *Asian J Dairy Food Res*. 2016; 35(2):96-102. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.v35i2.10719>
6. Kawęcka A, Pasternak M. Chemical, nutritional and sensory characteristics of milk and cheeses obtained from autochthonous, cosmopolitan, and crossbred goats, *Ann Anim Sci*. 2024; <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0006>
7. Bodnár Á, Egerszegi I, Kuchtik J, Pensza K, Póti P, Pajor F. Effect of grazing on composition, fatty acid profile and nutritional indices of the goat milk and cheese. *J Anim Feed Sci*. 2021; 30(4):320-328. <https://doi.org/10.22358/jafs/144843/2021>
8. Meena-Goswami BSK, Tewari A, Sharma H, Karunakara KN, Khanam T. Implication of functional ingredients of goat milk to develop functional foods. *J Anim Feed Sci Tech*. 2017; 5:65-72. <https://doi.org/10.21088/jafst.2321.1628.5217.5>
9. Kawęcka A, Pasternak M. Nutritional and dietetic quality of milk and traditional cheese made from the milk of native breeds of sheep and goats. *J Appl Anim Res*. 2022; 50:39-46. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.2020125>
10. Singh S, Kaur G, Rana Partap Singh-Brar RP, Singh-Preet G. Goat milk composition and nutritional value: A review. *Pharma Innov J*. 2021;10(6S):536-540. <https://www.thepharmajournal.com/special-issue?year=2021&vol=10&issue=6S&ArticleId=6712>
11. AOAC. Official Method 989.04. Fat in raw milk. Babcock method, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th Edition. AOAC Association of Official Analytical Chemists: Arlington, USA. 1997.
12. NOM - 155 - S C F I - 2012. Leche - Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. NORMA Oficial Mexicana; 2012. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>

13. AOAC. Official Method 969.33. Fatty Acid in Oils and Fats Preparation of Methyl Ester Boron Trifluoride Method, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th Edition. AOAC Association of Official Analytical Chemists: Washington DC, USA; 1990.
14. NIST. Mass spectral library (NIST/EPA/NIH). National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg; 2008. <https://chemdata.nist.gov/mass-spc/ms-search/docs/Ver20Man.pdf>
15. Qin YS, Jiang H, Wang CF, Cheng M, Wang LL, Huang MY, Zhao QX, Jiang HH. Physicochemical and functional properties of goat milk whey protein and casein obtained during different lactation stages. *J Dairy Sci.* 2021; 104(4):3936-3946. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19454>.
16. StatGraphics Centurion software, Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA; 2019. <https://www.statgraphics.com>.
17. Jin YK, Park YW. SDS-PAGE of proteins in goat milk cheeses ripened under different conditions. *J Food Sci.* 1996; 61:490-495. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb13140.x>
18. Zannierah-Mohsin A, Sukor R, Selamat J, Meor-Hussin AS, Intan Hakimah-Ismail I. Chemical and mineral composition of raw goat milk as affected by breed varieties available in Malaysia. *Int J Food Prop.* 2019; 22(1):815-824. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1610431>
19. Pajor F, Várkonyi D, Dalmadi I, Pásztorné-Huszár, K, Egerszegi I, Penksza K, Póti P, Bodnár Á. Changes in chemical composition and fatty acid profile of milk and cheese and sensory profile of milk via supplementation of goats' diet with marine algae. *Animals.* 2023; 13:2152-. <https://doi.org/10.3390/ani13132152>
20. Atika B, Yamina M, Baïssa B. Comparative study of some physicochemical criteria of the milk of goats raised in the Touggourt region, Algeria. *J Food Nut Res.* 2023; 11(2):144-149. <https://doi.org/10.12691/jfnr-11-2-5>
21. Mohammed, Elimam-Ahamed M, Brima, Ibrahim E, Alasidy, Aaed, Qurishi, Nasir, Algarni, Moad, Alshehri, Mohammed-Abdallah B. Physicochemical properties and some mineral concentration of milk samples from different animals and altitudes. *Open Chem.* 2022; 20(1):494-504. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0171>
22. Stergiadis S, Nørskov NP, Purup S, Givens I, Lee MRF. Comparative Nutrient Profiling of Retail Goat and Cow Milk. *Nutrients.* 2019; 11(10):2282. <https://doi.org/10.3390/nu11102282>
23. Vargas-Bello-Pérez E, García Montes de Oca CA, Pescador Salas N, Estrada Flores JG, Romero Bernal J, Robles-Jimenez LE, Gonzalez-Ronquillo M. Productive performance, milk composition and milk fatty acids of goats supplemented with sunflower and linseed whole seeds in grass silage-based diets. *Animals.* 2020; 10(7):1143-1155. <https://doi.org/10.3390/ani10071143>
24. Swanson D, Block R, Mousa SA. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. *Adv Nutr.* 2012; 3(1):1-7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>
25. Baker EJ, Miles EA, Burdge GC, Yaqoob P, Calder PC. Metabolism and functional effects of plant-derived omega-3 fatty acids in humans. *Prog Lipid Res.* 2016; 64:30-56, <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.07.002>
26. Padilla-Doval J, Zambrano-Arteaga JC. Estructura, propiedades y genética de las caseínas de la leche: una revisión. *CES Med. Zootec.* 2021; 16(3):62-95. <https://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.5231>
27. Rahmatalla SA, Arends D, Brockmann GA. Review: Genetic and protein variants of milk caseins in goats. *Front Genet.* 2022; 13:995349. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.995349>
28. Nayik GA, Jagdale YD, Gaikwad SA, Devkatte AN, Dar AH, Ansari MJ. Nutritional profile, processing and potential products: A comparative review of goat milk. *Dairy.* 2022; 3:622-647. <https://doi.org/10.3390/dairy3030044>
29. Ingham B, Smialowska A, Kirby NM, Wang C, Carr AJ. (2018). A structural comparison of casein micelles in cow, goat and sheep milk using X-ray scattering. *Soft Matter.* 2018; 14:3336-3343. <https://doi.org/10.1039/c8sm00458g>