

LA LECHE DE CABRA (I):



Por: A. QUILES y M.L. HEVIA *

LÍPIDOS, PROTEÍNAS Y GLÚCIDOS

La leche es una mezcla de sustancias definidas: lactosa, ácidos grasos, caseínas, albúminas, etc. Las proporciones de cada uno de estos compuestos pueden variar ampliamente y, a pesar de que se pueden aislar de la mezcla sin modificación, no disponen de una independencia en la leche, sino todo lo contrario, existe una interdependencia más o menos estrecha. Pudiendo citar algunos ejemplos como las caseínas y el fosfato de cal o el agua ligada a las proteínas.

No obstante, con un fin puramente didáctico, abordaremos el estudio de cada uno de los componentes de la leche de forma separada. Por otra parte, hemos de tener en cuenta la enorme variabilidad a la hora de hablar de la composición química de la leche de cabra ya que ésta va a estar influenciada por factores tales como la raza, el individuo, la alimentación, el clima, el estado fisiológico, la sanidad, etc.

En la leche podemos distinguir tres fases:

- La emulsión de materia grasa bajo forma globular.
- La suspensión de caseína unida a sales minerales.
- La solución o fase acuosa.

En el cuadro 1 vienen recogidos los datos sobre composición química de la leche de cabra, según autores y razas. Las diferencias observadas son debidas no solo al factor raza sino también en parte a los procedimientos de muestreo y técnicas analíticas, así como al número de muestras analizadas y, también, porque no decirlo, a la propia idiosincrasia de las cabras.

LÍPIDOS.

La materia grasa es uno de los componentes de la leche que más varía tanto cuantitativamente como cualitativamente. Diversos son los factores que influyen en la materia grasa, destacando principalmente la alimentación.

La fracción lipídica de la leche la podemos clasificar en tres grandes grupos:

- 1.- Los lípidos neutros, es decir, la

materia grasa propiamente dicha. Está constituida por glicéridos y, generalmente, se encuentra en forma libre. Suponen alrededor del 98,5% de los lípidos de la leche de cabra.

2.- Los lípidos polares, son fosfolípidos de naturaleza compleja. Se encuentran en forma ligada y, principalmente, en la membrana de los glóbulos de grasa. Constituyen entre un 0,5 y un 1% del conjunto.

3.- Los lípidos insaponificables de naturaleza diferente a los anteriores aunque también son insolubles en agua. Están presentes en la proporción del 1%. Dentro de este grupo destacan las vitaminas liposolubles.

LOS GLÓBULOS DE GRASA.

La leche de cabra contiene glóbulos de grasa heterogéneos, constituidos principalmente por triglicéridos, parcialmente cristalizados a temperatura ambiente, y recubiertos de una envoltura o membrana compleja.

La membrana de estos glóbulos estaría formada por:

* Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia.

CUADRO I
COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CABRA (Varios autores)

| PAÍS | RAZA | SÓLIDOS TOTALES | GRASA | PROTEÍNA | LAC- TOSA | CENI- ZAS | AUTOR |
|-----------|--------------|--------------------|-------|----------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Finlandia | Finesa | 12,55 | 3,90 | 3,52 | 4,48 | 0,84 | UUSI-RAUVA et al. (1970) |
| Alemania | Fawn | 12,43 | 3,92 | 2,90 | 4,01 | - | GRAF et al. (1970) |
| Trinidad | British-Alp. | 11,50 | 3,40 | 2,90 | - | 0,78 | DEVENDRA (1972) |
| Trinidad | Anglo-Nub. | 12,20 | 4,10 | 3,40 | - | 0,79 | DEVENDRA (1972) |
| India | Barbari | - | 4,11 | 3,78 | 4,80 | 0,82 | SACHDEVA et al. (1974) |
| India | Jamnapari | - | 4,31 | 3,74 | 4,72 | 0,82 | SACHDEVA et al. (1974) |
| Nigeria | Saanen | 12,15 | 3,41 | 3,07 | 4,53 | - | MBA et al. (1975) |
| Nigeria | Red Sokoto | 15,28 | 4,86 | 4,38 | 4,72 | - | MBA et al. (1975) |
| Nigeria | Afric. dwarf | 17,87 | 7,10 | 4,71 | 5,58 | - | MBA et al. (1975) |
| Italia | Sardinia | - | 5,10 | 3,90 | - | 0,71 | PUSINO y VODERT (1975) |
| Nigeria | Afric. dwarf | 18,68 | 6,90 | 3,91 | 6,30 | 0,82 | AKINSOYINU et al. (1977) |
| España | Mur-Grana | 13,70 | 4,71 | 3,46 | 4,70 | - | MARQUES (1977) |
| Corea | Saanen | 11,61 | 3,27 | 3,65 | 3,91 | 0,78 | CHANG y KIM (1978) |
| Australia | Saanen | 12,24 | 4,01 | 3,10 | 4,95 | - | RANAWANA y KELLAWAY (1977) |
| USA | Pigmea Afri | 21,55 | 7,76 | 5,06 | 5,35 | 0,84 | JENNESS (1979) |
| Italia | - | 12,43 | 2,99 | 3,33 | - | 0,95 | PRIMATESTA (1979) |
| Brasil | - | 14,23 | 4,75 | 3,98 | 4,72 | 0,78 | WOLFSCHOON y MANSUR (1979) |
| Australia | Saanen | 11,65 | 3,40 | 3,22 | - | - | MIDDLETON y FITZ (1981) |
| India | Jamnapari | 13,26 | 4,70 | 3,78 | 3,95 | 0,81 | QURESHI et al. (1981) |
| Bulgaria | - | 12,85 | 4,04 | 3,62 | 4,42 | 0,77 | VEINOGLOU et al. (1982) |
| Grecia | - | 13,65 | 4,90 | 3,67 | 4,31 | 0,85 | VEINOGLOU et al. (1982) |
| Turquía | Maltesa | 11,33 | 3,45 | 2,98 | - | 0,82 | GONÇ (1982) |
| Malawai | - | 16,30 | 6,70 | 2,20 | - | 1,10 | MWENEFUMBO y PHOYA (1982) |
| Italia | Alpina | 11,44 | 3,35 | 2,90 | - | 0,79 | CSATAGNETTI et al. (1984) |
| Egipto | - | - | 4,04 | 3,55 | 4,48 | 0,83 | EL-ZAYAT et al. (1984) |
| Italia | - | 14,70 | 5,70 | 3,83 | 4,30 | 0,80 | GHIONNA et al. (1984) |
| Chile | Anglo-Nub. | 12,89 | 4,41 | 3,58 | 4,14 | 0,77 | PINTO et al. (1984) |
| Arabia S. | - | 13,00 | 3,90 | 4,38 | - | 0,87 | SAWAYA et al. (1984) |
| Libia | Maltesa | 12,94 | 4,04 | 3,76 | 4,40 | 0,88 | GNAN et al. (1985) |
| Noruega | - | 11,80 | 3,50 | 3,20 | 4,30 | 0,81 | ARBIZA (1986) |
| España | Murciana | 15,67 | 6,57 | 3,60 | - | 0,89 | MARTIN-HERNAN et al. (1988) |
| España | Granadina | 13,23 | 4,53 | 3,47 | - | 0,82 | MARTIN-HERNAN et al. (1988) |
| Grecia | Alpina | 11,76 | 3,44 | 3,35 | 4,30 | 0,79 | VOUTSINAS et al. (1990) |
| Irlanda | - | 12,27 | 3,63 | 3,39 | - | 0,78 | ESPIE y MILLAN (1990) |

- Fosfolípidos y colesterol.

- Proteínas: especialmente una glicoproteína (semejante al componente III de las proteosas-peptonas del suero).

- Enzimas: principalmente fosfatasa alcalina y xantina oxidasa.

- Otras sustancias: Vitamina B12 o riboflavina.

Esta membrana recubriría la gota lipídica, siendo la de los glóbulos de grasa de cabra de mayor tamaño que la de los de vaca.

Respecto a su estructura, hoy en día se sabe que es una verdadera membrana biológica y, que la permeabilidad selectiva a los iones no es un fenómeno de ósmosis, sino un transporte activo con intervención de enzimas.

La membrana estaría constituida por dos partes:

- Capa interna: Se parece a una membrana celular, estando constituida por proteínas globulares y fosfolípidos. Es bastante resistente y su función es aislar al glóbulo de grasa. Esta capa está en contacto con triglicéridos de alto punto de fusión mediante fuerzas del tipo de Van der Waals.

- Capa externa: En ella se encuentra localizada la actividad enzimática. Esta capa juega un papel importante en los fenómenos de adsorción y aglutinación.

Parece ser que la membrana de los glóbulos grasos consta de membrana plasmática de las células secretoras, las cuales han envuelto el glóbulo de

grasa en la secreción. Existiendo una gran similitud en el perfil de los fosfolípidos entre ambas membranas, sobre todo por su alto contenido de esfingomielina (20-25%).

Los glóbulos grasos de la leche de cabra se caracterizan por la abundancia de los de tamaño muy reducido. Con un tamaño medio de 3,4 micras, teniendo el 76,28% de los mismos un tamaño comprendido entre 2 y 3,9 micras.

A igualdad de concentración de grasa, la leche de cabra tiene el doble de glóbulos grasos que la de vaca, con unos diámetros inferiores de 3,53 y 1,99 micras para la leche de vaca y cabra, respectivamente.

El tamaño de los glóbulos tiene una gran importancia desde el punto de vista nutritivo, ya que un glóbulo con un tamaño inferior a 5 micras ve disminuido su tiempo de resistencia en el estómago y de tránsito intestinal. Pudiendo haber una posible asimilación directa de los glóbulos grasos por la mucosa intestinal en estado micelar (pinocitosis), de ahí que muchos médicos la recomiendan como alimento para niños y ancianos.

Los tratamientos térmicos afectan de una forma directa al tamaño de los glóbulos grasos ya que temperaturas de 61°C durante 30 minutos hacen aumentar el tamaño en un 12%, debido a la fusión entre ellos; con lo cual no solo se modifica el tamaño sino también el número total de glóbulos grasos.

El tamaño globular también se puede ver alterado por otros factores tales como el ordeño, el almacenamiento de la leche, la manipulación durante el transporte o la fase de la lactación. En este sentido, el diámetro de los glóbulos tiende a disminuir a medida que avanza la lactación, siendo las primeras porciones, en el curso de un ordeño, las que contienen glóbulos más pequeños.

Exámenes de microscopía electrónica en células secretoras de la glándula mamaria, han puesto de manifiesto que no hay diferencias entre la vaca y la cabra en el mecanismo de secreción de los glóbulos de grasa.

En general, todos los procesos que intentan separar la fase lipídica son más difíciles en la leche de cabra que en la de vaca u oveja. La crema se deposita con menos rapidez y casi nunca lo hace de forma completa. Por otra parte, tampoco sube tan rápidamente, lo que, indudablemente, dificulta la formación de grumos. Esta escasa formación de grumos, parece ser que no es debida al

pequeño tamaño de los glóbulos como se pensaba hasta ahora, sino que es consecuencia de la escasez de euglobulinas aglutinantes, por lo que la adsorción de los glóbulos se ve dificultada.

TRIGLICÉRIDOS

Los triglicéridos son ésteres de glicerol y ácidos grasos alifáticos.

Representan el 98,99% de los lípidos de la leche de cabra y forman la estructura de los glóbulos de grasa.

Los monoglicéridos y diglicéridos son poco frecuentes, representando tan sólo el 0,5% del total.

La sangre contiene ácidos grasos de origen alimentario y ácidos grasos saturados sintetizados por el hígado, esencialmente de 16 y 18 átomos de carbono. Son transportados por la sangre en forma de triglicéridos en los quilomicrones y las lipoproteínas hacia la mama, en donde son liberados por la acción de una lipoproteína-lipasa sintetizada en el acinus. Esta lipólisis produce ácidos grasos libres, glicerol y monoglicéridos que pasan a la vía de la síntesis butírica. De este manera, la mama incorpora ácidos grasos de 4 a 18 átomos de carbono a la leche.

Por otra parte, la microflora ruminal aporta al torrente sanguíneo, aunque en poca cantidad, ácidos grasos de número impar de átomos de carbono, a la vez que provoca la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados de 18 átomos de la dieta.

El análisis de la distribución posicional de los ácidos grasos de los triglicéridos de la leche de cabra, muestra que la mayoría de los ácidos de cadena corta (C4 a C8) están esterificados en la posición 3 del glicerol; mientras que los cadenas más largas (C10 o más) están en la posición 1 ó 2.

La leche de cabra tiene una composición en ácidos grasos volátiles el doble que la de vaca, 16,6% frente al 8%. El porcentaje de ácidos grasos saturados varía entre el 65,9% y el 71,9%. Los más importantes desde el punto de vista cuantitativo son: los ácidos palmitíco, esteárico y cáprico (cuadro 2).

En cuanto a los ácidos grasos monoinsaturados, el más abundante es el ácido oléico. Y por lo que respecta a los ácidos poliinsaturados, destacan principalmente el ácido linoléico y el linolénico, y, en menor medida, el ácido araquídónico.

Como puede apreciarse en el cuadro 2, los datos reflejan una gran variabilidad debido a factores tales como la

**CUADRO 2
COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS (% PESO) DE LA LECHE DE CABRA. (Varios autores)**

| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) | (g) | (h) | (i) | (j) |
|---------------------------------------|------|------|------|-------|-----------|-------------|------|------|-------|-------|
| Ac. BUTÍRICO (C _{4:0}) | 4,5 | 3,8 | 0,7 | 2,20 | 1,0-4,9 | 2,11-3,45 | 2,6 | 1,3 | 4,46 | 3,38 |
| Ac. CAPRÓLICO (C _{6:0}) | 3,2 | 2,2 | 2,4 | 2,57 | 1,5-4,3 | 2,66-3,17 | 2,9 | 2,1 | 2,40 | 3,14 |
| Ac. CAPRÍLICO (C _{8:0}) | 3,4 | 1,9 | 3,2 | 3,23 | 2,0-5,2 | 2,31-3,19 | 2,7 | 3,7 | 2,38 | 3,12 |
| Ac. CÁPRICO (C _{10:0}) | 9,8 | 5,4 | 8,7 | 10,60 | 7,1-16,1 | 7,16-10,83 | 8,4 | 11,1 | 8,27 | 9,78 |
| Ac. LAURICO (C _{12:0}) | 4,1 | 2,5 | 4,7 | 4,79 | 3,3-9,8 | 3,31-7,60 | 3,3 | 4,8 | 3,17 | 5,03 |
| Ac. MIRÍSTICO (C _{14:0}) | 8,7 | 7,7 | 10,7 | 10,25 | 6,9-15,4 | 7,16-14,94 | 10,3 | 12,6 | 9,03 | 10,98 |
| Ac. PALMÍTICO (C _{16:0}) | 21,9 | 21,3 | 28,5 | 28,37 | 16,7-39,4 | 21,28-34,30 | 24,6 | 27,5 | 26,08 | 26,94 |
| Ac. PALMITOLEICO (C _{16:1}) | 1,8 | - | - | 1,95 | 0,7-3,5 | 0,55-1,30 | 2,2 | 2,6 | - | 2,34 |
| Ac. HEPTADECANOL (C _{17:0}) | 0,9 | - | - | 0,88 | 0,1-1,7 | 0,31-0,79 | 1,0 | - | - | - |
| Ac. ESTEÁRICO (C _{18:0}) | 8,3 | 14,4 | 13,0 | 6,25 | 4,4-17,3 | 3,83-11,17 | 11,5 | 8,5 | 16,69 | 8,30 |
| Ac. OLEICO (C _{18:1}) | 20,8 | 28,1 | 25,2 | 19,70 | 13,5-33,3 | 14,17-27,59 | 28,5 | 18,9 | 24,90 | 22,34 |
| Ac. LINOLEICO (C _{18:2}) | 3,2 | 2,5 | 2,9 | 1,80 | 0,5-4,7 | 1,19-3,80 | 2,2 | 1,4 | 1,12 | 2,42 |
| Ac. LINOLENICO (C _{18:3}) | - | 0,7 | - | 0,32 | 0,2-2,5 | 1,70-4,12 | 1,0 | - | 1,09 | 1,14 |

(a) UUSI-RAUVA, et al. (1970).

(b) KLOBASA y SENFT (1970).

(c) KUZDZAL-SAVOIE y KUZDZAL (1963).

(d) MARTIN-HERNANDEZ et al. (1988).

(e) GARCIA OLMEDO, et al. (1979 y 1980).

(f) CERUTTI et al. (1978).

(g) CHRISTIE (1983).

(h) ASHWORTH et al. (1966).

(i) BOROS y STEVONKOVA (1990).

(j) GALVANO y SCERRA (1984).

raza, el número de cabras de la muestra, la fase de lactación en que se encuentre la hembra o la composición de la dieta, factores que muchas veces no son reflejados en las publicaciones, y que pueden inducir a posibles errores.

FOSFOLÍPIDOS Y CEREBRÓSIDOS.

Los fosfolípidos son lípidos polares porque junto a los ácidos grasos poseen ácido fosfórico, azúcares y sustancias nitrogenadas.

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1.- Glicerofosfátidos: Se diferencian de los triglicéridos en que una de las funciones glicerol está esterificada con el ácido fosfórico, el cual a su vez está ligado a una base orgánica, y así tenemos:

- Cefalina: etanolamina.
- Lecitina: colina.
- Inositol: fosfatidil inositol.
- Serina: fosfatidil serina.

2.- Esfingomielinas: El glicerol está sustituido por un dialcohol amino insaturado: la esfingosina. Hay solamente un ácido graso ligado por un enlace amida. La parte fosforada es la misma que en los glicerofosfátidos.

Su función principal es servir de estabilizador de los glóbulos grasos en la emulsión, gracias a sus grupos hidrófilos y lipófilos.

Los fosfolípidos constituyen del 0,5

al 1% de los lípidos de la leche de cabra, lo que representa de 30 a 40 mg/100 g de leche, de los cuales 9,3 mg era lecitina, 16,2 mg fosfatidil etanolamina más fosfatidil serina y 7,4 mg esfingomielina.

En cuanto a su localización, aproximadamente el 40% se encuentra en la fase no grasa de la leche, y el resto en la membrana de los glóbulos grasos.

Los fosfolípidos se caracterizan por la ausencia de ácidos grasos de cadena corta. En este sentido, en la cefalina los ácidos grasos C18:1 y C18:2 representan el 52 y 18,4% respectivamente, pudiendo también observar la presencia de C21:0. En la fosfatidil serina los C16:0 y C18:1 representan el 38,7 y 32,2% respectivamente.

El contenido de fosfolípidos se puede ver influenciado por factores como la raza caprina, la alimentación, la fase de lactación o el almacenamiento y posterior tratamiento de la leche. Así por ejemplo, se ha observado que si se agitan fuertemente leches que han sido almacenadas a bajas temperaturas, la presencia de fosfolípidos en el suero aumenta notablemente.

En cuanto a los cerebrósidos, su contenido es de 0,97 mg de glucosil ceramida y 1,53 mg de lactosil ceramida por cada 100 ml de leche de cabra. Repartidos entre la fracción no grasa de la leche (44%) y la membrana de los glóbulos de grasa (56%).



LÍPIDOS INSAPONIFICABLES.

Las sustancias insaponificables son insolubles en agua, y representan alrededor del 0,5% de la materia grasa total. En esta fracción se incluyen pigmentos (ausencia de β -carotenos en la leche de cabra), vitaminas liposolubles, cuerpos cetónicos y esteroles (principalmente el colesterol).

El contenido medio en la leche de cabra es de 2,38 mg/100 ml o 460 mg/100 g de grasa.

El 90% de los lípidos insaponificables lo constituye el colesterol, con un contenido medio de 420 mg/100 g de materia grasa. Sin embargo, su contenido es mucho más alto en el calostro (40 mg/100 ml de leche).

El colesterol en leche caprina lo podemos encontrar bajo dos formas: colesterol libre: 12,93 mg/100 ml y colesterol esterificado: 0,36 mg/100 ml, estando el 65,7% del colesterol libre y el 42% del esterificado asociado a los glóbulos de grasa.

PROTEÍNAS

En la leche de cabra podemos distinguir dos grupos de compuestos nitrogenados: las proteínas y las sustancias nitrogenadas no proteicas.

Dentro de las proteínas lácteas distinguimos a su vez tres grupos:

a) La caseína entera: Es un complejo de proteínas fosforadas. Se caracteriza

porque precipitan cuando se acidifica la leche a pH 4,6, por lo que se le ha llamado "proteína insoluble". Es la fracción más abundante, constituyendo el 70-75% del nitrógeno total (cuadro 3).

b) Proteínas del lactosuero o proteínas solubles: Formadas principalmente por las albúminas y globulinas.

c) Las proteosas-peptonas: Son sustancias glicoproteicas con un peso molecular intermedio entre las proteínas y los péptidos.

Mención aparte lo constituye las

sustancias nitrogenadas no proteicas, las cuales comprenden un gran número de sustancias de peso molecular inferior a 500 daltons. Todas ellas son dializables y permanecen en solución en las condiciones en que se produce la precipitación de las proteínas.

En líneas generales, la leche de cabra es más pobre en proteínas que la de vaca, 28,18 g/Kg frente a 31,10 g/Kg. Por otra parte, el contenido de proteína coagulable es más bajo, lo que se traduce en un rendimiento quesero en la leche de cabra inferior al de la vaca.

CASEÍNAS

Las micelas.

Las caseínas se encuentran en la leche en forma micelar -la mayoría de ellas-, estando en suspensión estable gracias a la presencia de cargas negativas y de grupos glucídicos hidrófilos (6).

Las micelas son un complejo orgánico de caseínas (α , β y κ -caseína) unidas al fosfato cálcico coloidal. Por lo tanto, la micela es fundamentalmente de naturaleza proteica (92-93%), aunque se encuentren presentes ciertos minerales, principalmente el calcio y el fósforo, y en menor medida los citratos y el magnesio.

Estas micelas, a su vez, están constituidas por unas subunidades denominadas submicelas, formadas por los tres tipos de caseínas en proporciones variables, en función de su localización dentro de la micela y con la presencia

(1) Aproximadamente en la leche de cabra el 5% de las caseínas se encuentran en forma de monómeros o de pequeños agregados, es la denominada "caseína soluble".

CUADRO 3
COMPOSICIÓN PROTEICA DE LA LECHE DE CABRA (Varios autores)

| | RAZAS | | |
|------------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| | SAANEN (a) | ALPINA (a) | ANGLO-NUBIANA (b) |
| FRACCIÓN | PROPORCIÓN %* | PROPORCIÓN % | PROPORCIÓN % |
| TOTAL PROTEÍNA | 100 | 3,53 | 100 |
| PROTEÍNA VERDADERA | 93,77 | 3,31 | 93,47 |
| PROTEÍNAS SERICAS | 27,20 | 0,96 | 27,27 |
| PROTEÍNAS SERICAS VERDADERAS | 21,50 | 0,74 | 20,91 |
| CASEÍNAS | 72,80 | 2,57 | 72,73 |
| NITRÓGENO NO PROTEICO | 6,23 | 0,22 | 6,36 |

* g/100 g de leche
(a) CSAPO et al. (1984a).
(b) DIEVENDRA (1972).

de calcio en cada grupo fosfato.

La organización micelar es de tal forma que las -caseínas de las submicelas se localizan hacia el exterior, es decir, hacia la fase acuosa, mientras que en el interior las submicelas son mucho más pobres en -caseína.

En otro orden de cosas, diremos que las caseínas más fosforiladas (α y β , con 7 y 5 ó 6 grupos fosfatos respectivamente) son inestables en presencia de calcio pero no así la κ -caseína, y gracias a ello la micela está en solución coloidal. De tal manera, que si por alguna razón se desintegra la κ -caseína, las micelas dejan de ser estables en presencia de calcio, comienzan a agregarse y a aprisionar la fase acuosa, dando lugar al fenómeno de la coagulación láctea.

En líneas generales, la composición global de la micela de la leche de cabra es comparable a la de vaca, ya que contiene 15,55% de nitrógeno, 0,78% de fósforo, 0,39% de hexonas y 0,31% de hexosaminas, frente al 15,35%, 0,85%, 0,38% y 0,36% de la leche de vaca.

En conjunto la micela caprina contiene menor proporción de ácido glutámico que la bovina, por el contrario contiene más histidina.

El porcentaje de sedimentación de la caseína por medio de la centrifugación es menor en la leche de cabra que en la de vaca. En este sentido, CERBULIS (1969) demostró que centrifugando a 30.000 g durante 60 minutos a 25° C sedimentaba el 93% de la caseína de leche de vaca Holstein frente a tan sólo el 81% de caseína de cabra.

Por otra parte, la disociación de la β -caseína de las micelas a baja temperatura es mucho más marcado en la leche de cabra que en la de vaca. Así O'CONNOR y FOX (1973) centrifugando a 78.000 g durante 60 minutos, encontraron que el 10% de la β -caseína era soluble a 20° C y el 25% a 5° C, mientras que para la leche de vaca los porcentajes de solubilidad eran del 1 y 10% respectivamente.

Respecto al tamaño micelar, la microscopía electrónica ha puesto de manifiesto que la mayoría de las micelas tienen un diámetro inferior a 80 nm, mientras que muy pocas su diámetro es superior a 200 nm. Esta proporción de pequeñas micelas es mucho más grande que en la leche de vaca.

Por otra parte, la fase de la lactación influye en el tamaño de las micelas, de tal manera que éste disminuye de 79,8 nm a 76,8 nm entre la 2^a y la 16^a sema-

na de lactación.

Finalmente, diremos que la proporción de caseína/calcio coloidal/fósforo inorgánico coloidal es de 1/0,044/0,020, lo cual pone de manifiesto que las micelas de leche de cabra contienen más calcio y fósforo inorgánico en relación a las caseínas que las micelas de vaca (relación 1/0,031/0,010).

α_s -caseína.

Esta caseína se caracteriza por ser muy sensible al calcio a pH normal de la leche, pudiéndose producir su flocculación a cualquier temperatura. De ahí que se le añada el subíndice "S" (sensible).

En electroforesis a pH alcalino, la α_s -caseína caprina presenta el componente de mayor migración del total de la caseína y además migra mucho más rápidamente que la S1-caseína bovina.

La s-caseína caprina fue aislada por primera vez por RICHARDSON y CREAMER (1975), encontrando que su composición era muy similar a la α_{s_2} -caseína bovina.

Parece ser, que el componente α_{s_1} de la caseína (tan importante en la leche de vaca, pues representa entre un 39-46% de la caseína total) en la leche de cabra no se encuentra o está en muy baja proporción, de tal forma que la s-caseína caprina la podemos identificar en casi su totalidad con la α_{s_2} -caseína.

Por otra parte, la ausencia de patrones electroforéticos cuya movilidad sea igual a la α_{s_1} -caseína bovina ha sido aprovechado como método analítico para detectar posibles fraudes en la leche de cabra por adición de leche de

vaca, ya que es posible detectar proporciones de leche de vaca alrededor del 1%.

Gracias a las técnicas electroforéticas, se han podido identificar tres variantes genéticas de la s1-caseína y dos de la α_{s_2} -caseína (cuadro 4). Estas variantes a penas se diferencian en uno o dos aminoácidos, pero suficiente para que la carga neta de la molécula sea diferente y se puedan identificar electroforéticamente.

La composición de la α_{s_2} -caseína viene recogida en el cuadro 5, donde se aprecia como entran a formar parte 217 aminoácidos y 7 grupos fosfato.

β -caseína.

La β -caseína es el componente cuantitativo más importante de las proteínas de la leche de cabra, representando entre 50-70% del total de las caseínas (cuadro 6).

Esta proteína está compuesta por 213 aminoácidos. En su estructura primaria se observa la ausencia de cisteína, siendo el contenido en ácido glutámico y prolina excepcionalmente elevado.

Es sensible al calcio por encima de los 20° C, pero insensible a bajas temperaturas (8-10° C).

RICHARDSON y CREAMER (1974) aislaron por primera vez dos variantes de la β -caseína caprina, las cuales tenían la misma composición en aminoácidos, diferenciándose únicamente en la presencia de 5 ó 6 grupos fosfatos, denominadas β_1 y β_2 .



CUADRO 4
FRECUENCIAS ALÉLICAS PARA LOS LOCI α_1 -CASEINA Y α_2 -CASEINA
(varios autores).

| RAZA | α_1 -caseina | | | α_2 -caseina | |
|-----------------------|---------------------|-------|-------|---------------------|-------|
| | A | B | C | A | B |
| Alpina (1) | 0,1 | 0,9 | - | 0,85 | 0,15 |
| Saanen (1) | 0,08 | 0,89 | 0,03 | 0,87 | 0,13 |
| Maltesa (2) | - | - | - | 0,69 | 0,31 |
| Derivada de Siria (2) | - | - | - | 0,74 | 0,26 |
| Camosciata (3) | 0,286 | 0,700 | 0,014 | 0,733 | 0,267 |

(1) BOULANGER et al. (1984)

(2) Di STASIO et al. (1990)

(3) RUSSO et al. (1986).

CUADRO 5
COMPOSICIÓN DE AMINÁCIDOS DE PROTEÍNAS AISLADAS EN LA LECHE
DE CABRA

| AMINOÁCIDOS | α_2 -caseina | β -caseina | α -caseina | β -lactoglobulina | α -lactoglobulina |
|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Residuos por mol | | | | |
| Acido aspártico * | 17 | 9 | 16 | 14 | 22 |
| Alanina | 10 | 5 | 16 | 16 | 5 |
| Arginina | 6 | 3 | 5 | 3 | 1 |
| Acido glutámico ** | 45 | 43 | 26 | 24 | 13 |
| Cisteína | 2 | 0 | 3 | 5 | 8 |
| Fenilalanina | 8 | 9 | 4 | 4 | 4 |
| Glicina | 4 | 6 | 1 | 5 | 5 |
| Histidina | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| Isoleucina | 11 | 9 | 11 | 10 | 8 |
| Leucina | 12 | 20 | 8 | 21 | 13 |
| Lisina | 22 | 12 | 8 | 16 | 13 |
| Metionina | 4 | 6 | 1 | 4 | 0 |
| Prolina | 18 | 33 | 19 | 8 | 2 |
| Serina | 14 | 15 | 13 | 6 | 6 |
| Tirosina | 11 | 4 | 9 | 4 | 4 |
| Treonina | 14 | 12 | 15 | 8 | 6 |
| Triptófano | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| Valina | 12 | 21 | 11 | 10 | 6 |
| TOTAL | 217 | 213 | 171 | 162 | 123 |
| Amidas | ? | ? | 21 | 15 | 17 |
| Fosfatos | 7 | 5 6 6 | 2 | 0 | 0 |

* Incluye asparaginina.

** Incluye glutamina.

FUENTE: JENNESS (1980). J. of Dairy Sci. 63 (10): 1612 pp.

κ -caseína.

Su proporción en la leche de cabra es del 8 al 15% del total de las caseínas.

En su composición entran a formar parte 171 aminoácidos (cuadro 5), dos más que su homóloga la -caseína bovina (ausencia de un residuo de valina e

histidina en las posiciones 132 y 133). Además contiene glucídicos alrededor del 5%.

Contrariamente a las otras dos caseínas es insensible al calcio.

La κ -caseína juega un papel fundamental en la estabilización de las α y β -caseínas, mucho más fosforiladas que ella.

Además interviene activamente en la fabricación del queso, ya que es una proteína que destaca por su facilidad para ser proteolizada por el cuajo en el enlace entre los aminoácidos metionina (106) y fenilalanina (105), provocando la coagulación de la leche.

Esta proteólisis da lugar a una fracción C-terminal, denominada "caseíno-peptido o caseíno-glicopéptido", rica en aminoácidos alcoholílicos pero carece de aminoácidos aromáticos (residuos del 106 al 171). En esta fracción se encuentran todos los restos glucídicos. La otra fracción es la parte insoluble o "paracaseína", mucho más hidrófoba que la anterior, predominando los restos básicos (residuos del 1 al 105).

Por su parte, ADDEO et al. (1978) aislaron los péptidos que entran a formar parte de la κ -caseína, observando que existía una gran heterogeneidad, puesto que el número de restos glucídicos fijados a la cadena peptídica puede variar, lo que explica la presencia de hasta cinco bandas electroforéticas. Correspondiendo la más lenta a la κ -caseína desprovista de glucídicos, y las más rápidas a la proteína que lleva de 1 a 5 grupos prostéticos glucídicos, pero todas ellas con idéntica composición en aminoácidos.

PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO.

Su principal característica es su solubilidad en el lactosuero tras la coagulación, independientemente que ésta haya sido por acidificación a pH 4,6 por vía enzimática. De ahí que también se las denomine "proteínas solubles".

Estas proteínas pueden ser separadas del lactosuero por ultrafiltración.

Precipitan en casi su totalidad en presencia del ácido tricloacético al 12%.

El calentamiento de la leche (100°C) las desnaturaliza, es decir, provoca su floculación y desenrollamiento de la estructura globular, a excepción de las proteosas-peptonas.

Las proteínas séricas representan alrededor del 20% del total del nitrógeno proteico de la leche de cabra, lo que supone 0,7-1,1 g/100 ml.

CUADRO 4
FRECUENCIAS ALÉTICAS PARA LOS LOCI α_1 -CASEINA Y α_2 -CASEINA
(varios autores).

| α_1 -caseina | β -caseina | α_2 -caseina | Raza | Autor |
|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|
| 22,9-29,9 | 69,1-69,9 | 7,9-8,1 | Murciano-Granadina | QUILES et al. (1993) * |
| 29,9 | 59,8 | 10,3 | Alpina | EL-HAGRAWY et al. (1990) ** |
| 40 | 52,9 | 7,1 | Anglo-Nubiana | EL-HAGRAWY et al. (1990) |
| 44,6 | 47,7 | 7,7 | Turca | EL-HAGRAWY et al. (1990) |
| 21,6 | 64,9 | 13,5 | - | PORTMANN y PIERRE (1971) * |
| 27 | 55 | 18 | Alpina | REMEUF et al. (1989) |

* Electroforesis PAGE.
** Cromatografía sobre DEAE-Celulosa.

β -lactoglobulina.

Se trata de un holoproteído elaborado en la glándula mamaria y formada por dos monómeros idénticos. Posee un punto isoeléctrico de 5,9.

Los primeros en aislar la β -lactoglobulina caprina fueron BAIN y DEUTSCH (1948).

Cuantitativamente es la proteína soluble más importante (240 mg/100 ml) lo que viene a representar entre un 60-75% del total de las proteínas del lactosuero.

La β -lactoglobulina caprina, al igual que su homóloga bovina, es una cadena peptídica, formada por 162 aminoácidos (cuadro 5), diferenciándose ambas proteínas en tan solo seis residuos. El N-terminal leucina de la β -lactoglobulina bovina es sustituido por isoleucina; el ácido aspártico 53 por asparagina; el ácido aspártico 130 por lisina; la serina 150 por alanina; el ácido glutámico 158 por glicina y la isoleucina 162 por valina. De tal manera, que la β -lactoglobulina caprina tiene tres cargas negativas menos y una positiva más que la bovina, lo que podría explicar su menor movilidad electroforética a pH alcalino.

En otro orden de cosas, los cinco restos de cisteína (cuadro 5), le permiten crear puentes disulfuros -intra e intermoleculares-, que quizás estabilicen la dimerización de esta proteína a pH normal de la leche. Estos enlaces S-S también están presentes en la κ -caseína.

α -lactoalbúmina.

Esta fracción proteica del lactosuero es una holoproteína sintetizada directamente por la célula epitelial mama-

ria. Su punto isoeléctrico es 5,4.

Porcentualmente, representa entre un 15-20% del total de las proteínas solubles.

Su principal función es la de intervenir en la síntesis de la lactosa. De tal manera que la κ -lactoalbúmina (Proteína B) modifica la actividad de la galactosil-transferasa (Proteína A), en el sentido que une entonces la UDP-galactosa a la glucosa.

Junto a este papel, la α -lactoalbúmina desempeña también una función nutritiva, pues junto con las caseínas constituye el principal aporte de aminoácidos.

Es una proteína compuesta por 123 aminoácidos (cuadro 5), siendo la glicina el N-terminal y la leucina el C-terminal. De los 123, 8 son cisteínas, que forman puentes disulfuros. Al igual que la κ -lactoalbúmina de oveja, la caprina carece de metionina, lo cual la diferencia de la bovina, porcina y humana que poseen un resto en al posición 90.

Al margen de esta diferencia, la κ -lactoalbúmina caprina se diferencia de la bovina en once puntos de la cadena peptídica (residuos 10, 11, 17, 30, 37, 39, 63, 70, 87, 88 y 92). Pudiéndose distinguir ambas proteínas, claramente, por medio de la fijación del microcomplemento o la inmunodifusión.

Finalmente, diremos que es una proteína considerablemente rica en triptófano (4 restos/mol).

Inmunoglobulinas.

No son proteínas específicas de la leche, ya que se encuentran presentes en todos los fluidos orgánicos al ser sintetizadas por los linfocitos B.

Son las proteínas lácteas con mayor peso molecular, las menos cargadas y las más lentas en los exámenes electroforéticos.

Su contenido en la leche no es muy elevado, alcanzando un 15-18% del total de las proteínas solubles. Sin embargo, esta cifra es mucho mayor en el calostro, llegando al 60-70%. Recordemos que en la cabra, el calostro es el principal agente para la transmisión de inmunidad, ya que al no transmitirse anticuerpos por la placenta, no existe ninguna concentración de los mismos en el momento del parto.

Las principales inmunoglobulinas presentes en la leche son la Ig G, Ig M e Ig A, cuyas concentraciones en leche y calostro vienen recogidas en el cuadro 7. La principal inmunoglobulina, al ser la cabra una especie que no transfiere anticuerpos por la placenta, es la Ig G, aunque también se detectan pequeñas cantidades de Ig A e Ig M.

Tanto en el calostro como en la leche predominan las Ig G, que son las más básicas y las más lentas en la electroforesis.

Seroalbúmina.

La seroalbúmina bovina tiene una composición en aminoácidos y un peso molecular idénticos a la sanguínea, así como las mismas propiedades electroforéticas y magnéticas. Está formada por una cadena peptídica única (de 582 aminoácidos), con numerosos repliegues estabilizados por puentes disulfuros, concretamente 17.

Su proporción en la leche de cabra es del 0,6% del total de las proteínas del lactosuero.

Proteosas-peptonas.

Son fragmentos N-terminal que provienen de la hidrólisis de la β -caseí-

CUADRO 7
PRINCIPALES INMUNOGLOBULINAS DEL CALOSTRO Y DE LA LECHE DE CABRA

| | CALOSTRO | LECHE ** |
|------|----------|----------|
| Ig G | 50-64 | 100-400 |
| Ig A | 0,9-2,4 | 30-80 |
| Ig M | 1,6-5,2 | 10-40 |

* en μ g; ** en mg.

Fuente: PAHUD y MACH (1970), mediante la técnica de radioinmunoensayo.

na por medio de la plasmina.

Actualmente, esta fracción es denominada "polipeptidos termo-estables y ácido-estables".

Su contenido oscila entre 10 y 112 mg/100 ml de leche, con una media de 56 mg/100 ml de leche.

Mediante electroforesis en gel de poliacrilamida-SDS se han detectado para esta fracción proteica, tres componentes mayoritarios, cuyos pesos moleculares son de 36.310, 18.840 y 14.960 daltons. Similares a los de estos mismos componentes en la leche de vaca. Estos componentes principales, anteriormente denominados 5, 8-lento y 8-rápido, actualmente se les denomina, β -CN-5P, β -CN-4P y β -CN-1P respectivamente.

Otro componente de la fracción termo-estable, ácido-estable es el componente 3 (PP-3). Se trata de una glicoproteína, la cual deriva probablemente de la membrana de los glóbulos de grasa.

Por otra parte, diremos que la temperatura es uno de los factores que más influyen en el contenido de esta fracción. En este sentido, temperaturas de pasteurización de 62° C durante 30 minutos, incrementan el contenido de proteosas-peptonas de 95,6 a 155,0 mg/100 ml de leche de cabra. Pero, por el contrario, la esterilización provoca una disminución, pasando de 97,6 a 78,0 mg/100 ml (durante 10 minutos a 115° C) y a 56,2 mg/100 ml (durante 20 minutos a 120° C).

Otros factores que influencian su contenido son la ultracentrifugación y la acción del cuajo, ambos de forma proporcional y el tiempo de almacenamiento.

OTRAS PROTEÍNAS MENORES.

Actualmente se han evidenciado otras proteínas en la leche de cabra, que por estar algunas de ellas en muy bajas concentraciones, sólo se pueden visualizar electroforéticamente, mediante su previa purificación, a partir de grandes cantidades de leche.

La importancia de estas proteínas menores no radica en su función nutricional, sino en que pueden afectar a la estabilidad y al aroma de la leche. Algunas de ellas se encuentran asociadas a la fracción caseínica de la leche.

Transferrinas.

Su misión biológica es servir de medio de transporte del hierro al lactante.

Actualmente, se conocen dos tipos de

transferrinas lácteas, la primera idéntica a la transferrina sanguínea, denominada serotransferrina, y la segunda semejante a la encontrada en otros fluidos corporales como las lágrimas, el semen o la saliva, llamada lactoferrina, lactotransferrina o proteína roja.

ORAM y REITER (1968) fueron los primeros en aislar la transferrina en leche de cabra.



Su contenido es de 20 µg/ml y 200 µg/ml de leche, para la lactoferrina y serotransferrina respectivamente.

Proteínas de las membranas de los glóbulos de grasa.

La parte proteica de estas membranas está formada por pequeñas cantidades de distintos tipos de proteínas, que forman parte de enzimas.

Su naturaleza es idéntica a la de las proteínas que forman parte de la membrana de la célula epitelial; ya que, como dijimos en el apartado de lípidos, la secreción de la grasa a la luz alveolar, se realiza mediante un fenómeno de pinocitosis inversa, con el consiguiente arrastre de la membrana plasmática del polo apical de la célula mariana.

Estas proteínas contienen 1,64% de ácido siálico, 3,28% de hexona, 2,83% de hexosamina y 0,17% de fósforo. Datos muy similares a los reflejados para la leche de vaca y búfala.

Prolactina.

Su contenido en leche de cabra es de 44 µg/ml, ligeramente inferior al de la leche de vaca (50 µg/ml).

Glicoproteínas.

FORD y cols. (1972) fueron los primeros en revelar la presencia de estas proteínas en leche de cabra. Caracterizándose por estar adheridas al ácido fólico y poseer un 22% de carbohidratos. Su contenido en leche de cabra es de 12 µg/ml.

MATERIAS NITROGENADAS NO PROTEICAS.

Se trata de sustancias moleculares pequeñas (< 500 daltons), que atraviesan fácilmente la membrana de diáisisis.

Su contenido en leche de cabra es del 6-8,5% del nitrógeno total, ligeramente superior al de la leche de vaca (5-7%) pero netamente inferior al de la de mujer (21,5-26,5%).

Dentro de este apartado, el componente más importante es la urea, que representa el 43,1% del nitrógeno no proteico. Se trata de una sustancia de desecho, que se halla en la leche de cabra en una cantidad de 0,36 g/Kg de leche. Si bien, esta cifra puede variar en función del aporte proteico de la ración.

Junto a la urea se encuentra la creatina, la creatinina, el amoniaco, ácido úrico y aminoácidos libres, constituyendo el 2%, 1,5%, 0,8%, 0,6% y 17%, respectivamente del nitrógeno no proteico. Siendo el contenido medio de aminoácidos libres de 48 mg/litro. En esta mezcla, están todos los aminoácidos que entran a formar parte de la estructura primaria de las proteínas lácteas, si bien, los porcentajes más altos corresponden al ácido glutámico, glutamina y glicina.

Respecto al ácido orótico, su contenido en leche de cabra (9,1 mg/litro) es siete u ocho veces inferior al de la leche de vaca.

Finalmente, el estudio llevado a cabo sobre los nucleótidos, revela importantes diferencias entre la leche de vaca, oveja y cabra.

GLÚCIDOS.

Están esencialmente representados por la lactosa, la cual se encuentra en solución bajo dos formas anoméricas, la α y β -lactosa.

En la cabra, el contenido de lactosa varía escasamente a lo largo de la curva de lactación, siendo su valor medio de 44 a 47 g/litro.

Junto con la lactosa, destacan otros glúcidos aunque cuantitativamente menos importantes, como son los glúcidos nitrogenados (glucosamida N-acetilada y galactosamina N-acetilada) y los glúcidos ácidos (ácido siálico).

Además podemos encontrar pequeñas cantidades de inositol (14 a 26 mg/ml), así como, compuestos resultantes del desdoblamiento de la lactosa: glucosa y galactosa.