



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

COMPOSICIÓN DE LA GRASA LÁCTEA DE CABRAS
MANEJADAS BAJO TRES SISTEMAS DE
EXPLOTACIÓN EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación Agricultura Sustentable)

Presenta

Eduardo Alberto Toyos Vargas

La Paz, Baja California Sur, Febrero de 2011

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 8 del Mes de febrero del 2011, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

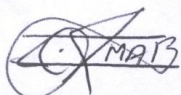
"COMPOSICIÓN DE LA GRASA LÁCTEA DE CABRAS MANEJADAS BAJO TRES SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO"

Presentada por el alumno:

Eduardo Alberto Toyas Vargas

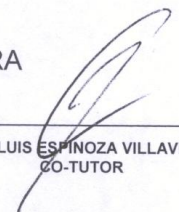
Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **Agricultura Sustentable**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

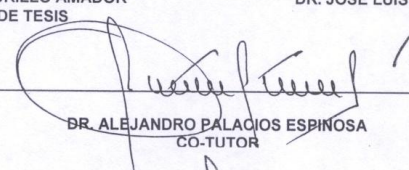


LA COMISION REVISORA

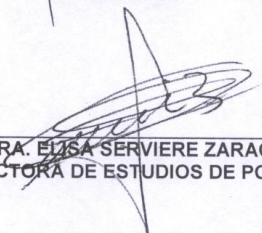
DR. BERNARDO MURILLO AMADOR
DIRECTOR DE TESIS



DR. JOSÉ LUIS ESPINOZA VILLAVICENCIO
CO-TUTOR



DR. ALEJANDRO PALACIOS ESPINOSA
CO-TUTOR



DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMITÉ TUTORIAL Y REVISOR

Dr. Bernardo Murillo Amador (Director de Tesis)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S.

Dr. José Luis Espinoza Villavicencio (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.

Dr. Alejandro Palacios Espinosa (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.

MIEMBROS DEL JURADO DE LA DEFENSA DE TESIS

Dr. Bernardo Murillo Amador (Director de Tesis)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S.

Dr. José Luis Espinoza Villavicencio (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.

Dr. Alejandro Palacios Espinosa (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Suplente)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S.

RESUMEN

La calidad de cualquier alimento para el consumo humano, depende de su buena contribución nutrimental al consumidor o incluso que aporte mejoras a la salud, aspectos que dan lugar a la aparición de los llamados "alimentos funcionales", los cuales además de nutrir, proporcionan salud, así, la leche es uno de los alimentos más completos para el ser humano. En los países en desarrollo, la producción de leche de cabra es una estrategia útil para abordar el problema de la desnutrición, especialmente entre la población infantil, ya que es una fuente importante de nutrientes ricos en energía, proteína de alta calidad, en minerales y vitaminas. El objetivo del presente estudio fue determinar la composición de la grasa en leche de cabras en dos épocas del año (lluvias y sequía) en tres sistemas de producción (extensivo, intensivo y semiintensivo). Los muestreos se realizaron durante la temporada de sequía (junio) y después de las lluvias (diciembre) en el municipio de Comondú, Baja California Sur. El sistema de producción extensivo se desarrolla bajo condiciones de pastoreo en agostadero; el intensivo, se desarrolla en condiciones de estabulación total con alimentación a base de forrajes henificados y concentrados de granos; y el sistema semiintensivo, se realiza en su mayor parte en pastoreo de esquilmos de cosecha, malezas asociadas a las zonas de cultivo, así como suplementación de forrajes. Los resultados para los diferentes tipos de ácidos grasos en la leche de cabra mostraron proporciones muy abundantes de los ácidos grasos saturados (70%) para los tres sistemas de explotación. Los más representativos de estos fueron el ácido palmítico, mirístico y esteárico. Los ácidos grasos monoinsaturados (15-20%) fueron los más numerosos en cuanto a isómeros, pero en su mayoría en muy bajas concentraciones, siendo abundante solo el ácido oleico, con alrededor del 12% del total de ácidos grasos. Los ácidos grasos poliinsaturados (5-6%) tienen su mayor constituyente en el ácido linoleico con concentraciones alrededor del 3% y el ácido alfa-linolénico con el 1.2% en promedio para los tres sistemas analizados. Los ácidos grasos ramificados estuvieron en concentraciones muy variables en los tres sistemas de explotación, presentándose de manera estable el C15:0 *iso* (1.5%) y C16:0 *anteiso* con 0.7% del total de ácidos grasos. Se concluye que las épocas de muestreo en los tres sistemas de producción no mostraron efecto significativo en la composición de los ácidos grasos saturados totales en la leche de cabra. Las épocas de muestreo sólo mostraron efectos significativos en las concentraciones totales de ácidos grasos monoinsaturados en el sistema semiintensivo. El sistema de producción intensivo fue el único que mostró diferencias significativas en las concentraciones totales de ácidos grasos poliinsaturados. El sistema extensivo fue el único que mostró efectos significativos sobre las concentraciones totales de ácidos grasos ramificados. Las concentraciones de ácidos grasos omega-3 presentaron efectos altamente significativos en el sistema extensivo y semiintensivo, con aumentaron durante la época de lluvias en ambos casos; mientras que los ácidos grasos omega-6 no presentaron ningún efecto.

ABSTRACT

The quality of any food for the human consumption, depends on its good nutritional contribution to the consumer or including that contribute to improvement to the health, aspects that give rise to the origin of the called "functional foods", which besides to feed, provide health, thus, the milk is one of the most complete food for the human. In the countries in development, the goat milk production is an useful strategy to undertake the problem of the malnutrition, especially among the childlike population, since is an important source of nutrients rich in energy, high quality proteins, minerals and vitamins. The objective of the present study was to determine the composition of the fatty acids in milk of goats in two seasons of the year (rainy and drought seasons) in three systems of production (extensive, intensive and semi-intensive). Sampling was conducted during the dry season (June) and after the rainy season (December) in the municipality of Comondu, in Baja California Sur. Production systems were extensive, which develops under grazing in rangeland; Intensive, which takes place in conditions of total confinement feeding of concentrates hay forages and grains; and Semi-intensive system, developed mostly fed on grain harvests and weeds associated to crops areas, with some supplementation. The results for different types of fatty acids in the goat milk showed abundant proportions of saturated fatty acids (70%) for the three operating systems. The most representative of these were palmitic, myristic and stearic acid. Monounsaturated fatty acids (15-20%) were the most numerous in terms of isomers, but mostly in very low concentrations, being abundant only oleic acid with about 12% of totals fatty acids. Polyunsaturated fatty acids (5-6%) have their largest constituent in the linoleic acid with concentrations around 3% and alpha-linolenic acid 1.2% on average for the three systems analyzed. Branched fatty acid concentrations were highly variable in all three operating systems, there were only stably *iso* C15:0 (1.5%) and *anteiso* C16:0 with 0.7% of total fatty acids. We concluded that the sample seasons in the three systems of production not showed significant effects in the composition of the total fatty acids in the milk of goat. The sample seasons showed significant effects in the total concentrations of monounsaturated fatty acids in the semi-intensive system. The intensive system of production was the unique that showed significant differences in the total concentrations of polyunsaturated fatty acids. The extensive system showed significant effects in the total concentrations of branched fatty acids. The concentrations of omega-3 fatty acids showed significant effects in the extensive system and semi-intensive, with increases during the rainy season in both cases; however, this did not happen with omega-6.

DEDICATORIA

A Melissa y Mailen Camila...

Por ser los amores de mi vida.

A mis padres, Marisela y Felipe...

Por mostrarme que la vida tiene muchos caminos y permitirme decidir cual elegir.

A mis hermanos, Alonso y Marysol...

a quienes amo y admiro profundamente.

A mi familia...

Por estar conmigo siempre en el momento preciso.

A mis amigos...

Porque siendo tan diferentes todos, me cuesta mucho trabajo definir por que los quiero,
simplemente es así.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, **CONACYT**, por el apoyo brindado a través de su programa de becas para la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, **CIBNOR**, sus autoridades y directivos, por permitirme formar parte de una institución de tanto prestigio, por medio de los estudios de posgrado.

Al **Dr. Bernardo Murillo Amador**, por la orientación y el tiempo dedicado a mi formación profesional durante el transcurso de mis estudios de posgrado.

Al **Dr. José Luis Espinoza Villavicencio** y **Dr. Alejandro Palacios Espinosa**, por su ayuda en estos 2 años, pero además por ser parte importante de mi formación como Ingeniero Zootecnista, que no había tenido oportunidad de agradecerles.

Al personal del **Programa de Posgrado** del CIBNOR, Lic. Osvelia Ibarra, Lic. Leticia González, Sra. Lupita Sánchez, Claudia Olachea, Tania Núñez, Horacio Sandoval y Manuel Melero por hacerme mi vida de estudiante mucho más sencilla, a Beatriz Gálvez por su apoyo durante su periodo de labor.

Al personal del Laboratorio de **Fisiotecnia Vegetal**, M.C. Carmen Mercado y Lic. Lidia Hirales por facilitarme el procesamiento y almacenaje de mis muestras, así como al Tec. Pedro Luna por el valioso aporte en trabajo y experiencia en la parte zootécnica del trabajo.

A la **M.C. Laura Carreón Palau**, sin ella gran parte de este trabajo no hubiera tomado el rumbo correcto, su apoyo fue invaluable.

A los **Investigadores** que fungieron como profesores en los cursos de Maestría, por compartir con nosotros sus valiosos conocimientos y tiempo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Composición de la leche.....	6
4.2 Composición de la grasa láctea.....	8
4.2.1 Perfil de ácidos grasos de los lípidos lácteos	10
4.2.2 Origen de los ácidos grasos	13
4.2.2.1 Digestión ruminal	14
4.2.2.2 Digestión Intestinal	16
4.2.2.3 Síntesis de novo en glándula mamaria.....	19
4.3 Factores que afectan el contenido y la composición de la grasa de la leche.....	24
4.3.1 Efecto de la dieta.....	24
4.3.1.1 El pastoreo.....	26
4.3.2 Efecto estacional	28
4.4 Importancia de la composición de la grasa de la leche para la salud humana.....	29
5. OBJETIVO GENERAL	33
5.1 Objetivo específico.....	33
6. HIPÓTESIS.....	33
7. MATERIALES Y MÉTODOS	34
7.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	34
7.1.1 Sistema de Producción Extensivo.....	34
7.1.2 Sistema de Producción Intensivo	34
7.1.3 Sistema de Producción Semiintensivo	35
7.2 Animales y muestreos.....	35
7.3 Procesamiento de muestras.....	37
7.3.1 Extracción de lípidos	37

7.3.2 Cuantificación de lípidos totales.....	37
7.3.3 Derivatización ácida	37
7.3.4 Identificación y cuantificación de ácidos grasos	38
7.4 Análisis estadístico.....	38
8. RESULTADOS	39
8.1 Clases de ácidos grasos por sistema de producción.....	39
8.2 Ácidos grasos saturados.....	41
8.3 Ácidos grasos monoinsaturados.....	43
8.4 Ácidos grasos poliinsaturados.....	47
8.5 Ácidos grasos ramificados.....	49
9. DISCUSIÓN	51
10. CONCLUSIONES	61
11. BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Digestión ruminal de los lípidos (Adaptado de Elgersma <i>et al.</i> , 2006).....	15
Figura 2. Biohidrogenación del Ácido Linoleico (Modificado de Antongiovanni <i>et al.</i> , 2003).....	17
Figura 3. Esquema de la digestión intestinal de los ácidos grasos en los rumiantes (Adaptado de Bauman y Lock, 2006).....	18
Figura 4. Síntesis y secreción de lípidos en glándula mamaria de rumiantes (Chilliard <i>et al.</i> , 2001).....	21
Figura 5. Síntesis de ácidos grasos ramificados y de cadena impar en bacterias (Tomado de Vlaeminck <i>et al.</i> , 2006).....	22

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Composición de la leche de diferentes especies.....	7
Tabla II. Principales clases de lípidos en la leche.....	9
Tabla III. Composición de la grasa láctea de diferentes especies rumiantes (%).....	11
Tabla IV. Composición de las plantas consumidas por cabras en dos épocas del año, en tres sistemas de producción.....	36
Tabla V. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.	39
Tabla VI. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.	40
Tabla VII. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.	40
Tabla VIII. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.	41
Tabla IX. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.	42
Tabla X. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.....	42
Tabla XI. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.	44
Tabla XII. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.	45
Tabla XIII. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.....	46
Tabla XIV. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.	47

Tabla XV. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.	48
Tabla XVI. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.....	48
Tabla XVII. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.	49
Tabla XVIII. Concentración de ácidos grasos ramificados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.	50
Tabla XIX. Concentración de ácidos grasos ramificados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.....	50

1. INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados se ha despertado un creciente interés por la cabra, debido a que su leche y los productos derivados de ésta, se consideran adecuados a la nueva tendencia de consumo de alimentos sanos. Lo anterior, y la buena adaptabilidad de las cabras a las zonas marginales y desfavorecidas, han contribuido a que surjan numerosas pequeñas explotaciones, que han hecho que la producción de leche de cabra en dichos países sea cada vez más significativa (Haenlein, 2004). La cabra parece que fue uno de los primeros animales que domesticó el hombre y, el único que le proporcionó leche durante la antigüedad. Se extendió por todo el mundo dada su fácil adaptación a los más variados climas, ocupando el área de distribución más amplia de los animales domésticos. Su talla pequeña, pocas exigencias, facilidad de movimiento para cosechar su dieta, docilidad y elevada producción, tuvieron que hacerla muy apreciada por el hombre primitivo (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

La leche de pequeños rumiantes, es de particular interés económico en determinadas zonas del mundo. En los países en desarrollo, la producción de este tipo de leche ha llegado a ser una estrategia útil para abordar el problema de la desnutrición, especialmente entre la población infantil (Haenlein, 2004).

Un elemento adicional de interés en la producción de pequeños rumiantes es su sostenibilidad, excelente rentabilidad económica y estabilidad demográfica, de especial importancia para las regiones áridas, semiáridas y otras áreas problemáticas del mundo. Estas especies, que se explotan en los últimos tipos de regiones mencionados, bajo el régimen de explotación extensiva o semiintensivo, casi exclusivamente con razas autóctonas, son valiosos en la preservación de la variabilidad genética, mientras que los costos de producción se llevan a cabo por el uso adecuado de los recursos naturales. Los alimentos producidos, es decir, la leche y carne, son desde el punto de vista nutricional de excelente calidad (Boza, 1993).

La calidad de cualquier alimento para el consumo humano, depende hoy en gran medida de su buena contribución nutrimental al consumidor o incluso que aporte mejoras a la salud,

estos aspectos son los que dan lugar a la aparición de los llamados "alimentos funcionales", los cuales pueden además de nutrir proporcionar salud (Hasler, 1998), así, la leche es uno de los alimentos más completos para el ser humano, dadas las características de sus nutrimentos, es una fuente importante de nutrientes ricos en energía, proteína de alta calidad, en minerales y vitaminas (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

2. ANTECEDENTES

Recientemente, las guías nutricionales para los seres humanos en numerosos países destacan la importancia de mantener una dieta equilibrada para ayudar a reducir la incidencia de las enfermedades no transmisibles como la obesidad, la diabetes tipo 2, distintos tipos de cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Jacobs *et al.*, 2004). Desde este punto de vista, los lípidos de la leche constituyen una fracción de la dieta particularmente significativa, al haber sido relacionados con innumerables beneficios (Martínez, 2007). Se recomienda que la grasa total, ácidos grasos saturados, poliinsaturados n-3 y n-6, además de los ácidos grasos *trans* deben contribuir con <0.15-0.30, <0.10, <0.05-0.08 <0.01-0.02 y <0.01 de la ingesta energética total, respectivamente (FAO/OMS, 2003).

Los componentes mayores de la leche, principalmente la grasa, varían con la raza, número de partos, frecuencia de ordeño y el estado fisiológico (Palmquist *et al.*, 2005), sin embargo, los factores antes señalados tienen una influencia muy baja sobre la composición de la grasa y por ello no es necesario tenerlos en cuenta para diseñar estrategias que busquen incrementar el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Lock y Shingfield, 2004).

La materia grasa es la fracción más variable de la leche, y su síntesis es afectada por varios factores, especialmente nutritivos y ambientales (Bauman *et al.*, 2003), en relación a esto, los sistemas de producción y alimentación parecen tener gran importancia en las estrategias de modificación del perfil de ácidos grasos de la leche (Dewhurst *et al.*, 2006).

La grasa de los rumiantes es una parte importante de la dieta humana en muchos países, particularmente la grasa láctea bovina, que representa más del 75% del consumo total de los lípidos provenientes de rumiantes. La leche de todos los rumiantes contienen lípidos, pero las concentraciones varían ampliamente entre especies de 2 a 8% (Belitz y Grosch, 1999). Los lípidos de la leche son importantes fuentes de vitaminas liposolubles y ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico; además, tienen gran influencia en las propiedades reológicas de los productos lácteos y alimentos en los que son utilizados (Boza

y Sanz Sampelayo, 1997). A causa de la amplia gama de ácidos grasos, el sabor de la grasa láctea es más característico que el de otras grasas (Banskalieva *et al.*, 2000).

En los rumiantes, la hidrogenación de las grasas por los microorganismos del rumen hace difícil cambiar la composición de la grasa de la leche por medio de la dieta, sin embargo, en este proceso, los ácidos grasos insaturados pueden dar origen a una gran variedad de compuestos intermediarios que pasan a formar parte del componente lipídico en estas especies y por lo tanto de los alimentos provenientes de ellas (Chilliard *et al.*, 2007). En la leche, que posiblemente posee la más compleja de las grasas comestibles, se han detectado más de 400 ácidos grasos diferentes, desde 2 hasta 28 carbonos, entre los cuales hay ácidos grasos pares, impares, saturados, monoinsaturados, poliinsaturados, *cis* y *trans*; lineares y ramificados; además, sus concentraciones pueden aumentar por medio de la alimentación de los animales obteniendo así productos con un valor agregado (Ledoux *et al.*, 2005).

Por muchos años, el valor económico de la leche estuvo basado principal o totalmente en su contenido de grasa, lo cual sigue ocurriendo en algunos lugares, esto fue satisfactorio cuando la leche fue usada única o principalmente para la producción de mantequilla. El posible origen del pago de la leche en base a su contenido de grasa, aparte de su valor para la producción de mantequilla, se encuentra en el hecho de que los métodos analíticos cualitativos relativamente simples fueron desarrollados más rápidamente para la grasa que para la proteína y lactosa; y debido a su importancia económica existe mucha presión comercial para incrementar el rendimiento de grasa en la leche, ya sea por medios nutricionales o genéticos (Fox y McSweeney, 1998).

3. JUSTIFICACIÓN

Considerando la importancia que tiene la actividad agropecuaria en las zonas áridas y semiáridas de México, así como los factores que limitan la producción de forraje y por consiguiente el abastecimiento de alimento para el ganado, se plantea como una necesidad para el desarrollo sostenible del sector agropecuario en estas zonas la utilización de especies vegetales con características forrajeras que muestren mejorías en los rendimientos productivos (Ortega-Perez *et al.*, 2010). Con base en lo anterior surge el interés por analizar el potencial de las plantas nativas dentro de los sistemas de explotación caprina para la manipulación del perfil de ácidos grasos en la leche, si bien avances genéticos en este sentido han sido especialmente notables para el nivel de grasa, son las estrategias de crianza, por medio de los sistemas de producción; y los enfoques nutricionales, a través de la composición de la dieta, los que han tenido un efecto más marcado sobre los componentes de la grasa láctea caprina.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Composición de la leche

La leche de cabra es más blanca que la leche de vaca porque no contiene carotenos; su olor es fuerte, como consecuencia de la absorción de compuestos aromáticos durante su manejo y se sabe de una correlación positiva entre esto y la tasa de ácidos grasos libres de la leche (Bakke *et al.*, 1977), y de que en dicho sabor tienen una importancia especial los ácidos grasos de cadena ramificada (Ha y Lindsay, 1991). Su densidad oscila entre 1.026-1.042 g/ml, variación que en su mayor parte la explica el contenido lipídico diferente en la leche de cabra y sobre la que también interviene el contenido de sólidos no grasos. El punto de congelación de la leche de cabra es más bajo que el de la leche de vaca, (-0.59°C y -0.54°C, respectivamente), esto como consecuencia del mayor contenido de solutos en la primera (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

La grasa de la leche caprina no contiene aglutinina, una proteína cuya función es agrupar los glóbulos grasos para formar estructuras de mayor tamaño, esta es la razón por la que sus glóbulos, al estar dispersos, son atacados más fácilmente por las enzimas digestivas, incrementándose por lo tanto la velocidad de digestión (Chacón-Villalobos, 2005).

La mayoría de componentes en la leche de cabra, así como el porcentaje de grasa suelen ser superiores a los de la leche de vaca, como lo muestra la Tabla I, existiendo grandes diferencias en lo que concierne a la estructura física y perfil químico de la grasa. El tamaño de la micela es de 3.5 μ en promedio, con un alto porcentaje de glóbulos con diámetros de 1.5 a 3 μ , considerablemente inferior al tamaño de la micela en la leche de vaca, de 4.5 μ ; este tamaño menor le proporciona una emulsión fina y más uniforme, lo cual influye favorablemente en su digestibilidad (Park y Pariza, 2007).

Los componentes de la leche de cabra son sintetizados desde precursores presentes en el plasma sanguíneo, como glucosa, acetato y ácidos grasos no esterificados captados por las células de la glándula mamaria (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

Tabla I. Composición de la leche de diferentes especies

Componentes	Especie		
	<i>Humano</i>	<i>Cabra</i>	<i>Vaca</i>
<i>Sólidos totales (%)</i>	12	15.2	1.4
<i>Sólidos no grasos (%)</i>	8.3	9.2	8.7
<i>Proteína (%)</i>	1.1	3.3	3.2
<i>Grasa (%)</i>	3.7	6	3.7
<i>Lactosa (%)</i>	6.9	5.1	4.8
<i>Cenizas (%)</i>	0.3	0.8	0.7
<i>Energía (Kcal/100 ml)</i>	68	88.3	69

Tomado de Chandan *et al.* (1992) y Boza y Sanz Sampelayo (1997).

4.2 Composición de la grasa láctea

Los lípidos de la leche se encuentran emulsionados y se localizan en glóbulos envueltos por una membrana derivada de la célula mamaria, se componen en gran parte por triglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y esteroides; también contiene trazas de vitamina liposolubles, betacarotenos y compuestos de sabor liposolubles, como lo muestra la Tabla II. Debido a que la cantidad de triglicéridos es de alrededor del 98% de la grasa total, estos tienen un efecto mayor y directo sobre la proporción de la grasa láctea, por ejemplo hidrofobicidad, densidad y características de fusión; estos son una mezcla compleja, y varían considerablemente en peso molecular y grado de insaturación. La leche fresca solo contiene pequeñas cantidades de diglicéridos, estos en gran medida son fosfolípidos, y por lo tanto, probablemente intermediarios en la biosíntesis de triglicéridos y no el producto de la lipólisis. Los fosfolípidos suelen representar solo el 0.8% de los lípidos de la leche; sin embargo, juegan un rol importante debido a sus propiedades anfipáticas, cerca del 65% de ellos se encuentran en la membranas de glóbulos de grasa, donde la etanolamina y esfingomielina comprenden cerca del 90% del total de fosfolípidos. Los esteroides son el menor componente, comprendiendo aproximadamente el 0.3% de la grasa; el colesterol es el principal esteroide, este acumula el 95% del total de los esteroides (Christie, 1995)

Las propiedades químicas de los lípidos de la leche tienen considerable influencia en las características de fusión de la grasa, que a su vez pueden tener un marcado efecto en las propiedades funcionales de los productos lácteos, como el queso y la mantequilla. La grasa de la leche se funde sobre un amplio rango, alrededor de -35°C a 38°C ; esto se atribuye al gran número de diferentes tipos de triglicéridos presentes en la grasa de la leche (Chen *et al.*, 2004).

Tabla II. Principales clases de lípidos en la leche

Clase de Lípidos	Proporción (%)
<i>Triglicéridos</i>	98.3
<i>Diglicéridos</i>	0.3
<i>Monoglicéridos</i>	0.03
<i>Ácidos grasos libres</i>	0.1
<i>Fosfolípidos</i>	0.8
<i>Esteroles</i>	0.3
<i>Carotenos</i>	Trazas
<i>Vitaminas liposolubles</i>	Trazas
<i>Compuestos de sabor</i>	Trazas

Tomado de Fox y McSweeney (1998).

4.2.1 Perfil de ácidos grasos de los lípidos lácteos

La grasa de la leche, especialmente la de rumiantes, contiene un amplio rango de ácidos grasos. Se han identificado aproximadamente 400 ácidos grasos en la grasa láctea usando combinaciones de técnicas cromatográficas y espectroscópicas (Ledoux *et al.*, 2005). En la Tabla III se muestra la composición de la leche de los rumiantes domésticos. Los ácidos cáprico, mirístico, palmítico, esteárico y oleico representan más de 75% del total de ácidos grasos de la leche (Moate *et al.*, 2007). Los ácidos caproico, caprílico, cáprico y láurico son más abundantes en la leche de cabra y oveja que en la de vaca (Park y Pariza, 2007). Las grasas animales tienden a contener más ácidos grasos saturados que las vegetales y el aceite de pescado, representando 70-75% del total de los ácidos grasos en la leche de cabra, de los cuales el más importante desde el punto de vista cuantitativo es el C16:0, el cual representa 25-30%, mientras que el C14:0 y C18:0 tienen valores de 10-13% del total de los saturados (Moate *et al.*, 2007).

El ácido oleico (C18:1 *cis*9) es el principal ácido graso monoinsaturado *cis* en la leche, presentando concentraciones de 15-21% del total de ácidos grasos, hay cerca de 0.5% del C18:1 *cis*11, mientras que la proporción de otros isómeros del C18:1 son más pequeñas; también hay concentraciones relativamente pequeñas pero significativas de otros monoinsaturados *cis*, como el C14:1 y 16:1, con 1 y 1.5% respectivamente (Bauman y Griinari, 2003). Chilliard *et al.* (2003) indicaron que 15.5% de la cantidad total de C18:1 es la configuración *trans*, de estos, el ácido vaccénico (C18:1 *trans*11) es el isómero más importante, con valores de 30-60% del total de esos isómeros. Alonso *et al.* (1999) informaron que la cantidad total de C18:1 *trans* en la leche de cabra de rebaños comerciales representa un 2.1% del contenido total de grasa. Ledoux *et al.* (2002) señalaron que el contenido de C18:1 ácidos grasos *trans* es similar en la vaca y la leche de cabra.

Tabla III. Composición de la grasa láctea de diferentes especies rumiantes (%)

Ácido graso	Especie		
	<i>Vaca</i>	<i>Oveja</i>	<i>Cabra</i>
<i>C10:0</i>	2.5	5.7	6.3
<i>C12:0</i>	2.8	3.4	3
<i>C14:0</i>	9.9	9.4	7.9
<i>C16:0</i>	26	23.2	22.2
<i>C18:0</i>	12	12.8	10.8
<i>C18:1</i>	24.9	22.3	23.8
<i>C18:2</i>	2.2	2.6	2.7
<i>C18:3</i>	1.4	1.8	1
Ácidos grasos totales			
<i>Saturados</i>	61.6	65.7	65.1
<i>Monoinsaturados</i>	28.6	24.6	27.1
<i>Poliinsaturados</i>	3.8	4.4	3.7

Tomado de USDA (2008).

El contenido de ácido vaccénico en las tres especies oscila de 1 a 3% (Chilliard *et al.*, 2003; Moate *et al.*, 2007) y representa el 45-60% de los ácidos grasos *trans* totales (Park y Pariza, 2007). Teniendo en cuenta el origen de estos ácidos grasos, parece lógico suponer que, como en el caso de los ácidos grasos *trans*, su contenido en la leche de los pequeños rumiantes, básicamente, será determinado por la composición de la dieta que se consume (Bauman *et al.*, 2001; Chilliard *et al.*, 2000; Collomb *et al.*, 2002)

Los ácidos grasos poliinsaturados están presentes en bajas concentraciones, estos comprenden casi exclusivamente al ácido linoleico (C18:2 *cis*9 *cis*12) con una concentración del 1.2-1.7% y ácido alfa-linolénico (C18:3 *cis*9 *cis*12 *cis*15) con concentraciones de 0.9-1.2% (Park y Pariza, 2007), estos dos ácidos grasos son esenciales, no pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser suplementados en la dieta; actualmente, el término esencial engloba también los derivados de estos ácidos grasos, que no son sintetizados en cantidades significantes, como el ácido eicosapentanoico (EPA, C20:5) y docosahexanoico (DHA, C22:6) (Wolf *et al.*, 1995).

El ácido graso 18:2 *cis*9 *trans*11 es el principal isómero del ácido linoleico conjugado (CLA) en la grasa láctea, con el 80-90% del total de estos isómeros, este tipo de ácidos grasos se refiere a una mezcla posicional y geométrica de isómeros del ácido octadecanoico con dobles ligaduras conjugadas (Rico *et al.*, 2007). El contenido de CLA en la grasa láctea deriva de dos fuentes relacionadas, la primera es que el C18:2 *cis*9 *trans*11 es producto intermediario de la biohidrogenación ruminal de ácidos grasos, además, el C18:1 *trans*11 puede ser convertido a C18:2 *cis*9 *trans*11 en la glándula mamaria por la enzima esterol-CoA desaturasa, que normalmente cataliza la conversión de C18:0 a C18:1 *cis*9 (Precht y Molquentin, 2000). El contenido de CLA en los ácidos grasos totales es 1.08, 1.01 y 0.65% en la leche de oveja, vaca y cabra, respectivamente y el ácido ruménico representa el 80% del CLA total (Park y Pariza, 2007).

En el caso de los ácidos grasos ramificados, Chilliard y Lamberet (2001) informaron que estos juegan un papel importante en el desarrollo de las características organolépticas de los productos lácteos obtenidos de la leche de pequeños rumiantes. Massart-Leën *et al.* (1981)

identificaron y cuantificaron numerosos ácidos grasos de este tipo en la leche de cabra, todos ellos tenían más de 11 átomos de carbono, después, Ha y Lindsay (1991) identificaron más de 20 ácidos grasos ramificados en quesos caprinos, algunos con cadena menor a 10 carbonos, se reportó también que son prácticamente inexistentes en la leche bovina. De estos, los más importantes en términos cuantitativos ($> 0.1\%$) fueron las *iso* y *anteiso* C15:0 (0.13 y 0.21%), *iso* y *anteiso* C17:0 (0.35 y 0.43%) e *iso* C16:0 (0.25%), estos resultados de Gönc *et al.* (1979) fueron confirmados por Massart-Leën *et al.* (1981) y Wolf (1995) para la leche de cabra, ellos hicieron hincapié en que la amplia gama de componentes ramificados, los distintos de los ácidos grasos *iso* y *anteiso*, se producen principalmente con la sustitución de metilo en el C4 y C6, y esto se presenta en la grasa láctea caprina frecuentemente.

4.2.2 Origen de los ácidos grasos

Los ácidos grasos en la grasa láctea se pueden dividir en grupos diferentes, basadas en las vías metabólicas de su producción. Los de cadena corta y mediana (C4:0-C14:0 y aproximadamente la mitad de C16:0) son el resultado de la síntesis de *novo* en la glándula mamaria, cuyos principales precursores son el betahidroxibutirato y acetato procedentes de la fermentación ruminal. El resto de C16:0 y casi todos los ácidos grasos de cadena larga de la leche (C18:0 a C22:0) vienen de lípidos en la sangre circulante, después de la absorción en el intestino delgado o la movilización del tejido adiposo (Martínez *et al.*, 2010a). Los ácidos grasos de cadena ramificada en la grasa láctea se derivan en gran medida de bacterias provenientes del rumen, y las variaciones en su perfil se deben principalmente a cambios en la abundancia relativa de estas bacterias (Cabrita *et al.*, 2007). Sin embargo, los ácidos grasos de cadena lineal impar (C15:0 y C17:0) pueden ser parcialmente sintetizados de *novo*, procedentes propionato, en glándula mamaria y otros tejidos (Vlaeminck *et al.*, 2006).

De acuerdo con Chilliard *et al.* (2001), aproximadamente el 60% de los ácidos grasos presentes en la grasa láctea son captados de la sangre derivados de la digestión ruminal e intestinal del alimento y el 40% son sintetizados de *novo* en la glándula mamaria.

4.2.2.1 Digestión ruminal

Los lípidos de los alimentos sufren dos importantes transformaciones en el rumen, la lipólisis, que se refiere a la liberación por hidrólisis de los ácidos grasos esterificados en los triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos; y biohidrogenación que consiste en la reducción de los enlaces dobles existentes en los ácidos grasos liberados (Martínez *et al.*, 2010b). La Figura 1 muestra un esquema de los dos anteriores procesos. Los ácidos grasos saturados liberados no sufren modificaciones en el rumen, pero los insaturados son rápidamente hidrogenados por las bacterias, los principales sustratos para la biohidrogenación presentes en los alimentos de los rumiantes son los ácidos linoleico y linolénico (Doreau y Ferlay, 1994).

Si la dieta es accesible a la microflora del rumen, los lípidos son hidrolizados rápida y extensamente, la lipólisis libera los ácidos grasos y el glicerol, o la galactosa en el caso de los glicolípidos, con nula o escasa acumulación de mono o diglicéridos (Hawke y Silcock, 1970). El glicerol y la galactosa libres son rápidamente fermentados, el primero mayoritariamente a ácido propiónico, mientras el segundo a ácido acético (Hobson y Mann, 1961). La principal actividad lipolítica es debida a lipasas, galactolipasas y fosfolipasas de origen mayoritariamente bacteriano pero también protozoario (Harfoot y Hazlewood, 1988).

La lipólisis menor observada en dietas ricas en almidón es debida probablemente al bajo pH ruminal que ocasiona el consumo de tales dietas (Sauvant *et al.*, 1999). Dohme *et al.* (2003) y Chow *et al.* (2004) observaron *in vitro* que la lipólisis de los aceites marinos disminuye al aumentar la cantidad de ácido eicosapentanoico y docosahexanoico en el medio.

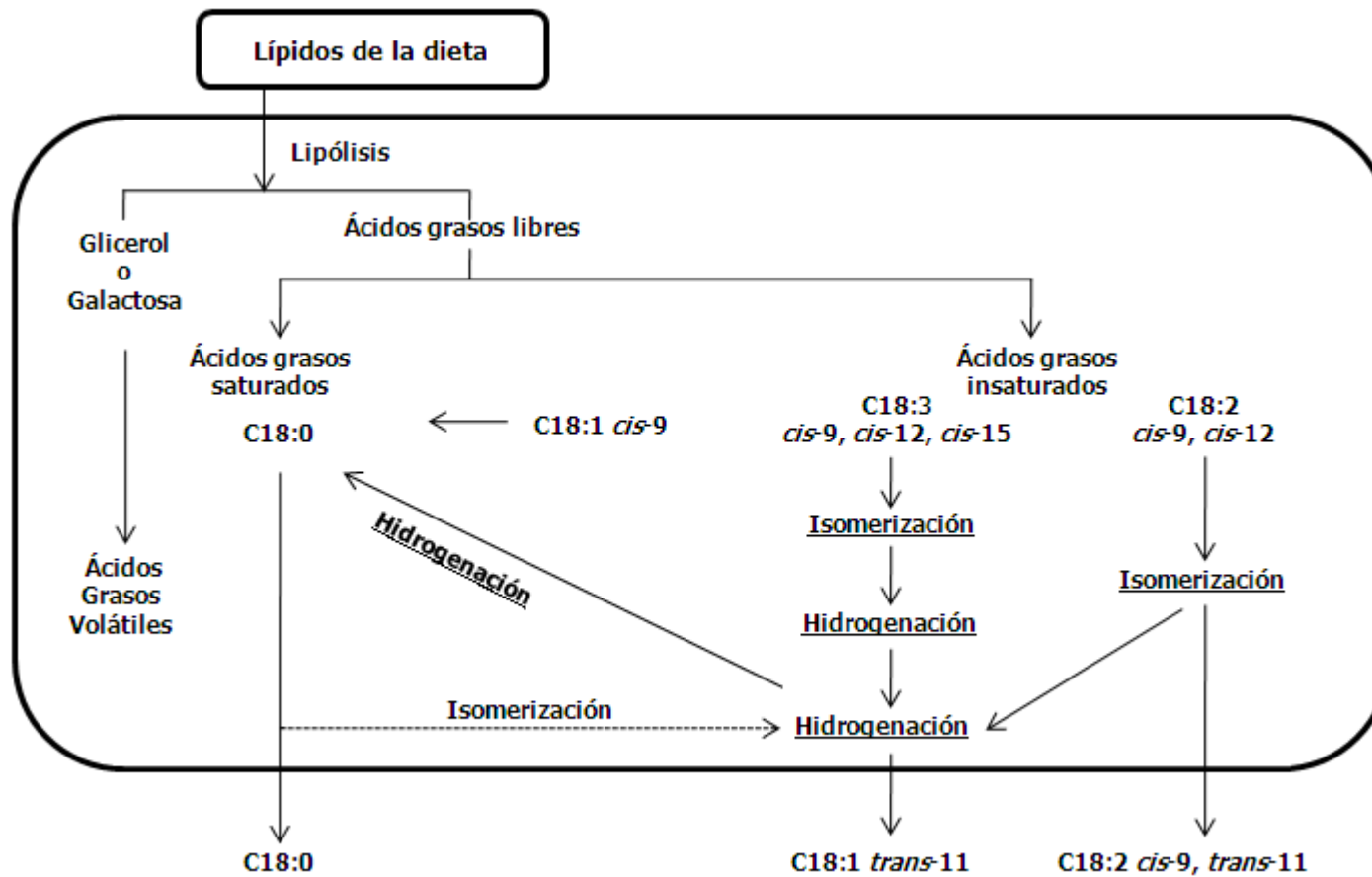


Figura 1. Digestión ruminal de los lípidos (Adaptado de Elgersma *et al.*, 2006).

El proceso de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados de 18 carbonos conduce a la formación de ácido esteárico, este proceso en el ácido linoleico se realiza como lo muestra la Figura 2. En primer lugar ocurre una rápida isomerización del enlace *cis*12 a *trans*11, resultando proporciones variables de isómeros de CLA, entre los que destaca el ácido ruménico con un porcentaje en torno al 30% del total de estos isómeros (Piperova *et al.*, 2002). En una segunda fase, el enlace *cis*9 es hidrogenado para formar ácido vaccénico. La biohidrogenación del ácido linolénico comienza igualmente con la isomerización del enlace *cis*12 a *trans*11, posteriormente se hidrogenan los enlaces *cis*9 y *cis*15 dando lugar al ácido vaccénico. Este proceso no incluye la formación de ácido ruménico como intermediario pero sí de otros isómeros de CLA. En ambos casos, según Bauman *et al.* (2001), la velocidad a que el ácido vaccénico es reducido a ácido esteárico es más lenta que los pasos previos; en consecuencia, la acumulación de ácido vaccénico facilita que una parte del mismo escape del rumen y sea disponible para la absorción intestinal. En el caso del ácido oleico, no ocurre solamente la biohidrogenación a ácido esteárico sino que, además, se forman numerosos isómeros *trans* (Mosley *et al.*, 2002).

4.2.2.2 Digestión Intestinal

El proceso de digestión intestinal se resume en la Figura 3. Los ácidos grasos que llegan al duodeno se encuentran mayoritariamente adsorbidos en las partículas alimenticias, las bacterias y las células endoteliales de descamación (Demeyer y Doreau, 1999). Los ácidos grasos son liberados de las partículas por detergencia polar, las sales biliares favorecen la interacción de los ácidos grasos con los fosfolípidos de la bilis y el agua, lo cual conduce a la formación de una fase líquida cristalina. El avance de la digesta se acompaña de un aumento del pH, esto facilita que la fase líquida cristalina se disperse en presencia de las sales biliares para formar una solución micelar (Noble, 1978). Simultáneamente, la liberación de lisolecitinas desde los fosfolípidos biliares y bacterianos por la acción de las fosfolipasas pancreáticas estimula aún más la solubilización y mejora el paso de los ácidos grasos a través de capa acuosa que recubre las microvellosidades intestinales (Bauchart, 1993).

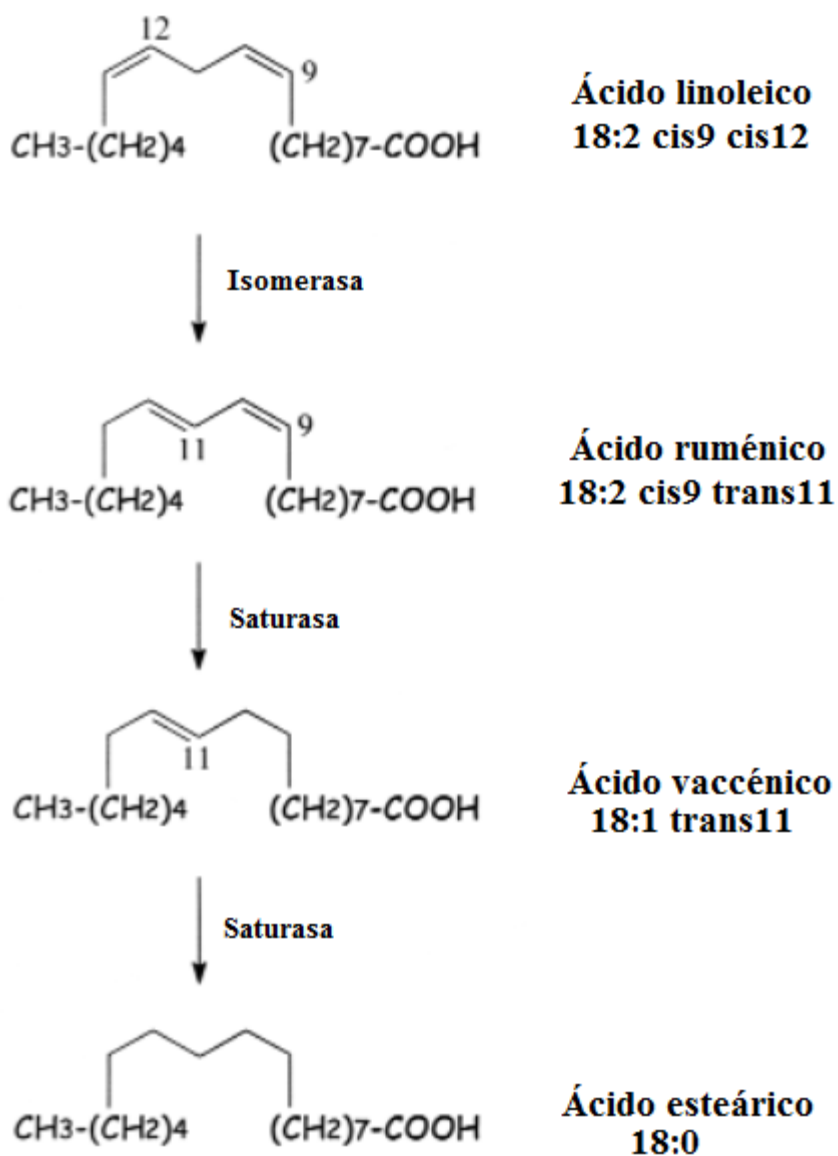


Figura 2. Biohidrogenación del Ácido Linoleico (Modificado de Antongiovanni *et al.*, 2003).

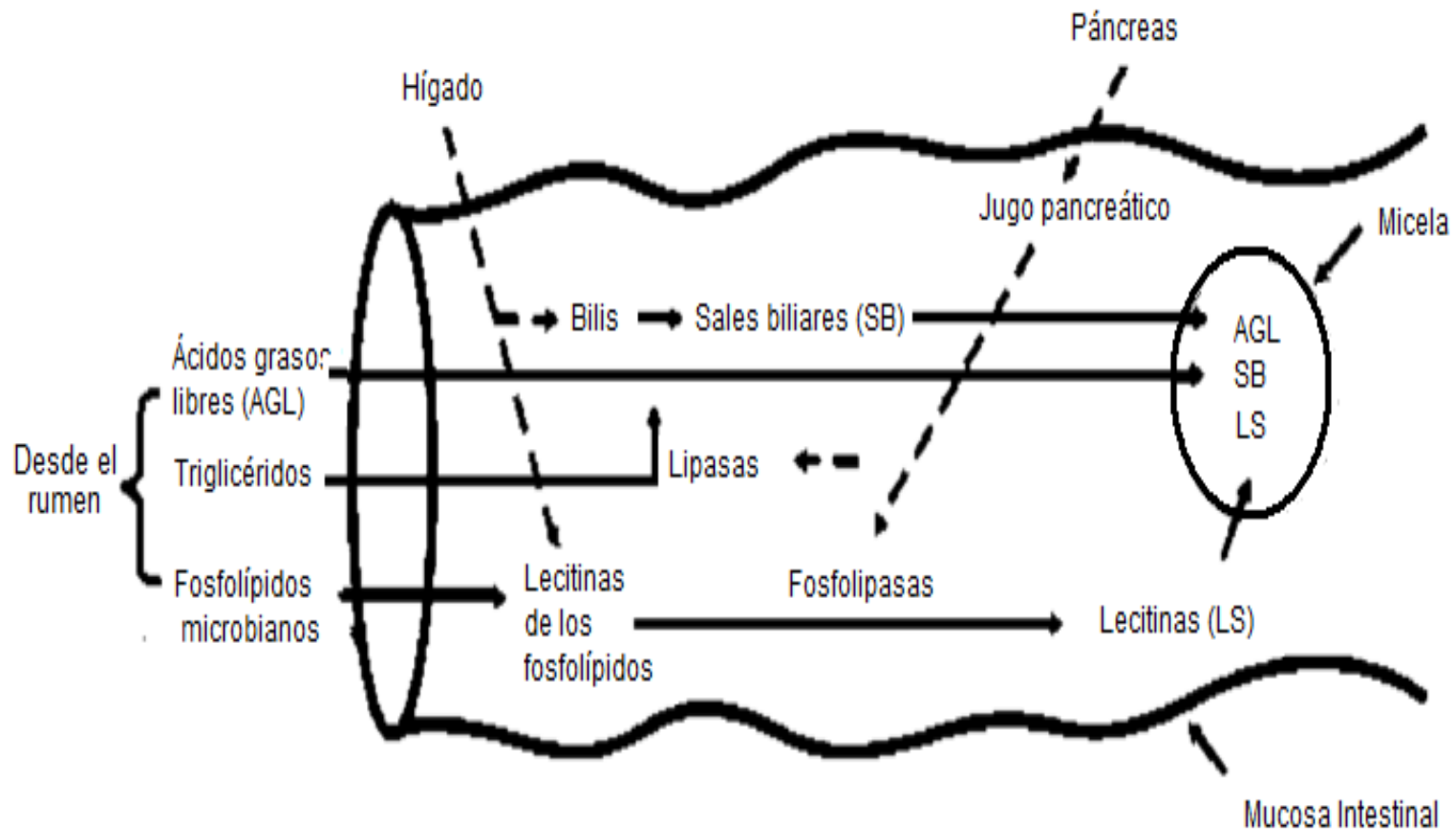


Figura 3. Esquema de la digestión intestinal de los ácidos grasos en los rumiantes. (Adaptado de Bauman y Lock, 2006).

Bauchart (1993) señaló que la capacidad elevada de solubilización de las sales biliares y las lisolecitinas del sistema micelar, así como la dificultad de formación de sales cálcicas insolubles en duodeno y yeyuno por el pH bajo de la digesta, justificarían la digestibilidad elevada de los ácidos grasos observada en las dietas convencionales (2-3% de grasa), con un valor medio de 80 y 92% para los ácidos grasos saturados e insaturados, respectivamente. Plascencia *et al.* (2005) revisaron varios factores que podrían incidir en la digestibilidad de la grasa de la dieta, tales como contenido de ácidos grasos libres, proporción de ácidos grasos saturados e insaturados, longitud de cadena, y forma de adición a la dieta, llegando a la conclusión de que la cantidad consumida es el principal factor determinante.

De acuerdo con Plascencia *et al.* (2005) el descenso de la digestibilidad de la grasa al aumentar su consumo podría deberse a la limitada capacidad de producción de bilis de los rumiantes, ya que la solubilización micelar depende exclusivamente de las sales biliares y las lisolecitinas debido a la reducida presencia de monoglicéridos en la digesta de estas especies. Plascencia *et al.* (2004) encontraron que la producción de bilis aumenta en respuesta al incremento de grasa en la dieta (de 0 a 8%) pero, sin embargo, la cantidad de bilis en relación a los ácidos grasos presentes en duodeno se reduce.

De acuerdo con el trabajo de Plascencia *et al.* (2003) la reducción observada en la digestibilidad se debe, sobre todo, a la absorción intestinal menor de los ácidos palmítico y esteárico, ya que la de los ácidos grasos insaturados no se ve afectada. Plascencia *et al.* (2005) señalaron que la reducción de la digestibilidad de los ácidos grasos saturados puede explicar 85-100% de la variación del valor nutricional observado para las grasas adicionadas a las dietas de los rumiantes.

4.2.2.3 Síntesis de novo en glándula mamaria

La síntesis de *novo* de ácidos grasos en la glándula mamaria utiliza principalmente acetato y algo de betahidroxibutirato, como lo muestra la Figura 4. Estos precursores surgen de la fermentación microbiana de la celulosa y de materiales similares en el rumen; una vez en la glándula mamaria el acetato es activado a acetil-CoA. Los mecanismos de síntesis de

ácidos grasos involucran esencialmente la carboxilación de acetil-CoA a malonil-CoA, que después es usado en el proceso de elongación de la cadena de carbono, conduciendo a una serie de ácidos grasos de cadena corta y mediana, con diferencia de dos metilos, las cuales son cadenas lineales con número par de átomos de carbono (Hawke y Taylor, 1995).

Si precursores como valerato, metilbutirato o isobutirato, son usados por las bacterias ruminales en lugar de acetato, serán sintetizados ácidos grasos ramificados; asimismo, la betaoxidación de los ácidos grasos saturados presentes en la dieta, principalmente de cadena media, podrá sintetizar ácidos grasos de cadena lineal impar (Jenkins, 1993), lo anterior es ejemplificado en la Figura 5.

La síntesis de *novo* requiere que el acetil-CoA producido sean retirado del medio mediante su incorporación a los triglicéridos, como los ácidos grasos de menos de 16 carbonos son esterificados principalmente (Mills *et al.*, 1976), su utilización en la síntesis de triglicéridos depende de la disponibilidad de ácidos grasos preformados de 16 carbonos (Hansen y Knudsen, 1987). Los ácidos grasos preformados captados por la glándula mamaria tienen dos orígenes, triglicéridos transportados en quilomicrones y lipoproteínas de muy baja densidad de origen mayoritariamente intestinal; y ácidos grasos no esterificados movilizadas desde el tejido adiposo. La cantidad de ácidos grasos utilizados que proceden de las lipoproteínas está bien correlacionada con la concentración plasmática excepto cuando la concentración sanguínea es muy elevada (más de 0.04 μM), ya que se supera la capacidad de la enzima lipoproteinlipasa (Chilliard *et al.*, 2001). Según indicó Emery (1973), al menos el 80% de los triglicéridos disponibles son hidrolizados para su captación por la glándula mamaria.

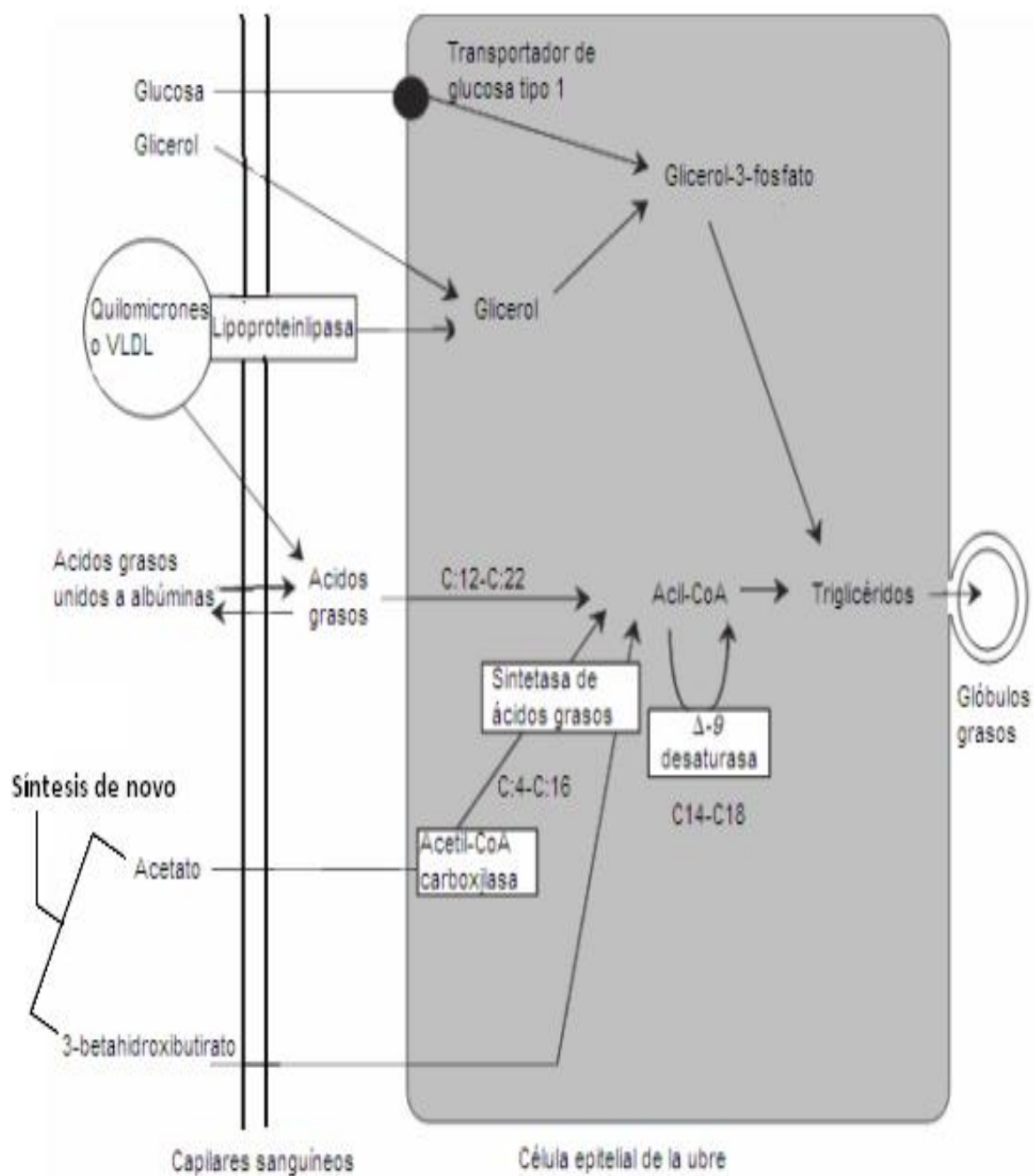


Figura 4. Síntesis y secreción de lípidos en glándula mamaria de rumiantes (Chilliard *et al.*, 2001).

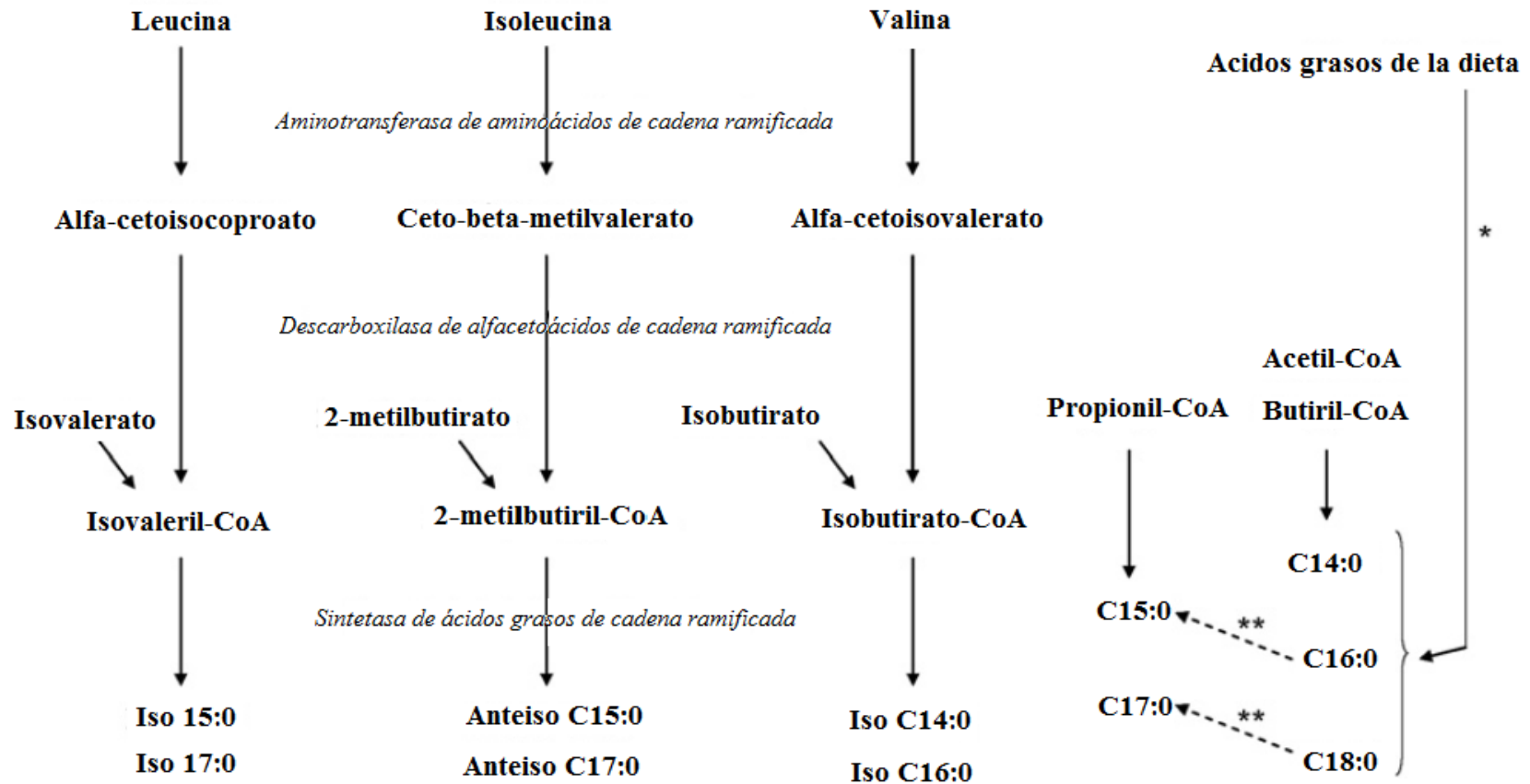


Figura 5. Síntesis de ácidos grasos ramificados y de cadena impar en bacterias (Tomado de Vlaeminck *et al.*, 2006).

(*) Representa la absorción de ácidos grasos de la dieta por bacterias del rumen.

(**) Representa la β-oxidación de los ácidos grasos de cadena par.

Ashes *et al.* (1997) señalaron que el 50-60% de los ácidos grasos absorbidos en el intestino delgado son transferidos a la leche y tienen diversos efectos sobre el metabolismo mamario, los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos tienden a reducir la síntesis de *novo* de ácidos grasos de 6 a 14 carbonos, mientras que una cantidad elevada de ácidos grasos *trans* de 18 carbonos inhibe la síntesis de *novo* y la actividad de la delta-9-desaturasa. Los ácidos grasos no esterificados procedentes de los depósitos grasos son mayoritariamente palmítico, esteárico y oleico (Chilliard y Ferlay, 2004), en correspondencia con los ácidos grasos mayoritarios en aquellos, la disponibilidad de estos para la glándula mamaria depende de la movilización de grasa desde el tejido adiposo que ocurre en períodos de balance energético negativo como es el comienzo de la lactancia. La captación de ácidos grasos no esterificados se relaciona directamente con la concentración plasmática (Chilliard *et al.*, 2000), esto determina que el contenido graso de la leche sea más elevado tras el parto, cuando la movilización desde el tejido adiposo es más intensa, y disminuya progresivamente al avanzar la lactancia, no sólo por un efecto de dilución debido al aumento del volumen de leche producido hasta que se alcanza el pico de lactancia, sino también por un descenso en la grasa de reserva movilizada (Chilliard *et al.*, 2003).

Las células mamarias tienen una potente actividad delta-9-desaturasa sobre los ácidos grasos de 18 carbonos y muy inferior sobre los de cadena más corta, aproximadamente, el 40% del ácido esteárico es desaturado y aporta más del 50% del ácido oleico presente en la leche (Chilliard *et al.*, 2001). Igualmente, el ácido vaccénico es desaturado en la ubre hasta ácido ruménico en una tasa constante (28.9%) e independiente de la cantidad disponible (Shingfield *et al.*, 2007).

4.3 Factores que afectan el contenido y la composición de la grasa de la leche

4.3.1 Efecto de la dieta

La incorporación de grasas insaturadas de la dieta a la leche es escasa en los rumiantes ya que es proceso de biohidrogenación ruminal es muy eficiente (Jenkins, 1993; Jenkins *et al.*, 2008), no obstante, los ácidos grasos de la dieta tienen un profundo efecto en la composición de la grasa láctea (Chilliard *et al.*, 2001).

El ácido palmítico se incrementa 45-53% en la leche, cuando añaden suplementos con altas concentraciones de C16 (68%) a dietas bajas en grasa; algo similar sucede suplementando aceite de soya, con un 90% de C18, ya que se incrementan los niveles de éste, de 25% a 60% del total de ácidos grasos; los rendimientos de C6 y C14 se redujeron, mientras que el de C16 se incrementó por el aceite de palma y se redujo por el aceite de soya (Sanz Sampelayo *et al.*, 2007). Algo similar ocurrió al suplementar altas cantidades de aceite de coco, alta en C12:0 y C14:0, se incrementaron las proporciones de estos en la leche y se redujeron los rendimientos de ácidos grasos de cadena corta y C16:0 (Harvatine *et al.*, 2009).

Secchiari *et al.* (2003) reportaron efectos de dos fuentes de grasa en la dieta sobre la composición de ácidos grasos de la leche. El grano de soya tostado redujo la relación saturados/poliinsaturados a 1.96 y mejoró el contenido de CLA (4.8 g/día); mientras que los jabones de calcio de aceite de palma, produjeron una relación saturados/poliinsaturados de 2.72 y una disminución del contenido de CLA (3.8 g/día).

Cuando se suplementa una grasa saturada, ya sea protegida o no, la grasa de la leche parece ser enriquecida por los ácidos grasos saturados correspondientes, y también hay un aumento de los ácidos grasos monoinsaturados con similar longitud de cadena, mientras que al mismo tiempo hay una reducción en los niveles de C10-C14 o C10-C16. Las razones de esto son el aumento de los ácidos grasos contenidos en la grasa de la fuente utilizada y la

acción de la delta-9-desaturasa mamaria, que produce el aumento en los niveles de los ácidos grasos monoinsaturados correspondientes (Rapetti *et al.*, 2002).

Chilliard *et al.* (2003, 2005) subrayaron el hecho de que, contrariamente a lo que sucede en la leche de vaca, no hay disminución en el contenido de materia grasa en la leche de cabra, cuando la dieta se complementa con aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados. Para modificar la composición de la grasa láctea se ha usado proteína reticulada insoluble en formaldehído para encapsular aceites vegetales insaturados. En estudios donde se utilizó esta propuesta, se reportaron incrementos en ácido linoleico hasta del 35% del total de la grasa, además señalaron que los ácidos grasos saturado C16:0 y C14:0 disminuyen (Chilliard *et al.*, 2006). Aunque suministrar grasas poliinsaturadas ha sido un instrumento en el desarrollo del conocimiento acerca de la regulación de la síntesis de grasa láctea, no se han encontrado aplicaciones prácticas para esto, ya que además de incrementar los costos de alimentación, es difícil asegurar un producto de calidad, ya que los gobiernos y los consumidores se muestran reacios a aceptar el formaldehído como un componente de la dieta, ya que algunos aminoácidos pueden ser transformados a una potencial carcinogénesis, y esto es importante porque los ácidos grasos altamente poliinsaturados tienen muy poca estabilidad oxidativa y sus propiedades físicas no son adecuadas para el procesado de los productos (Chilliard *et al.*, 2002).

Chilliard y Ferlay (2004) mencionan que el tratamiento de productos alimenticios con formaldehído es más aceptado ahora, y la atención se ha tornado en usar estos métodos para proteger las altas cantidades de oleato en las semillas oleaginosas. Suministrando 0.52 kg/día de semilla de canola protegidas se incrementó el porcentaje y rendimiento de la grasa sin alterar la producción de leche, las proporciones de C14:0 y C16:0 se redujeron en un 20 y 25% respectivamente, mientras que se incrementaron los ácidos esteárico (30%), oleico (22%), linoleico (12%) y linolénico (62%).

Chilliard *et al.* (2005) mostraron que administrando una dieta con una grasa protegida rica en ácidos grasos poliinsaturados a cabras, frente a un grupo testigo, encontraron un aumento significativo en el nivel de poliinsaturados (6.67% contra 3.91%), que

principalmente afectaba a los C18:3, C20:2 y C20:3-C20:4, provocando una relación más favorable saturados/insaturados, 2.36 frente a 3.38 del grupo testigo. Una comparación reciente, usando las mismas condiciones analíticas, demostró que con las dietas que contienen 58-65% de heno, el porcentaje de C18:1 *trans* del total de grasa láctea fue de sólo el 1.1% en cabras, frente al 2.7% en las vacas, sin embargo, estos ácidos grasos pueden aumentar a niveles altos cuando las cabras se alimentan con suplementos ricos en ácidos grasos poliinsaturados (Chilliard *et al.*, 2006).

Dietas muy bajas en grasa reducen los rendimientos en grasa de la leche; y las proporciones y el rendimiento del ácido graso C18, con proporciones de C16 que se acercan al 50% del total de grasa. Incrementos en el contenido de C18 en las dietas pobres en grasa resultan en un incremento lineal de estos, con una eficiencia de 60%, asumiendo una digestibilidad del 80% en la grasa de la dieta (Sanz Sampelayo *et al.*, 2007). Se estima que la transferencia de C16 de la dieta a la grasa de la leche se da en un 93%, este valor excepcionalmente alto puede ser atribuido a la casi completa absorción de los triglicéridos por el tejido mamario, sin embargo, estos estimados de transferencia son en gran medida confundidos entre el efecto de cambio en la ingesta de grasa de la dieta y la síntesis de *novo* de C16 (Palmquist, 1991).

Antongiovanni *et al.* (2004) señalaron que un nivel más bajo de fibra podría incrementar la formación de ácidos grasos *trans* específicos, como C18:1 *trans*, y también esto podría contribuir en una disminución en la producción y contenido de leche de grasa.

4.3.1.1 El pastoreo

La leche de animales alimentados con forrajes verdes frescos, especialmente aquellos que se consumen bajo pastoreo, han mostrado una mayor proporción de ácido graso insaturados en relación a los saturados, con una mayor cantidad de poliinsaturados que los alimentados con dietas basadas en ensilajes (Elgersma *et al.*, 2006).

Dentro de los factores que afectan la composición de la grasa láctea, se ha demostrado que las dietas basadas en pastoreo resultan en niveles mayores de ácidos grasos insaturados de cadena larga, incluido el CLA (Dhiman *et al.*, 1999a). Comparando concentraciones de

CLA cuando se utilizan dietas basadas en pastoreo, sin suplementación de grasas, con raciones totalmente mezcladas, se observa que las concentraciones de CLA se incrementan en 134% cuando se utiliza el pastoreo (Schroeder *et al.*, 2003), lo anterior pudo deberse a la intensa producción ruminal de C18:1 *trans*11 derivado del C18:3 proveniente del pasto y la conversión endógena por las enzimas desaturasas en la glándula mamaria (Lock y Gransworthy, 2003).

Bargo *et al.* (2003) estudiaron el efecto de la suplementación de grano de soya a animales en pastoreo y encontraron que esto provocó decrementos en el contenido de C6:0 a C14:0 e incrementos de 18:1 a 18:3. Dhiman *et al.* (1999a) mostraron que el ganado en pastoreo tuvo mayor contenido de CLA en la leche que el que fue alimentado en pastoreo y suplementación de grano. Sin embargo, al suplementar grano de soya extruido, semilla de algodón extruida y aceite de girasol, se incrementaron los niveles de CLA en la leche (Dhiman *et al.*, 1999b). El pastoreo, con o sin suplementación origina 2.5 veces más CLA *cis*9 *trans*11 que la leche producida con raciones totalmente mezcladas (Rego *et al.*, 2004). Las razones por las cuales las pasturas frescas incrementan los niveles de CLA no se conocen con exactitud. Los pastos frescos contienen 1-3% de ácidos grasos, de los cuales el 55-65% es ácido alfa-linolénico (Chilliard *et al.*, 2001). No se sabe que el CLA se involucre como intermediario en las rutas del ácido linolénico en el rumen, aunque el C18:1 *trans*11 es producido, que es precursor de la síntesis endógena del C18:2 *cis*9 *trans*11 en la glándula mamaria lactante (Griinari *et al.*, 2000).

Dietas que contienen semilla oleaginosa completa o aceite extraído de semillas se han utilizado ampliamente para manipular la composición de ácidos grasos en los productos de rumiantes. La colza, soya y linaza son ricas en ácido oleico (C18:1 *n*-9), linoleico (C18:2 *n*-6) y linolénico (C18:3 *n*-3) respectivamente y generalmente resultan en incrementos de los niveles de estos ácidos grasos en los productos animales. El aceite de pescado se ha usado para suplementar ácidos grasos de cadena larga como el ácido eicosapentanoico (C20:5 *n*-3) y docosahexanoico (C22:6 *n*-3), así como para incrementar los niveles de CLA en la leche (Chilliard *et al.*, 2000).

4.3.2 Efecto estacional

La variación estacional en la composición de la leche está asociada a muchos factores. El factor nutricional asociado con la disponibilidad y calidad de las pasturas a través del año, cambios fisiológicos relacionados con la etapa de lactancia y factores patológicos asociados con la incidencia de mastitis, se sabe que juegan un papel importante (Auld *et al.*, 1998).

Banni y Martin (1998) encontraron una marcada variación estacional en el contenido de CLA en la leche, las concentraciones fueron mayores en el pastoreo durante el verano. Precht y Molkenin (2000) y Lock y Garnsworthy (2003) reportaron que las concentraciones de C18:1 *trans*11 variaron significativamente con la estación, ambos relacionaron esto con la disponibilidad de forrajes frescos. Jahreis *et al.* (1997) determinaron la variación de ácidos grasos en la leche dependiendo de la estación y los sistemas de manejo de las granjas. Se encontraron altos porcentajes de ácidos grasos saturados en los animales estabulados, mientras que los contenidos de ácidos grasos *trans* y linoleico fueron significativamente mayores en los animales pastoreados durante el año, la variación mayor se registró en el ácido palmítico.

La variación estacional también afecta a las concentraciones de CLA, observándose mayores proporciones en la temporada de primavera-verano, que coincidía con la época de pastoreo, en comparación con la temporada de otoño-invierno, que es cuando los animales se mantenían estabulados (Jahreis *et al.*, 1997).

Thordottir *et al.* (2004) reportaron menor contenido de CLA en la leche procedente de los países nórdicos en comparación con otros países europeos,. Acorde con estos autores, la variación puede explicarse por la diferencia en el periodo de pastoreo, ya que se sabe que los pastos de verano incrementan las concentraciones de CLA en comparación con la suplementación de concentrados que se aporta en invierno, debido a las altas proporciones de ácidos grasos *n*-3 en los pastos de verano que son fuente de CLA.

Pinna *et al.* (1996) y Fontecha *et al.* (1998) mencionan que la composición de ácidos grasos en la grasa láctea caprina no es afectada por la época del año. Estos autores han informado

cambios sobre todo en las proporciones de ácidos grasos de cadena larga, generalmente asociadas a la etapa de lactancia y la alimentación.

Incrementos en la proporción de ácidos grasos de cadena larga en la leche y calostro durante los meses templados han sido reportados, estos se atribuyen a efectos de la dieta o a la reducción de la síntesis de ácidos grasos C4:0-C14:0 en la glándula mamaria, debido a la reducción en la ingesta y la subsecuente menor producción de precursores de ácidos grasos de cadena corta en el rumen (Palmquist *et al.*, 1993).

Sevi *et al.* (2002) reportaron que las ovejas expuestas a radiación solar aumentan hasta 18% las proporciones de ácidos grasos saturados y de cadena corta en la leche, como caproico, caprílico, láurico, mirístico y esteárico; y disminuyen hasta 9% el contenido de ácido oleico, linoleico y linolénico.

4.4 Importancia de la composición de la grasa de la leche para la salud humana

Las grasas en la dieta humana han tenido una imagen negativa por mucho tiempo debido a que son asociadas con numerosas enfermedades cardiovasculares y algunos padecimientos como la obesidad; como resultado de lo anterior se ha generado una actitud por parte de los consumidores de evitar el consumo de este tipo de grasas. Hoy en día es conocido que no solo la cantidad, sino también la estructura de los ácidos grasos juegan un papel importante en el mantenimiento de la salud (Martínez, 2007). Una gran conciencia pública se ha desarrollado en torno al consumo de CLA y ácidos grasos poliinsaturados n-3 principalmente. El CLA se ha asociado con múltiples efectos metabólicos, como la inhibición de la carcinogénesis, reducción de la tasa de deposición de grasa, estimulación de la respuesta inmune y la reducción de los lípidos en sangre (Pariza *et al.*, 2000). Entre las dos familias de ácidos grasos poliinsaturados, n-3 y n-6, compiten por las mismas enzimas para su elongación y desaturación y su balance es primordial en la prevención de enfermedades coronarias, hipertensión, diabetes, artritis, desordenes autoinmunes y cáncer (Simopoulos, 1999).

El contenido de EPA y DHA son de interés debido a sus beneficios potenciales a la salud, el efecto de los ácidos grasos n-3 en la reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo dos, hipertensión y cáncer; y su potencial mecanismo de acción han sido extensamente estudiados (Williams, 2000; Wijendren y Hayes, 2004; Larsson *et al.*, 2004). En nutrición humana hay esfuerzos para incrementar el consumo de estos componentes n-3 debido a sus bajas ingestas y relación de ingesta entre n-3/n-6; la típica dieta occidental tiene una relación 20:30, mientras que la relación ideal esta en el concepto de 4:1, o menor (Simopoulos, 1999).

Otras particularidades de los ácidos grasos *n-3*, es que son esenciales para un desarrollo y funcionamiento adecuado del cerebro y del sistema nervioso; se concentran en la retina y en la corteza cerebral y tienen la capacidad de corregir problemas visuales y cerebrales en pacientes con deficiencia. Muchos aspectos de ubicación, ansiedad, habilidad en el aprendizaje, memoria y función retinal, se ven favorecidos con el consumo de estos (Salem *et al.*, 2001), son precursores de compuestos hormonales como los prostanoides (prostaglandinas y tromboxanos) que facilitan la transmisión de mensajes en el sistema nervioso central (Simopoulos, 1999), dos terceras partes de los ácidos grasos de las membranas de los fotorreceptores de la retina son *n-3*, principalmente DHA (Salem, 2001). Un consumo bajo de DHA resulta en menos ondas lentas de sueño, que sirven como un indicador de la maduración y desarrollo del sistema nervioso central y del cerebro (Connor *et al.*, 1996). Los ácidos grasos *n-3* están relacionados con problemas de depresión y violencia, se ha demostrado que el DHA tiene efectos protectores contra un aumento en la hostilidad en estudiantes bajo condiciones de estrés (Hibbeln, 1997). Concentraciones bajas de DHA son un indicador útil para predecir mayores problemas de conducta en niños a quienes se les ha diagnosticado el síndrome de déficit de atención con hiperactividad, estos problemas pueden ser un reflejo en parte de los problemas en la neurotransmisión serotoninérgica (Hibbeln, 1997).

Generalmente los efectos de EPA/DHA sobre marcadores indirectos de la función cardiovascular, incluyendo agregación plaquetaria, tiempo de coagulación en la sangre y respuesta inflamatoria e inmune *in vitro*, son observados a niveles de ingesta de 1 g/día

aproximadamente, esto es cerca de cinco veces los niveles actuales de ingesta observados en muchos países del norte de Europa y Norteamérica (Gibney, 1997). Como consecuencia del progreso en el enriquecimiento de los productos animales con ácidos grasos poliinsaturados *n*-3, se ha encontrado un incremento en el uso de los aceites y alimentos de origen marino en las dietas de ganado lechero, a pesar de esto, solo modestos incrementos en los contenidos de EPA y DHA han sido reportados (Chilliard *et al.*, 2001). La literatura indica que la eficiencia en la transferencia de EPA y DHA a la grasa de la leche es baja. Muchos estudios han mostrado que su eficiencia es del 2 y 4% en promedio, respectivamente, aunque esta transferencia tiende a ser más eficaz cuando se suplementa harina de pescado en lugar de aceite (McConnell *et al.*, 2004).

Estudios de los efectos sobre la composición corporal, en ratas y ratones, han mostrado que suministrando CLA en un 5% del total de la dieta se producen pequeñas reducciones en la ganancia de masa corporal, pero se observan marcadas reducciones de la grasa corporal de animales en desarrollo (Park *et al.*, 1997), se ha observado un efecto similar en el contenido de grasa láctea cuando el ganado es suplementado con CLA (Grinari *et al.*, 1998), este efecto puede ser atribuible a la inhibición que causa el CLA sobre la lipoproteinlipasa en el tejido adiposo, esto desencadena la betaoxidación de ácidos grasos, inhibe la acumulación de triglicéridos en el tejido adiposo y contribuye a la resistencia a acumular grasa corporal. Miller *et al.* (1994) reportaron efectos del CLA en la modulación del catabolismo del sistema inmune, apoyando en la modulación del metabolismo de eicosanoides.

Investigaciones de los efectos de CLA sobre la arterosclerosis en conejos, han demostrado que isómeros puros de ácido ruménico y CLA *trans*₁₀ *cis*₁₂ son igualmente efectivos para inhibir las concentraciones de colesterol, promotor de la arterosclerosis (Kritchevsky *et al.*, 2004). Bauman *et al.* (2003) han estudiado el efecto de fuentes sintéticas de CLA sobre los cambios en las concentraciones de colesterol total en plasma y colesterol lipoproteína, que han sido señalados como los mayores determinantes de riesgo de arterosclerosis, sin embargo los resultados han sido inconsistentes. Sin embargo Lock *et al.* (2005) han reportado que suministrando mantequillas ricas en ácido ruménico y vaccénico a hámsteres, mostraron efectos benéficos, como la reducción del colesterol total en plasma. Las

lipoproteínas de baja y muy baja densidad sugieren que el CLA puede modificar la producción de lipoproteínas arterogénicas por el hígado. En relación a lo anterior McLeod *et al.* (2004) proponen que el ácido ruménico, en ausencia de otros isómeros de CLA, mejora el metabolismo hepático de lípidos, esto puede aclararse por que las mantequillas enriquecidas con ácido ruménico y vaccénico presentan resultados mejores en comparación con las que se obtienen con isómeros sintéticos del CLA.

Desde el descubrimiento de las propiedades antimutagénicas del CLA, se ha tomado un interés amplio en el estudio de los efectos anticancerígenos, modelos biomédicos para la mayoría de tipos de cáncer han sido desarrollados para investigar el rol del CLA como anticancerígeno (Parodi, 2004). Esto incluye el uso de modelos carcinogénicos trasplantando líneas celulares *in situ* en órganos afectados con cáncer humano. Estos últimos son de particular valor en investigaciones de cáncer y suplementos de CLA en la dieta mostrando ser efectivos en la inhibición del papiloma de piel inducido químicamente, neoplasia de estómago, lesiones preneoplásicas y tumores en colon y glándulas mamarias (Parodi, 2004). La ingesta de CLA, dependiendo de la dosis, puede provocar una reducción en la incidencia y número de tumores y es independiente del tipo o nivel de grasa en la dieta (Ip *et al.*, 1994).

El uso del enfoque de los alimentos funcionales puede tener muchas ventajas como estrategia en la prevención del cáncer, desde que el CLA es encontrado predominantemente en la grasa láctea de dieta humana; series de estudios han utilizado ratas prepúberes como modelo de investigación del potencial anticancerígeno del CLA. La mayoría del ácido ruménico en la grasa láctea es sintetizado endógenamente de ácido vaccénico y como consecuencia de estos, los niveles en la leche generalmente se aproximan a una tasa de 1:3, respectivamente (Palmquist *et al.*, 2005).

5. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la composición de la grasa en leche de cabras en dos épocas del año en tres sistemas de producción.

5.1 Objetivo específico

- Determinar la variación estacional del perfil de ácidos grasos en la leche de cabra.

6. HIPÓTESIS

“Si la composición de la grasa láctea depende principalmente de factores nutritivos, entonces se espera que ésta se modifique en la leche de cabras en las diferentes épocas del año”.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Comondú, Baja California Sur. Se diferenciaron tres áreas de estudio, en donde se encontraban explotaciones caprinas con diversos sistemas de producción: extensivo, semiintensivo e intensivo.

7.1.1 Sistema de Producción Extensivo

Localizado en la ranchería de Jesús María, a 17 km de la desviación en el km 29 de la Carretera Federal No. 1 Cd. Insurgentes-Loreto, con las coordenadas geográficas 25°19'51'' N y 111°25'44'' O, con una altura media sobre el nivel del mar de 160 m, precipitación media anual de 180 mm, temperatura media de 18.7 °C durante la época de lluvias y 22.1 °C durante la sequía (INEGI, 2006).

En este tipo de explotación se realiza un ordeño manual por la mañana, posteriormente los animales son liberados al pastoreo en el agostadero, en donde recorren grandes distancias en busca de fuentes de agua y alimento, casi exclusivamente hojas y frutos de plantas nativas. La composición proximal y de ácidos grasos de la dieta se muestra en la Tabla IV. Al regreso (por la tarde) de los animales al rancho, se realizan prácticas sanitarias, si es necesario, en su mayoría curativas y no preventivas. No existe manejo reproductivo, no hay control de los empadre y el mejoramiento genético se limita al intercambio de sementales con productores caprinos de la zona.

7.1.2 Sistema de Producción Intensivo

El Sistema Intensivo se localiza en las coordenadas geográficas 25°11'55'' N y 111°42'07'' O, a una altura media sobre el nivel del mar de 50 m, en una precipitación media anual de 98 mm, una temperatura media de 18.7 °C durante la época de lluvias y de 22.1 °C durante la sequía (INEGI, 2006); la explotación es propiedad del Sr. Rodimiro Amaya Tellez y está situada a 3 km del campamento agrícola “Los Algarrobos”.

En esta explotación las cabras son mantenidas en confinamiento y alimentadas con forrajes henificados y concentrados de granos a libre disposición. La Tabla IV muestra la composición proximal y de ácidos grasos de la dieta. El ordeño es mecánico, se realiza una vez al día; existe asesoría técnica profesional, por lo que se lleva un control adecuado de la sanidad de los animales. El manejo de las crías es por separado del rebaño lechero, solo se les permite tomar calostro el primer día, después de eso, son separadas de la madre y alimentadas con suplementos de leche.

7.1.3 Sistema de Producción Semiintensivo

El Sistema Semiintensivo ubicado en la proximidad del poblado Villa Morelos, con condiciones geográficas y climáticas idénticas al sistema de producción intensivo, debido a la cercanía entre estas dos zonas.

Este tipo de explotación es una variante de los dos sistemas anteriores, ya que combina el pastoreo, en este caso de especies nativas, además de especies vegetales consideradas como malezas, las cuales están asociadas a las áreas agrícolas, así como esquilmos de cosecha. La dieta se complementa con la suministración de forrajes henificados y suplementos en pequeñas cantidades (composición proximal y de ácidos grasos en la Tabla IV). En este sistema, los animales son ordeñados por la mañana y liberados a pastoreo hasta en la tarde. Al regreso del pastoreo reciben la alimentación suplementaria, los tiempos de pastoreo lo determina el productor.

7.2 Animales y muestreos

Se obtuvieron las muestras de leche de cabras criollas con un encaste indefinido de Anglonubio. Los animales (de dos a cinco partos) tenían más de 60 días de lactancia.

Las muestras se obtuvieron mediante ordeño manual, previo aseo de la ubre, para evitar contaminación por tierra o heces. Se obtuvieron 25 ml de muestras por animal, se recolectaron en tubos Falcón estériles, una vez sellados e identificados, estos se conservaron en hielo hasta su llegada a laboratorio.

Tabla IV. Composición de las plantas consumidas por cabras en dos épocas del año, en tres sistemas de producción.

	Sistema de producción					
	<i>Extensivo</i>		<i>Semiintensivo</i>		<i>Intensivo</i>	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
<i>Materia seca (%)</i>	94.30	92.97	93.75	92.56	93.20	93.22
<i>Proteína cruda (%)</i>	14.4	13.9	13.1	13.6	17.4	13.5
<i>Fibra cruda (%)</i>	20.0	14.1	21.4	22.7	11.6	21.6
<i>Extracto libre de N (%)</i>	56.0	56.1	48.7	50.4	60.6	54.1
<i>Cenizas (%)</i>	7.4	12.5	14.8	10.5	7.5	9.7
<i>Energía bruta (Mcal/kg)</i>	4528	4339	3979	4201	4494	4349
<i>Extracto etéreo (%)</i>	2.2	3.5	2.0	2.8	2.8	1.1
Ácidos grasos (%)						
<i>C12:0</i>	0.02	0.03	0.01	0.04	0	0
<i>C14:0</i>	0.06	0.21	0.12	0.14	0.13	0.14
<i>C16:0</i>	1.47	1.59	2.36	2.99	4.13	2.67
<i>C16:1</i>	0.08	0.14	0.13	0.17	0.31	0.32
<i>C18:0</i>	0.57	0.49	0.67	0.58	1.27	0.68
<i>C18:1</i>	1.26	0.91	0.76	1.35	4.29	1.13
<i>C18:2</i>	2.95	2.4	1.64	2.45	13.25	3.26
<i>C18:3</i>	0.76	1.73	1.84	1.94	3.64	0
Total	7.64	8.37	8.20	10.42	28.04	11.04

Época 1 = Sequia; Época 2 = Lluvias.

7.3 Procesamiento de muestras

7.3.1 Extracción de lípidos

Los lípidos de la leche se extrajeron mediante el protocolo establecido por Bligh y Dyer (1959), colocando 30 mg de la muestra liofilizada en un tubo de ensaye, al que se le agregó una mezcla de $\text{CH}_3\text{OH}:\text{CHCl}_3:\text{H}_2\text{O}$, en una proporción de 1:2:0.5, dejándose reposar por 24 horas, sin luz, para facilitar la extracción completa de los lípidos.

Posteriormente, esta mezcla se sonicó tres veces, se le agregó 1 ml de CH_3OH y 2 ml de agua destilada, para después centrifugarlas a 3700 rpm durante 15 min. Una vez centrifugado, se recuperó la fracción lípido- CH_3OH con pipetas Pasteur y esta se vació a un tubo nuevo; con el sobrante se repitió todo el proceso una vez más. Lo obtenido se utilizó para hacer dos determinaciones, cuantificación de lípidos totales y derivatización ácida.

7.3.2 Cuantificación de lípidos totales

Una porción de la fracción lípido- CH_3OH se evaporó hasta sequedad con nitrógeno gaseoso, a este se le agregaron 2 ml de H_2SO_4 concentrado, el tubo se selló con papel aluminio y se cerró con la tapa, con el fin de evitar contaminación. Posteriormente se calcinó a $200 \pm 2^\circ\text{C}$ en estufa por 15 minutos, se dejó reposar 5 minutos a temperatura ambiente. A continuación se colocaron los tubos en un baño de agua con hielo durante 5 minutos. Una vez fríos, se le agregaron 3 ml de agua destilada y se mezcló con vortex. La mezcla resultante se colocó en una celda de cuarzo y se leyó la absorbencia en el espectrofotómetro a 375 nm calibrando el equipo con un blanco de H_2SO_4 que recibió el mismo tratamiento que las muestras.

Este método destructivo fue propuesto por Marsh y Weinstein (1966) y tiene la ventaja de además de ser muy sencilla, presenta una alta reproducibilidad y la utilización de un reactivo simple y estable como el H_2SO_4 concentrado.

7.3.3 Derivatización ácida

El restante de la fracción lípido- CH_3OH , se secó con nitrógeno líquido y se le agregaron 2.5 ml de una solución de $\text{HCl}/\text{CH}_3\text{OH}$ (5%, v/v), la cual se mantuvo a 85°C en baño maría

durante 2.5 horas. Los metilesteres obtenidos de la reacción se extrajeron con 1.5 ml de hexano utilizando pipetas Pasteur. Posteriormente el volumen total de hexano recuperado se evaporó hasta sequedad con nitrógeno líquido para enseguida resuspenderlo en 250 μ l, colocándolo dentro de un vial que se selló con teflón para después inyectarlo en el cromatógrafo de gases.

7.3.4 Identificación y cuantificación de ácidos grasos

Para la determinación de la concentración de ácidos grasos se utilizó un cromatógrafo de gases-espectrómetro de gases c/cuadrupolo Varian CP3800-1200, equipado con un puerto de inyección y una columna capilar OmegaWaxTM 250 de sílice fundida cubierta de polietilenglicol de 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 μ m de espesor de la película. Se utilizó un flujo de 1.2 ml/min de Helio de alto grado de pureza como gas transportador.

Los ácidos grasos presentes en las muestras fueron identificados mediante comparación de sus espectros de masas calculados con el programa Wsearch32 Versión 1.6.2005 y tiempos de retención validados por el método AGP 31 de 30 estándares analizados justo antes del inicio del análisis de las muestras de leche.

En base a su concentración y en el volumen del extracto, se calculó el contenido de cada uno de los compuestos en μ g/mg de biomasa y en porcentaje con respecto al contenido total de ácidos grasos.

7.4 Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó un modelo lineal general (GLM) que incluyó los efectos de la época de muestreo dentro de cada sistema de producción, así como la interacción entre las épocas y los sistemas de producción. Las medias se compararon mediante la prueba múltiple de Tukey $P=0.05$ (SAS, 1989).

8. RESULTADOS

Debido a que no hubo interacción entre la época y sistema de producción, solo se discuten las diferencias entre las épocas del año dentro de cada tipo de explotación.

8.1 Clases de ácidos grasos por sistema de producción

En la Tabla V se observa que en el sistema de producción extensivo hubo una mayor concentración de ácidos grasos ramificados durante la temporada de lluvias ($P \leq 0.01$); asimismo, la cantidad de ácidos grasos omega-3 fue mayor durante la época de lluvias ($P \leq 0.01$). En el sistema de producción intensivo (Tabla VI) hubo una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche colectada durante la época de lluvias ($P \leq 0.05$) y en el sistema de producción semiintensivo, tanto los ácidos grasos monoinsaturados ($P \leq 0.05$) como los omega-3 ($P \leq 0.01$) se presentaron en concentraciones más altas en la temporada de lluvias (Tabla VII).

Tabla V. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
Saturados	771.9	718.7	NS
Monoinsaturados	195.39	166.78	NS
Poliinsaturados	62.44	49.62	NS
Ramificados	66.86 a	27.71 b	**
Omega-3	27.29 a	17.12 b	**
Omega-6	40.37	32.74	NS
Proporción omega-3/omega-6	0.55	0.52	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla VI. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
Saturados	975.2	895.3	NS
Monoinsaturados	242.3	159.9	NS
Poliinsaturados	82.7 a	66.1 b	*
Ramificados	49.6	40.2	NS
Omega-3	26.3	21.4	NS
Omega-6	57.9	48.8	NS
Proporción omega-3/omega-6	0.45	0.44	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla VII. Concentración de ácidos grasos en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
Saturados	1010.2	898.5	NS
Monoinsaturados	297.8 a	174.9 b	*
Poliinsaturados	89.2	71.4	NS
Ramificados	66.6	58.2	NS
Omega-3	32.8 a	20.6 b	**
Omega-6	57.6	51.4	NS
Proporción omega-3/omega-6	0.57	0.40	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

8.2 Ácidos grasos saturados

En la tabla VIII se observa que en el sistema extensivo, las concentraciones de ácidos esteárico (C18:0), heptadecanoico (C17:0) y heneicosanoico (C21:0) fueron más abundantes en la época de lluvias ($P \leq 0.05$). En el sistema intensivo (Tabla IX) se encontró que dos ácidos grasos de muy baja concentración, como el ácido araquídico (C20:0) y el heneicosanoico fueron más abundantes en la época de lluvias ($P \leq 0.01$). Para el sistema de producción semiintensivo (Tabla X) se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de ácido láurico (C12:0) y tricosanoico (C23:0), siendo ambos más abundantes en la época de lluvias.

Tabla VIII. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0	63.93	60.89	NS
C13:0	2.17	2.14	NS
C14:0	165.66	149.43	NS
C15:0	30.74	18.96	NS
C16:0	366.10	351.90	NS
C17:0	18.94 a	11.33 b	*
C18:0	136.50 a	72.70 b	*
C19:0	3.04	2.15	NS
C20:0	14.59	7.97	NS
C21:0	2.16 a	1.20 b	*
C22:0	4.11	2.88	NS
C23:0	2.68	1.85	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla IX. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0	109.64	106.61	NS
C13:0	2.31	2.10	NS
C14:0	259.04	243.84	NS
C15:0	24.08	21.75	NS
C16:0	420.40	358.40	NS
C17:0	16.42	14.61	NS
C18:0	147.69	118.90	NS
C19:0	3.01	2.19	NS
C20:0	5.65 a	3.52 b	**
C21:0	1.99 a	1.28	**
C22:0	2.73	2.36	NS
C23:0	2.67	2.57	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla X. Concentración de ácidos grasos saturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0	159.62 a	96.23 b	*
C13:0	2.79	2.66	NS
C14:0	331.73	244.61	NS
C15:0	33.34	25.59	NS
C16:0	338.90	323.20	NS
C17:0	19.09	13.76	NS
C18:0	140.19	129.12	NS
C19:0	2.67	2.55	NS
C20:0	5.18	5.06	NS
C21:0	1.86	1.59	NS
C22:0	3.28	2.70	NS
C23:0	3.66 a	2.73 b	*

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

8.3 Ácidos grasos monoinsaturados

En el sistema extensivo, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) los ácidos C16:1 n-5, C17:1 n-3, C19:1 y C20:1 n-9; sin embargo, los ácidos C16:1 n-1, 20:1 n-3 y varios isómeros del 18:1 (n-3, n-5, n-6 y n-7), mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), siendo en todos los casos, más abundantes durante la época de lluvias (Tabla XI). En el sistema intensivo (Tabla XII) los ácidos C16:1 n-1 y n-5, el ácido eicosenoico (20:1 n-9) y su isómero n-11, y el ácido nervónico, así como en el ácido oleico (C18:1 n-9) y sus isómeros n-3, n-5, n-6 y n-7, presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), con concentraciones mayores en la época de lluvias. En el sistema de producción semiintensivo (Tabla XIII), el ácido C14:1 n-5 mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), mientras que los ácidos C14:1 n-7 y el ácido oleico C18:1 n-9 mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$); sin embargo, en todos los casos, las concentraciones fueron mayores en la época de lluvias.

Tabla XI. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C14:1 n-5	2.40	1.86	NS
C14:1 n-7	0.36	0.36	NS
C15:1 n-7	2.12	1.99	NS
C16:1 n-1	0.68 a	0.40 b	**
C16:1 n-3	0.92	0.62	NS
C16:1 n-5	1.45 a	0.96 b	*
C16:1 n-7	12.29	9.31	NS
C16:1 n-9	5.10	3.89	NS
C17:1 n-3	10.02 a	5.86 b	*
C17:1 n-5	0.61	0.37	NS
C18:1 n-3	6.16 a	2.90 b	**
C18:1 n-5	2.49 a	0.68 b	**
C18:1 n-6	7.10 a	2.01 b	**
C18:1 n-7	2.07 a	0.41 b	**
C18:1 n-9	135.03	110.03	NS
C18:1 <i>trans</i>	9.52	7.09	NS
C19:1	2.84 a	1.27 b	*
C20:1 n-11	2.58	1.68	NS
C20:1 n-3	1.21 a	0.33 b	**
C20:1 n-9	3.14 a	0.98 b	*
C22:1 n-9	0.21	0.03	NS
C24:1 n-9	2.64	1.77	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XII. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C14:1 n-5	8.63	3.15	NS
C14:1 n-7	0.87	0.55	NS
C15:1 n-7	3.15 a	2.06 b	**
C16:1 n-1	0.92	0.81	NS
C16:1 n-3	1.13 a	0.73 b	**
C16:1 n-5	2.18	1.75	NS
C16:1 n-7	15.22	15.10	NS
C16:1 n-9	5.62	5.25	NS
C17:1 n-3	6.57	4.93	NS
C17:1 n-5	0.38	0.19	NS
C18:1 n-3	5.24 a	3.06 b	**
C18:1 n-5	3.95 a	1.51 b	**
C18:1 n-6	11.26 a	4.60 b	**
C18:1 n-7	3.27 a	1.39 b	**
C18:1 n-9	153.97 a	95.35 b	**
C18:1 <i>trans</i>	15.46	9.03	NS
C19:1	1.93	1.63	NS
C20:1 n-11	3.86 a	1.54 b	**
C20:1 n-3	0.38	0.16	NS
C20:1 n-9	1.01 a	0.36 b	**
C22:1 n-9	0.00	0.00	NS
C24:1 n-9	2.54 a	1.63 b	**

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XIII. Concentración de ácidos grasos monoinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C14:1 n-5	6.34 a	3.45 b	**
C14:1 n-7	0.88 a	0.49 b	*
C15:1 n-7	3.85	3.06	NS
C16:1 n-1	0.87	0.77	NS
C16:1 n-3	1.23	0.99	NS
C16:1 n-5	1.56	1.49	NS
C16:1 n-7	21.49	16.17	NS
C16:1 n-9	6.14	6.05	NS
C17:1 n-3	8.78	8.73	NS
C17:1 n-5	0.37	0.31	NS
C18:1 n-3	3.21	2.58	NS
C18:1 n-5	1.87	1.49	NS
C18:1 n-6	5.24	4.68	NS
C18:1 n-7	1.69	1.34	NS
C18:1 n-9	214.85 a	147.05 b	*
C18:1 <i>trans</i>	13.07	9.79	NS
C19:1	2.09	2.00	NS
C20:1 n-11	2.72	2.32	NS
C20:1 n-3	0.79	0.46	NS
C20:1 n-9	0.99	0.96	NS
C22:1 n-9	0.20	0.04	NS
C24:1 n-9	2.77	2.45	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

8.4 Ácidos grasos poliinsaturados

En el sistema extensivo (Tabla XIV), los ácidos eicosatrienoico (C20:3 n-3) y 19:2 mostraron diferencias significativas entre épocas ($P \leq 0.05$), así como el ácido linolénico C18:3 n-3 cis ($P \leq 0.01$), con valores mayores en la época de lluvias con respecto a la época de sequía. En el sistema de producción intensivo (Tabla XV) se encontraron diferencias entre épocas en el ácido linoleico cis ($P \leq 0.01$), así como en los ácidos grasos C19:2, ácido dihimo-gama-linoleico (C20:3 n-6), eicosapentanoico (C20:4 n-6), docosapentanoico (C22:5 n-3) y docosahexanoico (C22:6 n-3) ($P \leq 0.05$). Los ácidos docosapentanoico y docosahexanoico ($P \leq 0.05$), así como el ácido alfa-linolénico cis ($P \leq 0.01$) también mostraron diferencias entre épocas en el sistema de producción semiintensivo, con concentraciones mayores en la época de lluvias (Tabla XVI).

Tabla XIV. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C18:2 n-5	0.84	0.61	NS
C18:2 n-6 cis	29.83	26.12	NS
C18:2 n-6 <i>trans</i>	0.77	0.63	NS
C18:3 n-3 cis	18.58 a	9.17 b	**
C18:3 n-3 <i>trans</i>	0.52	0.41	NS
C18:3 n-6	0.58	0.41	NS
C19:2	3.67 a	2.50 b	*
C20:3 n-3	0.40 a	0.20 b	*
C20:3 n-6	2.45	1.84	NS
C20:4 n-6	2.45	1.84	NS
C20:5 n-3	1.73	1.63	NS
C22:5 n-3	2.78	2.68	NS
C22:6 n-3	1.34	0.96	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XV. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C18:2 n-5	1.38	1.17	NS
C18:2 n-6 cis	45.48 a	32.77 b	*
C18:2 n-6 <i>trans</i>	1.13	0.88	NS
C18:3 n-3 cis	15.51	13.86	NS
C18:3 n-3 <i>trans</i>	0.76	0.54	NS
C18:3 n-6	0.57	0.42	NS
C19:2	7.64 a	3.38 b	**
C20:3 n-3	0.18	0.14	NS
C20:3 n-6	5.44 a	2.49 b	**
C20:4 n-6	5.44 a	2.49 b	**
C20:5 n-3	2.21 a	1.60 b	**
C22:5 n-3	4.12 a	2.62 b	**
C22:6 n-3	1.84 a	0.98 b	**

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XVI. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C18:2 n-5	1.04	0.63	NS
C18:2 n-6 cis	45.91	38.48	NS
C18:2 n-6 <i>trans</i>	1.14	1.01	NS
C18:3 n-3 cis	20.25 a	10.99 b	**
C18:3 n-3 <i>trans</i>	0.77	0.75	NS
C18:3 n-6	0.51	0.49	NS
C19:2	6.29	4.55	NS
C20:3 n-3	0.38	0.22	NS
C20:3 n-6	4.46	4.17	NS
C20:4 n-6	4.46	4.17	NS
C20:5 n-3	2.42	1.83	NS
C22:5 n-3	4.53 a	3.17 b	*
C22:6 n-3	2.33 a	1.34 b	*

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

8.5 Ácidos grasos ramificados

En el sistema extensivo de producción, los ácidos grasos *iso* C13:0, C14:0, C15:0 y C17:0, los *anteiso* C14:0, 16:0 y 17:0 mostraron diferencias ($P \leq 0.01$), así como el C16:0 *anteiso* ($P \leq 0.05$) entre épocas, observándose las mayores concentraciones en la época de lluvias (Tabla XVII). En el sistema intensivo de producción, solo presentó diferencias significativas entre épocas, el C14:0 *anteiso* ($P \leq 0.01$), con una concentración mayor en la época de lluvias. En el sistema de producción semiintensivo (Tabla XIX), los ácidos C12:0 *iso* y C15:0 *anteiso* mostraron diferencias entre épocas ($P \leq 0.05$) sobresaliendo con una concentración mayor en ambos casos, en la época de lluvias.

Tabla XVII. Concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción extensivo.

Ácidos grasos ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0 <i>iso</i>	2.18	1.57	NS
C13:0 <i>iso</i>	4.90 a	1.53 b	**
C14:0 <i>iso</i>	5.76 a	1.89 b	**
C14:0 <i>anteiso</i>	11.06 a	4.88 b	**
C15:0 <i>iso</i>	23.90 a	7.72 b	**
C15:0 <i>anteiso</i>	0.98	0.53	NS
C16:0 <i>iso</i>	6.13 a	3.63 b	*
C16:0 <i>anteiso</i>	9.33 a	4.79 b	**
C17:0 <i>iso</i>	2.20 a	0.99 b	**
C17:0 <i>anteiso</i>	0.43 a	0.18 b	**
C18:0 <i>iso</i>	0.63	0.61	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XVIII. Concentración de ácidos grasos ramificados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción intensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0 iso	2.93	2.24	NS
C13:0 iso	1.94	1.66	NS
C14:0 iso	4.28	4.27	NS
C14:0 <i>anteiso</i>	9.94 a	5.84 b	**
C15:0 iso	12.04	10.47	NS
C15:0 <i>anteiso</i>	0.70	0.42	NS
C16:0 iso	7.07	6.91	NS
C16:0 <i>anteiso</i>	9.19	7.32	NS
C17:0 iso	1.33	0.98	NS
C17:0 <i>anteiso</i>	0.28	0.16	NS
C18:0 iso	8.77	0.75	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

Tabla XIX. Concentración de ácidos grasos ramificados en la leche de cabras alimentadas en un sistema de producción semiintensivo.

Ácidos grasos (µg/mg)	Época		Significancia
	Lluvias	Sequía	
C12:0 iso	4.59 a	2.63 b	*
C13:0 iso	3.68	3.05	NS
C14:0 iso	7.70	6.03	NS
C14:0 <i>anteiso</i>	11.03	8.79	NS
C15:0 iso	18.87	17.75	NS
C15:0 <i>anteiso</i>	1.20 a	0.77 b	*
C16:0 iso	9.78	6.97	NS
C16:0 <i>anteiso</i>	10.12	8.99	NS
C17:0 iso	1.30	1.09	NS
C17:0 <i>anteiso</i>	0.34	0.23	NS
C18:0 iso	1.05	0.79	NS

NS $P > 0.05$; * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. Promedios con diferente literal en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey $P=0.05$).

9. DISCUSIÓN

Efecto de las épocas en la concentración de ácidos grasos en la leche de cabras en los diferentes sistemas de explotación

De los componentes mayores de la grasa láctea, es decir por su clasificación según el tipo de ácido graso, los resultados del presente trabajo son similares a lo reportado por Lock y Shingfield (2004) y Moate *et al.* (2007), quienes mencionan que la grasa de la leche normalmente contiene una alta proporción de ácidos grasos saturados, de 70-75% del total, en gran parte como consecuencia de la biohidrogenación microbiana en el rumen, 20-25% de ácidos grasos monoinsaturados y un 5% de ácidos grasos poliinsaturados. En este trabajo, las proporciones de ácidos grasos saturados fueron de 70-75% del total en el sistema extensivo (más abundantes durante la época de sequía), 72-77% para el sistema intensivo (más abundantes durante la época de sequía) y de 69-75% en el sistema semiintensivo (más abundantes durante la época de sequía). Para los ácidos grasos monoinsaturados se encontró que en el sistema extensivo las proporciones fueron de 17-18% del total de ácidos grasos, para el sistema intensivo de 14-18% y para el semiintensivo de 15-20%, en este tipo de ácidos grasos se encontró una clara tendencia hacia el aumento de sus concentraciones en la leche durante la época de lluvias; asimismo, se encontraron diferencias significativas de estos en el sistema de producción semiintensivo, lo que pudo deberse al alto consumo de vaina de huizache en la zona donde los animales eran liberados al pastoreo, estas vainas contienen semillas que posiblemente sean ricas en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. Los ácidos grasos poliinsaturados estuvieron presentes en proporciones entre 5-6% del total, en todos los sistemas de producción, siendo ligeramente más concentrados durante la temporada de lluvias. Se encontraron diferencias significativas de ácidos grasos poliinsaturados en el sistema de producción intensivo, esto muy probablemente se debió a las grandes cantidades de grano de garbanzo, rico en ácido linoleico.

Las concentraciones de ácidos grasos ramificados se relacionan con la abundancia en las poblaciones de bacterias ruminales, que varían según la concentración de forraje en la dieta (Vlaeminck *et al.*, 2006); sin embargo, también es necesaria la fermentación de

aminoácidos como valina, leucina e isoleucina para dar origen a precursores (isobutirato, isovalerato o 2-metilbutirato) de este tipo de ácidos grasos, para su utilización en la síntesis de *novo* en la glandula mamaria (Jenkins, 1993).

Las mayores proporciones de ácidos grasos n-3 en relación a los n-6, pueden explicarse con lo que mencionan Loor *et al.* (2004) en relación al grado de biohidrogenación de las fuentes principales de cada uno de este tipo de omegas. El ácido linoleico, que es un ácido graso n-6, es biohidrogenado en menor grado (70-90%) que el ácido alfa-linolénico (85-95%), que es la principal fuente n-3 para los rumiantes, esto podría estar determinando las diferencias en esta proporción. Asimismo, las diferencias de las concentraciones de ácidos grasos n-3 entre épocas (más abundantes durante la época de lluvias) que se presentan en el sistema extensivo y semiintensivo, podrían explicarse debido a que ambos sistemas implementan el pastoreo y los forrajes pastoreados en verde contienen mayores concentraciones de ácido alfa-linolénico (Elgersma *et al.*, 2003), una fuente importante de ácidos grasos n-3 para los rumiantes.

La poca variación encontrada en los componentes mayores de la grasa, es decir, las diferentes clasificaciones de ácidos grasos entre las épocas de muestreo, coincide con lo que mencionan Martínez-Castro *et al.* (1979), quienes afirman que los programas de alimentación, de manejo y las variaciones climáticas son relativamente uniformes dentro de cada región, lo que reduce las variaciones en la composición de la materia grasa de la leche debido a factores similares tales como, la variación estacional y del área geográfica. En otro punto de vista, Pinto *et al.* (2002) mencionan que las variaciones en la composición de los ácidos grasos de la materia grasa de la leche de bovinos, son la resultante de los sistemas de alimentación, del período de lactancia, de la variación estacional y del área geográfica, aunque también tiene influencia el grado de mastitis que se presenta de manera recurrente en el sistema extensivo, ya que los animales están más expuestos a factores que predisponen este padecimiento durante la búsqueda del alimento. Asimismo, el manejo sanitario es muy poco frecuente. Otro aspecto que mencionan Pinto *et al.* (2002), es la raza, pero su efecto sería complejo de cuantificar en el presente trabajo, ya que los animales muestreados son de origen criollo, y además, la gran mayoría de ellos poseen una

proporción genética desconocida, de animales con mayor potencial productivo de la raza Anglonubia, en la mayoría de los casos.

Efecto de las épocas en los ácidos grasos saturados

Acorde con la literatura, los ácidos grasos de cadena corta (como el C4:0) y de mediana (como C6:0, C8:0 y C10) son importantes en la leche caprina, representando concentraciones de 15-18% (Sanz Sampelayo *et al.*, 2007); sin embargo, el equipo de cromatografía de gases-espectrometría de masas utilizado para la determinación de las concentraciones de ácidos grasos, no registró los espectros generados de estos por diferencias entre el tiempo de aparición del espectro y el inicio del registro de los espectros por parte del equipo.

Los ácidos grasos saturados de cadena media como el C12:0, C14:0 y C16:0, que representan la mayoría de los de este tipo en la grasa láctea (Eastridge y Qiu, 2001), lo que concuerda parcialmente con lo reportado en este trabajo, es decir, si bien las concentraciones de C16:0 y C14:0 fueron las más elevadas, estos son importantes ya que son responsables del concepto de la grasa de leche como grasa saturada y también contribuyen de manera importante a la estructura física de la grasa. El C18:0 presentó mayores proporciones que el C12:0, 9.8 % contra 8%, respectivamente. Esto pudo deberse a un consumo de ácidos grasos C18 del tipo insaturado más abundantes en la dieta, ya que el C12:0 es más abundante en otro tipo de alimentos menos comunes como el aceite de coco y el laurel o bien su origen es la síntesis de *novo* (Chilliard *et al.*, 2001).

Las diferencias menores en las concentraciones de ácido láurico (C12:0) podrían tener origen en la síntesis de *novo*, ya que una sintetasa en la glándula mamaria se encarga de sintetizar este tipo de ácidos grasos de cadena corta (Chilliard *et al.*, 2001), y a su vez la cantidad de acetato disponible depende de la cantidad de forraje, que lo torna significativo para el sistema semiintensivo, ya que además de recibir la ración diaria, los animales pueden obtener una mayor cantidad de alimento al momento de pastorear, esto pudiera explicar el motivo por el cual, no ocurrió lo mismo en el sistema extensivo de producción.

En comparación con lo encontrado en el presente trabajo, en Australia, Thomas y Rowney (1996), realizaron un muestreo anual de leche de rebaños en tres regiones del sureste de ese país, encontrando los valores más altos en el C18:0, a diferencia del C16:0 y C14:0 que fueron los más importantes para los tres sistemas de explotación en este trabajo. Lo anterior pudo deberse a las diferencias en la composición vegetativa de la dieta, ya que en Australia, los animales pastorearon en su totalidad en praderas de pastos, por lo que la presencia del C18:0 pudo haber sido provocada por la biohidrogenación ruminal de las altas concentraciones de ácido alfa-linolénico (Chilliard *et al.*, 2001), 55-65% presente en este tipo de forrajes. De los compuestos encontrados en el lugar, pudieron ser resultado de la isomerización que se encuentra presente en altas proporciones en ese tipo de vegetación, en cambio, la vegetación de zonas semiáridas presenta cambios en su composición de ácidos grasos en las membranas, presentando una mayor cantidad del tipo saturado, principalmente C16:0, en el supuesto de que reduciendo la fluidez de la membrana se reducirá la evapotranspiración, con la finalidad de adaptarse mejor a ambientes con altas temperaturas (Falcone *et al.*, 2004).

En el sistema extensivo de producción se presentaron diferencias estadísticas entre épocas de muestreos para el ácido graso C18:0, lo que podría explicarse por el alto grado de biohidrogenación que soportan los ácidos alfa-linolénico y linoleico (Antongiovanni *et al.*, 2003) presente en el forraje que las cabras consumen en pastoreo, a su vez, la disponibilidad de forraje fresco se ve limitada por las condiciones ambientales, por lo que se entiende que estas diferencias no se presentaron de manera significativa en los sistemas de producción intensivo y semiintensivo, ya que el origen de este tipo de ácidos grasos se limita exclusivamente al alimento (Cabrita *et al.*, 2007). Las diferencias significativas en el C17:0 se asume que también están relacionadas con la disponibilidad de alimento, ya sea por la utilización de propionato como precursor de grasa o por la betaoxidación del ácido esteárico (C18:0). Se presentaron diferencias estadísticas en las concentraciones de C20:0 en el sistema intensivo, esto posiblemente se debió a las diferencias en los ingredientes utilizados para la fabricación de los alimentos balanceados, que son utilizados en grandes cantidades en este sistema de producción, que son el origen la biohidrogenación de los

ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga presentes en los aceites y harinas de pescado incluidos en la ración (Morand-Fehr y Tran, 2001).

Se encontraron diferencias estadísticas en el ácido heneicosanoico (C21:0) para los sistemas extensivo e intensivo, y tricosanoico (C23:0) en el sistema semiintensivo, que estuvieron presentes en muy bajas concentraciones (<2% del total), debido a su baja concentración, no están extensamente reportados en la leche; sin embargo, su presencia pudiera deberse a que está presente en hongos anaeróbicos ruminales en cantidad importante, alrededor del 7% del total (Koppova *et al.*, 2008).

Efecto de las épocas en los ácidos grasos monoinsaturados

Chilliard *et al.* (2005) mencionan que el ácido oleico es el más prominente ácido graso monoinsaturado, presentando concentraciones del 15-21%, y a su vez una proporción de 0.15 del porcentaje anterior representa la cantidad de isómeros *trans* de este tipo de ácidos grasos. Lo que se encontró en el presente trabajo fue muy similar a lo antes mencionado, ya que el ácido oleico resultó ser el más abundante en los tres sistemas de explotación, siendo más abundante en el sistema que complementaba el pastoreo con la alimentación en estabulación (sistema semiintensivo, con un 14% del total de ácidos grasos). Al parecer esta interacción pastoreo/suplementación resulta importante para elevar las concentraciones de este ácido graso, ya que en él se encontraron diferencias significativas, lo que no sucedió en los sistemas extensivo e intensivo. El origen de las grandes proporciones de ácido oleico podría deberse a que las células mamarias tienen una potente actividad de la delta-9-desaturasa sobre los ácidos grasos de 18 carbonos, y mucho menor en ácidos grasos de cadena más pequeña, aproximadamente el 40% del ácido esteárico es desaturado y aporta más del 50% del ácido oleico presente en la leche (Chilliard *et al.*, 2001). Las concentraciones de C18:1 *trans* en el presente trabajo, correspondieron con las que establecieron Chilliard *et al.* (2003) para la leche de cabra, de lo cual muy probablemente hasta un 60% de estas concentraciones sean de ácido vaccénico (C18:1 *trans*¹¹), que es el isómero más importante. Alonso *et al.* (1999) informaron que la cantidad total de C18:1

trans en la leche de cabra de rebaños comerciales representa un 2.1% del contenido total de grasa.

La mayoría de la literatura al enfocarse en los ácidos grasos monoinsaturados en la leche, encauza su total atención hacia el ácido oleico; sin embargo, un gran número de isómeros del C16:1 y C20:1 fueron identificados, no obstante estos se presentaron a muy bajas concentraciones, lo que se sustenta en lo reportado por Chilliard *et al.* (2000) al mencionar que la desaturación se da en mucho mayor medida para ácidos grasos C18:0, que para otros menores, como el 16:0. Bas *et al.* (1987) mencionan que el principal origen de este tipo de ácidos grasos es la remoción de reservas corporales, pero se encuentra lejos de ser una de las principales, más bien son de importancia secundaria. Dentro de esta los ácidos grasos menores encontrados, también dos isómeros del C14:1, que solo presentaron diferencias significativas para el sistema semiintensivo, lo que contrasta con lo mencionado por Christie (1995), sugiriendo que las concentraciones bajas de este tipo de isómeros se debe a que su principal origen es la desaturación del C14:0 por acción de la delta-9-desaturasa, lo que tiene impacto directo en las proporciones de este en la leche, ya que la actividad de esta enzima es bastante baja para los ácidos grasos con cadena de menor de 18 carbonos. Sin embargo, un argumento más reciente, Cabrita *et al.* (2007) señala que el principal origen de estos ácidos grasos es la síntesis de *novo* en la glándula mamaria a partir de acetato, por lo que las diferencias en el sistema semiintensivo puedan deberse a un efecto compensatorio por el volumen de leche producida. Para otros ácidos grasos denominados como menores, que no son reportados con frecuencia en la literatura debido a su escasa concentración, como lo fue el C15:1, se encontró que su concentración correspondía al 50% de lo reportado por Alonso *et al.* (1999) en cabras murcianas en España. Igualmente se encontraron concentraciones ligeras de C19:1, aunque la literatura no reporta este ácido graso con mucha frecuencia en la leche, escasamente se asocia su presencia en la leche producida bajo padecimiento de la ubre, como la mastitis (Atroshi *et al.*, 1989).

Delgadillo-Puga *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la variación estacional (verano-invierno) de dos estrategias de alimentación, la primera fue pastoreo en un pastizal semiárido y la segunda consistió en confinamiento con alimentación a base de alfalfa

henificada y concentrado de granos. Los resultados del estudio mostraron que la variación estacional afectó el contenido de grasa de quesos elaborados con leche de cabra. Se encontraron concentraciones altas de ácidos grasos monoinsaturados en la leche producida en pastoreo y disminuciones de estos en el tratamiento de estabulación. El monoinsaturado más abundante resultó ser el C18:1, lo que coincide con lo encontrado en el presente trabajo, ya que se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de los diversos isómeros del C18:1 en el sistema extensivo; sin embargo, también se presentaron diferencias estadísticas de los mismos ácidos grasos en el sistema de producción intensivo, siendo las más pronunciadas para el isómero n-6, lo que pudiera deberse a la mayor disponibilidad de C18:3 n-3 en el forraje (Lock y Gransworthy, 2003).

Efecto de las épocas en los ácidos grasos poliinsaturados

Los ácidos grasos poliinsaturados mostraron concentraciones bajas en la leche en el presente trabajo. Las concentraciones importantes fueron exclusivamente del ácido linoleico con una concentración promedio para los tres sistemas de explotación de 3% y 1.2% de ácido alfa-linolénico, este último presentó diferencias estadísticas entre épocas. Las proporciones obtenidas coinciden con lo reportado por Christie (1995). Para los sistemas que implementaron pastoreo (extensivo y semiintensivo) se cumple lo propuesto por Elgersma *et al.* (2006) quienes afirman que la leche de animales alimentados con forrajes verdes frescos, en especial aquellos en pastoreo, muestran una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados. Esa tendencia se observó al comparar las concentraciones obtenidas de la época de lluvias donde había mayor disponibilidad de alimento fresco, contra la época de sequía. Al respecto, Lock y Gransworthy (2003) mencionan que las concentraciones de ácidos grasos saturados dependen en gran medida de la producción ruminal de ácido vaccénico, proveniente del C18:3 presente en mayores proporciones en los forrajes verdes, esto aunado a las conversiones endógenas enzimáticas en la glándula mamaria. Sin embargo, el sistema intensivo presentó diferencias estadísticas en la concentración de ácido linoleico, lo que va en contra de lo propuesto por Lock y Gransworthy, (2003), sin embargo, Chilliard *et al.* (2000) demostraron que dietas que contienen semillas de

oleaginosas como la soya, son usadas ampliamente en la alimentación de animales estabulados, para manipular la composición de ácidos grasos en los productos, el aceite y grano de soya es rico en ácido oleico (C18:2 *n-6*), su implementación generalmente resulta en incrementos de los niveles de estos ácidos grasos en los productos animales.

Thomson y Van Der Poel (2000), Lock y Garnsworthy (2003), Auld *et al.* (1998) y Nudda *et al.* (2005) reportaron perfiles de ácidos grasos en la leche y sus subproductos de rumiantes manejados en pastizales, encontrando que las concentraciones de C18:3 *n-3* disminuyeron 36% entre primavera y verano, los autores atribuyeron este efecto a la calidad y cantidad menor de los pastos, resultado del proceso de lignificación, fenómeno que afecta de manera importante la degradabilidad de la materia seca de los forrajes (Ramirez-Orduña *et al.*, 1998). La misma tendencia se presentó en la época de lluvias y en la de sequía en los sistemas de producción que implementaban pastoreo (extensivo y semiintensivo) para el ácido alfa-linolénico, disminuyendo en alrededor de 50%. Por otro lado, Delgadillo-Puga *et al.* (2009) reportaron que en un estudio evaluando sistemas de alimentación, pastoreo contra estabulación, el ácido graso poliinsaturado más elevado fue el C18:2 en ambos tratamientos, resultados similares se observaron en el presente estudio en los tres sistemas de explotación.

En el caso del ácido eicosapentaenoico y docosahexaenoico y otros poliinsaturados con más de 20 carbonos, son sintetizados en cantidades insignificantes según Wolf *et al.* (1995). La presencia de los ácidos grasos de cadena de 20-22 carbonos se justifica con la inclusión de aceites de pescado en la dieta, no solo por su aporte en lipídico, sino que además posee efecto inhibitorio sobre la saturación del ácido vaccénico, favoreciendo la síntesis de *novo* (Shingfield *et al.*, 2003). Ingredientes de origen marino, como el aceite y harina de pescado, son muy comunes en la elaboración de alimentos balanceados o concentrados suministrado en los sistemas de producción intensivos y semiintensivos, por lo que las diferencias estadísticas presentes en algunos de estos ácidos grasos poliinsaturados presentes en los dos sistemas de producción mencionados, pueden deberse exclusivamente a la cantidad de alimento balanceado o concentrado consumido, ya que la

presencia de estos poliinsaturados esta pobremente representada en la grasa de animales que no han recibido este tipo de suplementación (Chilliard *et al.*, 2001).

Efecto de las épocas en los ácidos grasos ramificados

La importancia de este tipo de compuestos la señalan Chilliard y Lamberet (2001), ya que una de sus características más importantes radica en desarrollar características organolépticas que son muy particulares de la leche caprina y sus subproductos, como el sabor y olor. Diedrich y Henschel (1990) mencionan que a pesar de que este tipo de ácidos grasos se encuentran solo en concentraciones traza en las plantas, existen diferentes componentes de este tipo en la leche y en los tejidos adiposos de las cabras, así como en otros animales que realizan fermentación simbiótica (Rojas *et al.*, 1994).

Se identificaron 11 tipos diferentes de ácidos grasos ramificados, con cadena entre los 12-18 átomos de carbono, siendo 7 isómeros *iso* y 5 *anteiso*. Los resultados del presente trabajo, confirman lo reportado por Massart-Leën *et al.* (1981) en el sentido de que solo se encontraron compuestos con más de 11 átomos de carbono; sin embargo, ya se ha descrito que también pueden estar presentes compuestos de este tipo con cadenas de menos de 11 carbonos, principalmente en los quesos de cabra, aunque son prácticamente inexistentes en la leche bovina (Ha y Lindsay, 1991).

Los resultados del presente trabajo coinciden con la afirmación que hace Vlaeminck *et al.* (2006) quienes afirman que los ácidos grasos ramificados más abundantes son aquellos de 15 átomos en la cadena de carbono. En este trabajo, el C15:0 *iso* fue el más abundante para todos los sistemas de explotación (entre el 1-2% del total de ácidos grasos), con una tendencia hacia los sistemas que implementaron el pastoreo; asimismo, esa condición se cumplió en todos los isómeros *iso*. Los isómeros *anteiso* no presentaron una tendencia consistente, inclusive, los aumentos esperados en los sistemas intensivos, según lo propuesto por Shingfield *et al.* (2005), no se presentaron en esta investigación. Este mismo autor menciona que las proporciones de ramificados *anteiso* se correlacionan negativamente con las proporciones de forraje en la dieta. Por su parte, Cranix *et al.* (2008)

mencionan que el ácido graso C17:0 *iso* fue mayor para la dieta de estabulación, resultado que no coincide con el presente estudio, ya que el más abundante fue el C15:0 *iso*, como ya se mencionó anteriormente.

Vlaeminck *et al.* (2006) mencionan que las variaciones en las concentraciones de los ácidos grasos ramificados pueden ser afectadas por incrementos o decrementos relativos en la tasa forraje/concentrado manejada en la dieta; esto pudiera deberse a que los isómeros *iso* deben su origen principal y casi exclusivo a las bacterias celulolíticas (por ejemplo, *Ruminococcus flavefaciens*), cuyo principal sustrato son los forrajes; en cambio, los ácidos grasos *anteiso*, así como los ácidos grasos saturados de cadena impar, se presentan en más abundancia en las bacterias amilolíticas (por ejemplo, *Prevotella ruminicola*), que tienen como principal sustrato el almidón, que se encuentra en proporciones grandes en los concentrados producidos a base de granos y semillas; sin embargo estos dos últimos tipos de ácidos grasos también pueden ser sintetizados *de novo* por la glándula mamaria (Chilliard *et al.*, 2001).

10. CONCLUSIONES

- Las épocas de muestreo (lluvias y sequía) en los tres sistemas de producción (extensivo, intensivo y semiintensivo) no mostraron efecto significativo en la composición de los ácidos grasos saturados totales en la leche de cabra; sin embargo, se presentaron diferencias significativas entre determinados isómeros dentro de los sistemas de producción: C17:0, C18:0 y C21:0 en el sistema extensivo; C20:0 y C21:0 en el sistema intensivo; y C12:0 y C23:0 en el sistema semiintensivo.
- Las épocas de muestreo (lluvias y sequía) sólo mostraron efectos significativos en las concentraciones totales de ácidos grasos monoinsaturados en el sistema semiintensivo; sin embargo, se encontraron efectos significativos para otros isómeros dentro de los tres sistemas de producción: C16:1 n-5, C17:1 n-3, C19:1, C20:1 n-9, C16:1 n-1, C20:1 n-3 y C18:1 (n-3, n-5, n-6 y n-7) en el sistema extensivo; C16:1 n-1 y n-5, C20:1 n-9 y n-11, C24:1 n-9 y C18:1 (n-3, n-5, n-6, n-7 y n-9) en el sistema intensivo; y C14:1 n-5 y n-7; y C18:1 n-9 en el sistema semiintensivo.
- El sistema de producción intensivo fue el único que mostró diferencias significativas en las concentraciones totales de ácidos grasos poliinsaturados; sin embargo también presentaron efectos significativos dentro de los tres sistemas de producción los ácidos: C18:3 n-3 cis, C20:3 n-3 y 19:2 en el sistema extensivo; C18:3 n-3 cis, C19:2, C20:3 n-6, C20:4 n-6, C22:5 n-3 y C22:6 n-3 en el sistema intensivo; y C18:3 n-3 cis, C22:5 n-3 y C22:6 n-3 en el sistema semiintensivo.
- El sistema extensivo fue el único que mostró efectos significativos sobre las concentraciones totales de ácidos grasos ramificados, así como en isómeros específicos: C13:0, C14:0, C15:0 y C17:0 *iso*; y C14:0, 16:0 y 17:0 *anteiso*. También se encontraron diferencias dentro de los dos sistemas restantes: C14:0 *anteiso* en el sistema intensivo; y C12:0 *iso* y C15:0 *anteiso* en el sistema semiintensivo.
- Las concentraciones de ácidos grasos omega-3 presentaron efectos altamente significativos en el sistema extensivo y semiintensivo, con aumentaron durante la época de lluvias en ambos casos; mientras que los ácidos grasos omega-6 no presentaron ningún efecto.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, L., Fontecha, J., Lozada, L., Fraga, M.J., Juarez, M. 1999. Fatty acid composition of caprine milk: major, branched-chain, and *trans* fatty acids. *J Dairy Sci.* 82:878-884.
- Antongiovanni, M., Buccioni, A., Petacchi, F., Secchiari, P., Mele, M., Serra, A. 2003. Upgrading the lipid fraction of foods of animal origin by dietary means: rumen activity and presence of *trans* fatty acids and CLA in milk and meat. *Ital J Anim Sci.* 2:3-28.
- Antongiovanni, M., Mele, M., Buccioni, A., Petacchi, F., Serra, A., Melis, M.P., Cordebbu, L., Banni, S., Secchiari, P. 2004. Effect of forage/concentrate ratio and oil supplementation on C18:1 and CLA isomers in milk fat from Sarda ewes. *J Anim Feed Sci.* 13:669-672.
- Ashes, J.R., Gulati, S.K., Scott, T.W. 1997. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J Dairy Sci.* 80: 2204-2212.
- Atroshi, F., Rizzo, A., Osterman, T., Parantainen, J. 1989. Free fatty acids and lipid peroxidation in normal and mastitic bovine milk. *J Vet Med A.* 36:321-330.
- Auldust, M.J., Walsh, B.J., Thomson, N.A. 1998. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. *J Dairy Res.* 65:401-411.
- Bakke, H., Steine, T., Eggum, A. 1977. Flavour score and content of free fatty acids in goat milk. *Acta Agric Scand.* 27:245-249.
- Banni, S., Martin, J.C. 1998. Conjugated linoleic acid and metabolites. In: Sebedio, J., Christie, W. (Eds.) *Trans Fatty Acids in Human Nutrition*. Editorial Oily Press, Dundee, Escocia. Pp. 302.
- Banskalieva, V., Sahlu, K., Goetsch, A.L. 2000. Fatty acid composition of goat muscles and fat depots: a review. *Small Ruminant Res.* 37:255-268.
- Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S., Delahoy, J.E. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci.* 86:1-42.
- Bas, P., Chilliard, Y., Morand-Fehr, P., Rouzeau, A., Mandran, N. 1987. Adipose tissue main composition of the Alpine goat in late lactation. *Ann Zootech.* 36:361-374.
- Bauchart, D. 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. *J Dairy Sci.* 76:3864-3881.
- Bauman, D.E., Corl, B.A., Baumgard, L.H., Griinari, J.M. 2001. Conjugated linoleic acid and the dairy cow. En: Garnsworthy, P.C., Wiseman, J. (Eds.) *Recent Advances in Animal Nutrition*, Editorial Nottingham Univ Press, Nottingham, Inglaterra. Pp. 250.
- Bauman, D.E., Griinari, J.M., 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Ann Rev Nut.* 23:203-227.

- Bauman, D.E., Lock, A.L. 2006. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. Tri-State Dairy Nutrition Conference. <http://tristatedairy.osu.edu/Bauman.pdf> (Cons. 10/12/2010)
- Bauman, D.E., Perfield, J.W. II, De Veth, J.W., Lock, A.L. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. Proc Cornell Nutr Conf. 175-189.
- Belitz, H.D., Grosch, W. 1999. Food Chemistry. Milk and dairy products. Segunda edición. Editorial Springer, New York. Pp. 472.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol. 37:911-917.
- Boza, J. 1993. Planificación ganadera del sureste iberico. Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca. Ed. Seminar on the ruminant nutrition in arid and mountain zones and their relationship with the maintenance of natural resources. Sevilla, España. Pp. 66.
- Boza, J., Sanz Sampelayo, M.R., 1997. Aspectos nutricionales de la leche de cabra. Ann Acad Cienc Vet. 10:109-139.
- Cabrita, A.R.J., Bessa, R.J.B. Alves, S.P., Dewhurst, R.J. Fonseca, A.J.M. 2007. Effects of dietary protein and starch on intake milk production and milk fatty acid profiles of dairy cows fed corn silage-based diets. J Dairy Sci. 90:1429-1439.
- Chacón-Villalobos, A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. Agron Mesoam. 16:239-252.
- Chandan, R., Attaie, R., Sahani, K.M. 1992. Nutritional aspects of goat milk and its products. Proa V Int Conference on Goat. Nueva Delhi. 1869-1890
- Chen, S., Bobe, G., Zummerman, S., Hammond, E.G., Luhman, C.M., Boylston, T.D., Freeman, A.E., Beitz, D.C. 2004. Physical and sensory properties of dairy from cows with various milk fatty acid compositions. J Agr Food Chem. 52:3422-3428.
- Chilliard, Y., Chabosseau, J.M., Rouel, J., Capitan, P., Gominard, C., Gaborit, P., Juanéda P., Ferlay, A. 2002. Interactions between forage nature and sunflower or linseed oil supplementation on goat milk fatty acids of interest for human nutrition. En: Durand, J.L., Emile, J.C., Huyghe, C., Lemaire, G. (Eds.) Multi function grasslands: Quality forages, animal products and landscapes. La Rochelle, Francia. Pp. 549.
- Chilliard, Y., Ferlay, A. 2004. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. Reprod Nutr Dev. 45:467-492.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001. Control of the nutritional quality of milk fat in the diets f diary cows: *trans* fatty acids, polyunsaturated, conjugated linoleico acid. Prod Anim. 14:323-335.

- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M. Doreau, M. 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated fatty acids. *Ann Zootech.* 49:181-205.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J Dairy Sci.* 86:1751-1770.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Rouel, J., Doreau, M., 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur J Lipid Sci Technol.* 109:828-855.
- Chilliard, Y., Lamberet, G. 2001. Biochemical characteristics of goat milk lipids and lipolytic system. A comparison with cows and human milk. Effect of lipid supplementation. En: Freund, G. (Ed.), *Goat milk quality, raw material for cheesemaking.* Institut Technique des Produits Laitiers Caprins. Surgères, Francia. Pp. 114.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal- Ljutovac, K., Lauret, A., Leroux, C. 2006. Optimising goat milk and cheese fatty acid composition: effects of genotype, feeding factors and dairy technology. In: Williams, C., Buttriss, J. (Eds.) *Improving the fat content of foods.* Woodhead Publishing Ltd. Pp. 312.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal- Ljutovac, K., Lauret, A. 2005. Effects of type of forage and lipid supplementation on goat milk fatty acids and sensorial properties of cheeses. *Future of the sheep and goat dairy sectors.* Special issue of the International Dairy Federation. Zaragoza, España. Pp. 304.
- Chow, T.T., Fievez, V., Moloney, A.P., Raes, K., Demeyer, D., De Smet, S. 2004. Effect of fish oil on in vitro rumen lipolysis, apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid and accumulation of biohydrogenation intermediates. *Anim Feed Sci Technol.* 117:1-12.
- Christie, W.W. 1995. Composition and structure of milk lipids. En: Fox, P.F. (Ed) *Advanced dairy chemistry 2: Lipids.* Segunda edicion. Editorial Chapman and Hall, Londres, Inglaterra. Pp. 426.
- Collomb, M., Bütikofer, U., Sieber, R., Jeangros, B., Bosset, J.O. 2002. Composition of fatty acids in cow's milk fat produced in the lowlands, mountains and highlands of Switzerland using high resolution gas chromatographic. *Int Dairy J.* 12: 649-659.
- Connor, W.E., Lowensohn, R., Hatcher, L. 1996. Increased docosahexaenoic acid levels in human newborn infants by administration of sardines and fish oil during pregnancy. *Lipids* 31:183-187.
- Cranix, M., Steen, A., Van Laar, H., Van Nespen, T., Martin-Teroso, J., De Baets, B., Fievez, V. 2008. Effect of lactation stage on the odd and branched chain milk fatty acids of dairy cattle under grazing and indoor conditions. *J Dairy Sci.* 91:2662-2677.

- Delgadillo-Puga, C., Cuchillo-Hilario, M., Perez-Gil, F. 2009. Effect of feeding management and seasonal variation on fatty acid composition of Mexican soft raw goats milk cheese. *Ital J Anim Sci.* 8:402-404.
- Demeyer, D., Doreau, M. 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc Nutr Soc.* 58:593-607.
- Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Leec, M.R.F., Scollanc, N.D. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high forage systems. *Anim Feed Sci Technol.* 131:138-206.
- Dhiman, T.R., Anand, G.R., Satter, L.D., Pariza, M.W. 1999a. Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different diets. *J Dairy Sci.* 82:2146-2156.
- Dhiman, T.R., Helmink E.D., McMahon D.J., Fite, R.L., Pariza, M.W. 1999b. Conjugated linoleic acid content in milk and cheese from cows fed extruded oilseeds. *J Dairy Sci.* 82:412-419.
- Diedrich, M., Henschel, K.P., 1990. The natural occurrence of unusual fatty acids. 1. Odd numbered fatty acids. *Nahrung* 34:935-943.
- Dohme, F., Fievez, V., Raes, K., Demeyer, D. 2003. Increasing levels of two different fish oils lower ruminal biohydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid in vitro. *Anim Res.* 52:309-320.
- Doreau, M., Ferlay, A. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim Feed Sci Technol.* 45:379-396.
- Eastridge, M., Qiu, X. 2001. Conjugated linoleic acid in milk from cows on pasture. Department of Animal Sciences. Ohio State University. Agricultural Research and Development Center. Ohio, Estados Unidos. Pp. 240.
- Elgersma, A., Ellen, G., Dekker, P.R., Van der Horst, H., Boer, H., Tamminga, S., 2003. Effects of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) cultivars with different linolenic acid contents on milk fatty acid composition. *Asp Appl Biol.* 70:107-114.
- Elgersma, A., Tamminga, S., Ellen, G. 2006. Modifying milk composition through forage. *Anim Feed Sci Tech.* 131:207-225.
- Emery, R. S. 1973. Biosynthesis of milk fat. *J Dairy Sci.* 56:1187-1195.
- Falcone, D.L., Ogas, J.P., Somerville, C.R. 2004. Regulation of membrane fatty acid composition by temperature in mutants of *Arabidopsis* with alterations in membrane lipid composition. *BMC Plant Biology.* 4:1-17.
- FAO/OMS. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint FAO/OMS Expert Consultation. WHO Technical Report Series 916.

- Fontecha, J., Fraga, M.J., Juárez, M. 1998. Triglyceride analysis by GC in assessment of authenticity of goat milk fat. *JAOCs* 75:1893-1896.
- Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry. Milk Lipids.* Blackie Academic and Professional. Londres, Inglaterra. Pp. 68.
- Gibney, M. J. 1997. Incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids into processed foods. *Br J Nutr.* 78:193-195.
- Gönc, R., Schmidt, R., Renner, E. 1979. Investigations on the fatty acid pattern of buffaloes and goats milk. *Milchwissenschaft* 34:684-686.
- Griinari, J.M., Corl, B.A., Lacy, S.H. 2000. Biosynthesis of conjugated linoleic in lactating dairy cows by delta-9-desaturase. *J Nutr.* 130:2285-2291.
- Griinari, J.M., Dwyne, D.A., McGuire, M.A., Bauman, D.E., Palmquist, D.L. Nurmela, K.V. 1998. *Trans* octadecanoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 81:1251-1261.
- Ha, J.K., Lindsay, R.C. 1991. Contributions of cows, sheeps, and goats milks to characterizing branched chain fatty acids and phenolic flavors in varietal cheeses. *J Dairy Sci.* 74:3267-3274.
- Haenlein, G.F.W. 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Res.* 51:155-163.
- Hansen, H.O., Knudsen, J. 1987. Effect of exogenous long chain fatty acids on individual fatty acid synthesis by dispersed ruminant mammary gland cells. *J Dairy Sci.* 70:1350-1354.
- Harfoot, C.G., Hazlewood, G.P. 1988. Lipid metabolism in the rumen. En: Hobson, N. (Ed.) *The Rumen Microbial Ecosystem.* Editorial Elsevier, Londres, Inglaterra. Pp. 322.
- Harvatine, K.J., Boisclair, Y.R., Bauman, D.E. 2009. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Anim* 3:40-54.
- Hasler, C.M. 1998. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. *Food Technol.* 52:63-70.
- Hawke, J.C., Silcock, W.R. 1970. The invitro rate of lipolysis and biohydrogenation in rumen contents. *Biochim Biophys Acta* 218:201-212.
- Hawke, J.C., Taylor, M.W. 1995. Influence of Nutritional factors of yield, composition and physical properties of milk fat. En: Fox P.F. (Ed.) *Advanced Dairy Chemistry 2: Lipids.* Segunda edicion. Editorial Chapman and Hall, Londres, Inglaterra. Pp. 130.
- Hibbeln, J.R. 1997. Essential fatty acids predict biomarkers of aggression and depression. *PUFA Newslett.* 1:2-3.

Hobson, N., Mann, S.O. 1961. The isolation of glycerol fermenting and lipolytic bacteria from the rumen of the sheep. *J Gen Microbiol.* 25:227-240.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2006. Sistemas Nacionales Estadísticos y de Información Geográfica. Version en línea www.inegi.com.mx

Ip, C., Scimeca, J.A., Thompson, H.J. 1994. Conjugated linoleic acid: A powerful anticarcinogen from animal sources. *Cancer* 74:1051-1054.

Jacobs, M.N., Covaci, A., Gherghe, A., Schepen, P. 2004. Time trend investigation of PCBs, PBDEs and organochlorine pesticides in selected n-3 polyunsaturated fatty acid rich dietary fish oil and vegetable oil supplements; nutritional relevance for human essential n-3 fatty acid requirements. *J Agric Food Chem.* 52:1780-1788.

Jahreis, G., Fritsche, J., Steinhart, H. 1997. Conjugated linoleic acid in milk fat: High variation depending on production system. *Nutr Res.* 17:1479-1484.

Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J Dairy Sci.* 76:3851-3863.

Jenkins, T.C., Wallace, R.J., Moate, P.J., Mosley, E.E. 2008. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J Anim Sci.* 86:397-412.

Koppova, I., Novotna, Z., Strosova, L. and Fliegerova, K. 2008. Analysis of fatty acid composition of anaerobic rumen fungi. *Folia Microbiol.* 53:217-220.

Kritchevsky, D., Tepper, S.A., Wright, S., Czarnecki, S.K., Wilson, T.A., Nicolosi, R.J. 2004. Conjugated linoleic acid isomer effects in atherosclerosis: growth and regression of lesions. *Lipids.* 39:611-616

Larsson, S.C., Kumlin, M., Ingelman-Sundberg, M., Wolk, A. 2004. Dietary long chain n-3 fatty acids for the prevention of cancer: A review of potential mechanisms. *Am J Clin Nutr.* 79:935-945.

Ledoux M., Chardigny, J.M., Darbois, M., Soustre, Y., Sébédio, J.L. 2005. Fatty acid composition of french butters, with special emphasis on conjugated linoleic acid (CLA) isomers. *J Food Compos Anal.* 18:409-425.

Ledoux, M., Rozeau, A., Bas, P., Sauvant, D. 2002. Occurrence of *trans* C18:1 fatty acid isomers in goat milk: Effect of two dietary regimens. *J Dairy Sci.* 85:190-197.

Lock, A.L., Garnsworthy, P.C. 2003. Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and delta-9-desaturase activity in dairy cows. *Livest Prod Sci.* 79:47-59.

Lock, A.L., Horne, C.A.M., Bauman, D.E., Salter, A.M. 2005. Butter naturally enriched in conjugated linoleic acid and vaccenic acid alters tissue fatty acids and improved the plasma lipoprotein profile in cholesterol-fed hamsters. *J Nutr.* 135:1933-1939.

- Lock, A.L., Shingfield, K.J. 2004. Optimising milk composition. In: Kebreab, E., Mills, J., Beever, D.E. (Eds.), *Dairying using science to meet consumers needs*. Editorial Nottingham University Press, Loughborough, Reino Unido. Pp. 188.
- Loor, J.J., Ueda, K., Ferlay, A., Chilliard, Y., Doreau, M. 2004. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of *trans* fatty acid and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J Dairy Sci.* 87:2472-2485.
- Marsh, J.B., Weinstein, D.B. 1966. Simple charring method for determination of lipids. *J Lipid Res.* 1:574-576.
- Martínez, A. 2007. Influencia de la nutrición sobre el contenido y tipo de ácidos grasos en la carne de los rumiantes. *Arch Zootec.* 56:45-66.
- Martínez, A., Hernández, M., Pérez, L., Gómez, G., Carrión, D. 2010a. Lipid metabolism in ruminants. *REDVET.* 11:1-21.
- Martínez, A., Pérez, M., Pérez, L., Gómez, G. 2010b. Digestión de los lípidos en los rumiantes: Una revisión. *Interciencia.* 34:240-246.
- Martínez-Castro, I., Juárez, M., Martín-Álvarez, J. 1979. The composition of fatty acids of milk fat in Spain. *Milchwissenschaft.* 34:207-210.
- Massart-Leën, A.M., De Pooter, H., Decloedt, Schamp, M.N. 1981. Composition and variability of the branchedchain fatty acid fraction in the milk of goats and cows. *Lipids.* 16:286-292.
- McConnell, C., Lock, A.L., McGadden, J.W., Bauman, D.E. 2004. Fish oil supplementation in dairy cows causes a reduction in milk fat secretion and enhances milk fatty acids of interest in human health. *FASEB Journal.* 18:129-140.
- McLeod, R.S., LeBlanc, A.M., Langille, M.A., Mitchell, P.L., Currie, D. L. 2004. Conjugated linoleic acids, atherosclerosis, and hepatic very low density lipoprotein metabolism. *Am J Clin Nutr* 79:1169-1174.
- Miller, C.C., Park, Y., Pariza, M.W., Cook, M.E. 1994. Feeding conjugated linoleic acid to animals partially overcomes catabolic responses due to endotoxin injection. *Biochem Biophys Res Commun.* 198:1107-1112.
- Mills, S.C., Cook, L.J., Scott, T.W. 1976. Effect of dietary fat supplementation on the composition and positional distribution of fatty acids in ruminant and porcine glycerides. *Lipids.* 11:49-60.
- Moate, P.J., Chalupa, W., Boston, R.C., Lean, I.J. 2007. Milk fatty acids. I. Variation in the concentration of individual fatty acids in bovine milk. *J Dairy Sci.* 90:4730-4739.

- Morand-Fehr, M., Tran, G. 2001. The lipid fraction of foods and fats used in animal feed. *Prod. Anim.* 14:285-302.
- Mosley, E.E., Powell, G.L., Riley, M.B., Jenkins, T.C. 2002. Microbial biohydrogenation of oleic acid to *trans* isomers in vitro. *J Lipid Res.* 43:290-296.
- Noble, R.C. 1978. Digestion, absorption and transport of lipids. *Prog Lipid Res.* 17:55-91.
- Nudda, A., McGuire, M.A., Battacone, G., Pulina, G. 2005. Seasonal variation in conjugated linoleic acid and vaccenic acid in milk fat of sheep and its transfer to cheeses and ricotta. *J Dairy Sci.* 88:1311-1319.
- Ortega-Pérez, R., Murillo-Amador, B., Espinoza-Villavicencio, J.L., Palacios-Espinosa, A., Carreón-Palau, L., Palacios-Mechetnov, E., Plascencia-Jorquera, A. 2010. Composición química y concentración de precursores de ácido ruménico y vaccénico en forrajes alternativos para la alimentación de ruminantes en ecosistemas áridos. *Trop Subtrop Agroeco.* 13:33-45.
- Palmquist, D.L. 1991. Influence of sources and amount of dietary fat on digestibility in lactating cow. *J Dairy Sci.* 76:1753-1771.
- Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., Barbano, D.M. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J Dairy Sci.* 76:1753-1771.
- Palmquist, D.L., Lock, A.L., Shingfield, K.J., Bauman, D.E. 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. *Adv Food Nutr Res.* 50:179-217.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M. E. 2000. Mechanism of action of conjugated linoleic acid: Evidence and speculation. *P Soc Exp Biol Med.* 1:8-13.
- Park, Y., Albright, K.J., Liu, W., Storkson, J.M., Cook, M.E., y Pariza, M.W. 1997. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 32:853-858.
- Park, Y., Pariza, M.W. 2007. Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid. *Food Res Int.* 40:311-23.
- Parodi, P.W. 2004. Milk fat in human nutrition. *Aus J Dairy Tech.* 59:3-59.
- Pinna, W., Mancuso, M.R., Vacca, G.M., Sassu, N., Vodret, B., Lai, P. 1996. Fatty acid variations in Sardinian goat milk during lactation. *Int Dairy Fed. Production and utilization of ewe and goat milk.* Bruselas, Belgica. Pp. 275.
- Pinto, M., Rubillar, A., Carrasco, E., An-Hen, K.S., Brito, C., Molina, L. 2002. Efecto estacional y del área geográfica en la composición de ácidos grasos en la leche de bovinos. *Agro Sur.* 30: 75-90.

- Piperova, L.S., Sampugna, J., Teter, B.B., Kalscheur, K.F., Yurawecz, M.P., Ku, Y., Morehouse, K.M., Erdman, R.A. 2002. Duodenal and milk *trans* octadecenoic acid and conjugated linoleic acid isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of *cis*-9 containing CLA in lactating dairy cows. *J Nutr.* 132:1235-1241.
- Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vásquez, C., Zinn, R.A. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J Anim Sci.* 81: 2653-2659.
- Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vásquez, C., Zinn, R.A. 2004. Influences of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *J Anim Vet Adv.* 11:763-768.
- Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vásquez, C., Zinn, R.A. 2005. Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: una revisión. *Interciencia.* 30:134-142.
- Precht, D., Molketin, J. 2000. Frequency distribution of conjugated Linoleic acid and *trans* fatty acids contents un Europeans bovine milk fats. *Milchwissenschaft.* 55:687-691.
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R.G., Ramírez-Orduña, J.M., Cepeda-Palacios, R., Avila-Sandoval, J.M. 1998. Seasonal variation in nutrient content of shrubs from Baja California Sur, Mexico. *For Farm Community Tree Res Rep.* 3:13-17.
- Rapetti, L., Crovetto, G.M., Galassi, G., Sandrucci, A., Succi, G., Tamburini, A., Battelli, G., 2002. Effect of maize, rumen-protected fat and whey permeate on energy utilisation and milk fat composition in lactating goats. *Ital J Anim Sci.* 1:43-53.
- Rego, O.A., Portugal, V.P., Sousa, B.M., Rosa, D.J.H., Vouzela, M.C., Rui, S.E.A., Bessa, J.B. 2004. Effect of diet on the fatty acid pattern of milk from dairy cows. *Anim Res.* 53:213-220.
- Rico, J.E., Moreno, B., Pabón, M.L., Carulla, J.E. 2007. Composición de la grasa láctea en la sabana de Bogotá con énfasis en ácido ruménico, CLA *cis*-9, *trans*-11. *Rev Col Cienc Pec.* 20:30-39.
- Rojas, A., Lopezbote, C., Rota, A., Martin, L., Rodriguez, P.L., Tovar, J.J. 1994. Fatty acid composition of Verata goat kids fed either goat milk or commercial milk replacer. *Small Rumin Res.* 14:61-66.
- Salem, N., Moriguchi, Jr., Greiner, T., McBride, K., Ahmad, A., Catalan, J., Slotnick, B. 2001. Mechanisms of action of docosahexaenoic acid in the nervous system. *J Mol Neurosci.* 16:299-307.
- Sanz Sampelayo, M.R., Chilliard, Y., Schmidely, P., Boza, J. 2007. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Rumin Res.* 68:42-63.

- SAS, 1989. Institute Inc. SAS/STAT® User's Guide, Version 6. Fourth edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sauvant, D., Meschy, F., Mertens, D. 1999 Components of ruminal acidosis and acidogenics effects of diet. *Prod Anim.* 11:49-60.
- Schroeder, G.F., Delahoy, J.E., Vidaurreta, I., Bargo, F., Gagliostro, G.A., Muller, L.D. 2003. Milk fatty acid composition of cows fed a total mixed ration or pasture plus concentrates replacing corn with fat. *J Dairy Sci.* 86:3237-3248.
- Secchiari, P., Antongiovani, M., Mele, M., Serra, A., Buccioni, A., Ferruzi, G., Paoletti, F., Petacchi, F. 2003. Effect of kind of dietary fat on the quality of milk fat from Italian Friesian cows. *Livest Prod Sci.* 83:43-52.
- Sevi, A., Rotunno, T., Di Caterina, R., Muscio, A. 2002. Fatty acid composition of ovine milk as affected by solar radiation and high ambient temperature. *J Dairy Res.* 69:181-194
- Shingfield, K., Ahvenjärvi, S., Toivonen, V., Ärölä, A., Nurmela, K.V.V., Huhtanen, P., Griinari, J. 2003. Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Anim Sci.* 77:165-179.
- Shingfield, K.J., Ahvenjarvi, S., Toivonen, V., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. 2007. Transfer of absorbed cis-9 *trans*-11 conjugated linoleic acid into milk is biologically more efficient than endogenous synthesis from absorbed vaccenic acid in lactating cows. *J Nutr.* 137:1154-1160.
- Shingfield, K.J., Reynolds, C.K., Lupoli, B., Toivonen, V., Yurawecz, M.P., Delmonte, P., Griinari, J.M., Grandison, A.S., Beever, D.E. 2005. Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower and fish oil. *Anim Sci.* 80:225-238.
- Simopoulos, A.P. 1999. Essential fatty acids in health and chronic disease. *Am J Clin Nutr.* 70:560-569.
- Thomas, L., Rowney, M. 1996. Australian milk fat survey fatty acid composition. *Aust J Dairy Tech.* 51:112-114.
- Thomson, N.A., Van Der Poel, W., 2000. Seasonal variation of the fatty acid composition of milk fat from Friesian cows grazing pasture. *N.Z. Soc Anim. Prod.* 60:314-317.
- Thorsdottir, I., Hill, J., Ramel, A., 2004. Seasonal Variation in cis-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid content in milk fat from the nordic countries. *J Dairy Sci* 87:2800-2802.
- United States Department of Agriculture. 2008. National nutrient database for standard reference, release 21. U.S. Agricultural Research Service.

Vlaeminck, B., Fievez, V., Tamminga, S., Dewhurst, R.J., Van Vuuren, A., De Brabander, D., Demeyer, D. 2006. Milk odd and branched chain fatty acids in relation to the rumen fermentation pattern. *J Dairy Sci.* 89:3954-3964.

Wijendran, V., Hayes, K.C. 2004 Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annu Rev Nutr.* 24:597-615.

Williams, C.M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann Zoot.* 49:165-180.

Wolf, R.L. 1995. Content and distribution of *trans* 18:1 acids in ruminant milk and meat fats. Their importance in European diets and their effect on human milk. *JAOCS.* 72:259-272.

Wolf, R.L., Byard, C.C., Fabien, R.J. 1995. Evaluation of sequential methods for the determination of butter fat fatty acid composition with emphasis on *trans* 18:1 acids: Application to the study of seasonal variation in French butters. *J Am Oil Chem Soc.* 72:1471-1483.