



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE OVINOS Y
CAPRINOS

USO DE GRASAS EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS OVINOS
(REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE OVINOS CAPRINOS

P R E S E N T A:

JOSÉ GUADALUPE YAÑEZ FERREIRA

ASESOR: DR. GUILLERMO T. OVIEDO FERNÁNDEZ

COASESOR: DRA. V CITLALI HERNÁNDEZ VALLE

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS:

EN PRIMER LUGAR, LO DEDICO A MI ESPOSA, QUIEN ME HA DADO UN LUGAR ESPECIAL EN SU CORAZON, ADEMAS DE ALENTARME PARA DAR MI MEJOR ESFUERZO EN LA REALIZACION DE LA PRESENTE REVISION; *GRACIAS POR SER Y ESTAR.*

A MI FAMILIA, POR SER PARTE DE MI, ESA PARTE QUE ES MI ORGULLO, GRACIAS A DIOS POR TENERLOS.

DRS. GUILLERMO Y CITLALI, LES AGRADESCO MUCHISIMO ESA CONFIANZA QUE DEPOSITARON EN MI, GRACIAS POR EL APOYO PRESTADO.

A MI COPAÑEROS Y COMPAÑERAS DE LA ESPECIALIDAD, LES AGRADEZCO ESOS MOMENTOS GRATOS EN EL TRANCURSO DE LA ESPECIALIDAD, GRACIAS.

INDICE

RESUMEN.....	1
OBJETIVOS.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Alimentos, alimentación y energía.....	7
2.2. Clasificación de lípidos de importancia.....	10
2.3. Estructura de los componentes lípidicos de importancia nutricional.....	11
2.3.1 Ácidos grasos.....	11
2.3.1.1. Evaluación de los ácidos grasos.....	16
2.3.2. Glicerol.....	16
2.3.3. Monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos.....	17
2.3.4. Fosfolípidos.....	19
2.3.5. Esteroles.....	19
2.4. Suministro de energía de los triglicéridos.....	20
2.5. Fisiología digestiva de los rumiantes.....	21
2.6. Microbiota ruminal.....	22
2.6.1. Bacterias del rumen.....	23
2.6.2. Protozorios ruminales.....	24
2.6.3. Hongos ruminales.....	25
2.7. Digestión en rumiantes.....	25
2.7.1. Digestión de glúcidos por rumiantes.....	26
2.7.2. Degradación de los carbohidratos estructurales en el rumen	27
2.7.3. Ácidos grasos volátiles (AGV) producidos en el rumen.....	28
2.7.3.1. Síntesis de ácido acético.....	28

2.7.3.2. Síntesis de ácido propiónico.....	29
2.7.3.3. Síntesis de ácido butírico.....	30
2.7.4. Solubilidad del nitrógeno y de los glúcidos en el rumiante.....	31
2.7.5. Digestión ruminal.....	32
2.7.6. Hidrólisis ruminal de los lípidos.....	33
2.7.7. Digestión de lípidos.....	33
2.7.8. Biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados.....	35
2.7.9. Digestión posruminal.....	38
2.7.9.1. Digestión posruminal de los glucidos.....	38
2.7.9.2. Digestión posruminal de los lípidos.....	39
2.8. Uso de grasas y aceites en la formulación de dietas para rumiantes.....	40
2.9. Definición de grasas de sobrepaso.....	41
2.10. Sinonimias.....	42
2.11. Historia de las grasas de sobrepaso.....	42
2.12. Modo de acción.....	47
2.13. Tipos de grasa de sobrepaso.....	47
2.13.1. Grasas endurecidas hidrogenadas.....	50
2.13.2. Sales cristalizadas (prilled fat).....	50
2.13.3. Sales cálcicas de ácidos grasos.....	50
2.13.4. Suplementos lípidicos protegidos con matriz proteica.....	52
2.14. Efectos de las grasas en el rumen.....	52
2.15. Absorción de los ácidos grasos en intestino.....	54
2.16. Principales usos de las grasas protegidas.....	55
2.17. Uso de grasas protegidas en ganado ovino.....	57
2.18. Uso de grasas de sobrepaso en el manejo reproductivo.....	59
2.19. Uso de grasas protegidas en ovejas en lactancia.....	60
2.20. Uso de grasas de sobrepaso en ovinos en engorda.....	62
3. CONCLUSIONES.....	67
4. ÍNDICE DE CUADROS.....	69

5. ÍNDICE DE FIGURAS.....	70
6. BIBLIOGRAFÍA.....	71

RESUMEN

Al ser la energía un factor limitativo en la producción de ovinos, debido a su costo alto o a su baja disponibilidad; las grasas comunes son una excelente fuente de energía, pero su uso es limitado, siendo sólo de 3 a 5% la inclusión en las dietas para rumiantes, ya que inclusiones por arriba de estos rangos afectan la digestibilidad de la fibra y disminuyen el consumo voluntario.

La composición química de las grasas y la anatomía y fisiología del rumiante influye sobre la fermentación y el aprovechamiento de los alimentos en el tracto digestivo. La descripción general de la composición y estructura química de las grasas y como se relacionan anatómica y fisiológicamente en el rumiante, es muy importante en el entendimiento de los procesos digestivos, siendo esta interacción uno de los muchos factores que influyen para el aprovechamiento de los alimentos, es por ello, que en primer termino se hace una revisión general de la clasificación de las grasas y de su estructura, y en segundo lugar, se revisa la morfofisiología de los animales rumiantes.

Una alternativa para elevar la energía en las dietas de los pequeños rumiantes, sobre todo en aquellos animales de alta producción o en aquellas etapas o momentos críticos de producción (empadre, gestación tardía, parto, lactación temprana y tardía, etcétera); son las grasas de sobrepaso, las cuales son tratadas tecnológicamente, para eludir la acción fermentativa del rumen y pasar sin ser degradadas hasta el abomaso e intestino delgado, donde el pH bajo disocia a estas grasas en sus componentes primarios (ácidos grasos y calcio), quedando disponibles para su absorción en intestino delgado.

Estos suplementos alimenticios reciben diversas denominaciones, tales como: sales cálcicas de ácidos grasos, rumen protected, rumen escape, bypass, grasas protegidas, lípidos protegidos, lípidos de baja hidrogenación.

Se utilizan diversas técnicas para la protección de las grasas; el método de protección y el tipo de grasa (cantidad de ácidos grasos en su composición,

saturados e insaturados), influye en la presentación comercial. Existen diversas presentaciones de este tipo de suplementos, pero cualquiera de éstas, puede ayudar a cubrir los requerimientos energéticos específicos de cada etapa.

Las grasas de sobrepaso, han demostrado su eficacia a distintos niveles de suplementación en dietas para pequeños rumiantes y en distintas etapas de producción. Los diversos parámetros productivos de las explotaciones, tal como la producción láctea, persistencia a la lactación, tasa de ovulación post-parto, disminución de muerte perinatal, etcétera, han sido reportados como positivos al usar estos suplementos alimenticios.

Diversas propiedades organolépticas de los productos, ya sea como, carne a la canal o leche, han sido modificadas en menor o mayor cuantía en su composición de ácidos grasos; aumentado la deposición de los porcentajes de ácidos grasos insaturados y disminuyendo los de ácidos grasos saturados, mientras que para la leche se ha incrementado los porcentajes de algunos ácidos poliinsaturados; esto logrado con el uso de algunas de las presentaciones existentes de grasas protegidas.

Las fuentes de información hasta ahora descritas, han informado efectos positivos sobre el uso de las grasas protegidas, pero su utilización va a depender de muchos factores, los cuales no alcanza la presente revisión

OBJETIVOS

Objetivos generales

1. Conocer las particularidades digestivas de los ovinos y la suplementación con grasas.
2. Conocer los efectos de la suplementación de grasas de sobrepaso en las diferentes etapas productivas en la alimentación de ovinos.

Objetivos particulares

1. Conocer la composición química de las diferentes grasas, utilizadas para la alimentación de ovinos.
2. Conocer los componentes anatómicos y fisiológicos en los procesos digestivos de los pequeños rumiantes ovinos.
3. Conocer las diversas grasas de protegidas existentes para la alimentación de rumiantes.
4. Conocer los efectos de la adición de grasas protegidas en el manejo productivo de ovinos.

1. INTRODUCCIÓN

En México la explotación de ovinos tiene como objetivo principal producir carne para consumo humano, no olvidando que también ofrece otros subproductos, en donde se incluye la lana y la piel, además de la leche que en nuestro país no se ha explotado de manera importante (De Lucas y Arbiza, 2000), aunque ya existen explotaciones dedicadas a este rubro de producción.

Los productos ovinos han tenido y tienen una demanda alta entre la población ya sea por los platillos tradicionales (barbacoa o mixiote) o por la artesanía lanera. Los ovinos son la especie mejor cotizada tanto en pie, en canal o como producto final (De Lucas y Arbiza, 2000). Trinidad *et al.* (2004) mencionan que 95% de la producción se consume en forma de barbacoa y el restante 5% se consume de una forma distinta.

Las formas tradicionales de consumo de carne de ovino, no son platos que exijan animales con alta calidad de canal, se destinan lo mismo canales de jóvenes que de viejos, así como de cualquier sexo o edad, gordos o flacos. Sin embargo, un cambio importante que se ha venido presentando en los últimos tiempos es la preferencia por corderos con ciertas características de peso, que fluctúa entre los 35-40 kg de peso vivo o la elección de canales de alto rendimiento y menor porcentaje de grasa (De Lucas y Arbiza, 2000).

La especie ovina en México, tiene el menor número de cabezas entre las especies productivas y además dicho número de cabezas se ha mantenido estática los últimos 50 años mostrando tendencia decreciente, como se puede ver en el censo (Cuadro 1) que presenta SAGARPA (2007). Debido a lo anterior y para cubrir las demandas de consumo; las importaciones de carne, de animales en pie y canal han ido en aumento (De Lucas y Arbiza, 2000).

Cuadro 1. Estimación del Consumo Nacional Aparente 1990-2005.

Carne de ovino (miles de toneladas)							
Composición en volumen (toneladas)					Composición porcentual		
Año	Producción	Importaciones	Exportaciones	CNA	Producción*	Importaciones	Total
1990	24,695.0	22,403.9	0.0	47,098.9	52.4	47.6	100.0
1991	26,262.0	33,963.3	0.0	60,225.3	43.6	56.4	100.0
1992	27,872.0	37,903.1	0.0	65,775.1	42.4	57.6	100.0
1993	28,672.0	38,553.6	0.0	67,225.6	42.7	57.3	100.0
1994	30,274.0	41,982.4	18.9	72,237.5	41.9	58.1	100.0
1995	29,887.0	21,098.9	150.4	50,835.5	58.5	41.5	100.0
1996	29,443.0	20,454.1	97.1	49,800.0	58.9	41.1	100.0
1997	30,161.0	28,663.1	96.8	58,727.2	51.2	48.8	100.0
1998	30,466.0	34,400.8	71.2	64,795.6	46.9	53.1	100.0
1999	30,785.0	41,814.1	71.8	72,527.2	42.3	57.7	100.0
2000	33,390.0	53,556.0	44.3	86,901.7	38.4	61.6	100.0
2001	36,221.0	58,398.8	24.1	94,595.7	38.3	61.7	100.0
2002	38,195.8	58,296.4	38.4	96,453.8	39.6	60.4	100.0
2003	42,166.0	43,736.9	1.0	85,901.9	49.1	50.9	100.0
2004	42,140.0	58,976.5	0.0	101,116.5	41.7	58.3	100.0
2005	46,299.2	39,736.0	0.0	85,965.2	53.8	46.2	100.0

* El Consumo Nacional Aparente es una forma de medir la cantidad de producto de que dispone un país para su consumo. En esta estimación se considera la producción nacional, las importaciones de ganado para abasto (convertidas a carne en canal) y las de carnes en canal y cortes, así como las exportaciones de ganado para abasto y/o engorda (convertidas a carne en canal) y carne en canal y cortes.

Producción: para la estimación de la composición porcentual del CNA, a la producción nacional se le restan las exportaciones.

Fuente: Coordinación General de Ganadería, SAGARPA. Última modificación: 14 Mayo 2007

En las explotaciones de ovinos en México se encuentra una gran diversidad de sistemas de producción. Éstos van desde los basados en el pastoreo con o sin suplementación, donde no se lleva ningún control, lo que provoca baja o nula rentabilidad en la explotación de la especie; hasta las explotaciones más tecnificadas en las cuales los borregos son engordados bajo sistemas semiestabulados o estabulados (Shimada, 2003).

Cuando se alimenta correctamente a los ovinos, y a cualquier otra especie, se observa fácilmente el impacto, ya que se logran índices productivos altos al más bajo costo. Para lograr estos altos índices productivos; desde el punto de vista nutricional, se deben considerar dos aspectos fundamentales: 1) dar a los animales los nutrientes que requieren de acuerdo a su etapa productiva (lactancia, destete, gestación, engorda, etc.) y 2) Seleccionar los ingredientes que aporten dichos nutrientes al costo más bajo (Soriano, 1984).

La energía y proteína tienen los requerimientos más altos en la dieta y son los factores que más comúnmente limitan la producción del rebaño. Otros nutrientes como el agua, minerales y vitaminas son igualmente importantes pero su suministro a través de bebederos (agua) y premezclas comerciales (minerales y vitaminas) es relativamente fácil y económico (Ensminger, 1991).

Al ser la energía un factor limitativo en ovinos; las grasas pueden ayudar a elevar la energía en dietas para rumiantes, y sobre todo en aquellas etapas o momentos de mayor requerimiento nutricional (gestación, lactación, empadre, engorda, etc.), pero su uso es limitado; por lo tanto, las grasas de sobrepaso o protegidas, pasan a ser un suplemento energético que puede ayudar a cubrir esos requerimientos energéticos de alta demanda, pues se pueden utilizar por arriba de las cantidades recomendadas para las grasas sin protección.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Alimentos, alimentación y energía

Los alimentos son sustancias que, tras ser ingeridas por los animales, pueden ser digeridas, absorbidas y utilizadas. En un sentido más amplio, se emplea la palabra “alimento” para denominar a todos los productos comestibles; por último, los nutrientes son los componentes del alimento que pueden ser utilizados por los animales (McDonald *et al.*, 1999).

Alimentación es la serie de normas o procedimientos a seguir para proporcionar a los animales una nutrición adecuada; mientras que nutrición, es la disciplina que estudia el consumo de alimento, los procesos físicos y químicos a que se somete éste durante su paso por el tubo digestivo, la absorción de los nutrimentos liberados a través de las paredes gastrointestinales y el transporte y posterior utilización celular de los nutrimentos por medio de los procesos metabólicos (Shimada, 2003).

La clasificación química de los nutrientes se da en grandes grupos, los cuales representan en su totalidad a los componentes presentes en el alimento; así se tiene a: los carbohidratos, los lípidos, proteínas, vitaminas, minerales y el agua (McDonald *et al.*, 1999).

Los alimentos para ovinos son importantes desde el punto de vista económico porque representan cerca de las dos terceras partes del costo de los corderos terminados en corral, sin tener en cuenta el precio de compra inicial de los corderos para engorde (Ensminger y Olentine, 1983).

El mantenimiento de la integridad de las funciones del organismo animal así como los parámetros productivos (el cebo, la gestación, la lactación, etc.) y el trabajo,

conlleven gastos de energía. El animal obtiene la energía para la satisfacción de sus gastos mediante la utilización de la materia orgánica digerida de los alimentos. La energía aportada por los alimentos por encima de la necesaria para el mantenimiento, se utiliza para las distintos tipos de producción; es decir, para producir carne, leche, huevo, etcétera (Gonzalez, 1990).

La energía, es el aporte más limitativo en ovinos; su deficiencia puede presentarse por un bajo consumo de alimento o por una concentración muy baja en el mismo, esto debido a diversos errores de tipo técnico, tales como: sobrepastoreo; cuando los animales se ven obligados a consumir forrajes de mala calidad con altos niveles de fibra o poco digestibles y/o en caso contrario, de alimentos succulentos pero muy acuosos; además de sequías prolongadas (Ensminger, 1976; Pugh, 2002).

Los ovinos adquieren la energía de maneras diversas, las cuales son en forma de forrajes bajo pastoreo, henificado o ensilado, etcétera; en forma de concentrados como los granos de cereales y tortas de oleaginosas u otras fuentes como los productos y subproductos de la industria y/o de la agricultura (Orcasberro, 1983).

La acción bacteriana del rumen del ovino convierte con mucha eficiencia a los forrajes en fuentes apropiadas de energía. Los concentrados son alimentos con un contenido bajo en fibra cruda (menos del 18%) y elevado en extracto libre de nitrógeno y total de nutrientes digestibles; a estos se les puede dividir en dos clases: a) alimentos que contienen carbono y que tienen como función principal, la de suministrar energía; b) nitrogenados que proporcionan materiales para la formación de proteína o proteína preformada. Del primer grupo encontramos a los azúcares, varios tipos de polisacáridos, grasas y aceites (los cuales contienen en su composición: carbono, hidrogeno y oxígeno) que proporcionan los materiales necesarios para la producción de energía (Ensminger y Olentine, 1983).

Todos los parámetros de producción (lactancia, crecimiento, preñez, etc.) requieren cantidades elevadas de energía. Para una producción máxima, el ganadero deberá emplear una ración “caliente”, es decir una ración con muchas calorías. Cuando se emplean raciones pobres en energía, por ejemplo alimentos con un elevado porcentaje de forraje, el animal presenta limitantes de orden físico, lo que limita su consumo, y por lo tanto; no puede ingerir el alimento necesario para cubrir sus necesidades para la producción (Ensminger y Olentine, 1983).

Los requerimientos energéticos de los ovinos suelen acrecentarse a raíz de diversos factores; los cuales suelen presentarse dos o más simultáneamente:

- a. Ambiente: mayores a medida que la temperatura, la humedad y el viento se desvían de la zona de confort.
- b. Esquila: son mayores cuando se esquila a los animales en una época fría porque el cuerpo se desabriga.
- c. Preñez: son mayores en las últimas seis semanas de gestación porque se deben cubrir los mayores requerimientos para el crecimiento fetal y se desarrolla el potencial para una gran producción de leche.
- d. Lactancia: 1.7 a 1.9 veces más para animales que amamantan mellizos
- e. Tamaño del cordero, sexo y edad al servicio: en general; son mayores en las razas grandes que crecen más rápido que las razas pequeñas y medianas; corderos enteros que para corderas y capones y; borregas servidas para parir al año cumplido.
- f. Finalizado: mayores a medida que avanza éste.
- g. Destete temprano: mayores en corderos destetados a temprana edad porque los corderos de corta edad no pueden utilizar alimentos voluminosos (Ensminger y Parker, 1986; Ensminger y Oldfield, 1990).

2.2. Clasificación de lípidos de importancia en nutrición de animales

Los lípidos son compuestos orgánicos que son relativamente insolubles en agua, pero relativamente solubles en disolventes inorgánicos comunes, como bencol, éter y cloroformo (Bradley y Bennett, 1982; Roskoski, 1998; Murray *et al.*, 2001).

Realizan importantes funciones bioquímicas y fisiológicas en los tejidos de los animales y vegetales; tales como: a) actúan como portadores de electrones; b) son transportadores de sustratos en las reacciones enzimáticas; c) son componentes de las membranas biológicas; d) actúan como reserva de energía; e) actúan como aislante térmico en los tejidos subcutáneos y alrededor de ciertos órganos; f) como aislantes (lípidos no polares) para permitir la rápida propagación de las ondas de despolarización a lo largo de los nervios mielinizados; etcétera (Murray *et al.*, 2001; Pond *et al.*, 2002).

A los lípidos de importancia en la nutrición de los seres humanos y de los animales se les clasifica según Pond *et al.* (2002) en: Lípidos simples, lípidos compuestos, lípidos derivados, Esteroles, Terpenos.

Los lípidos simples son ésteres de ácidos grasos con varios alcoholes. Las grasas, los aceites y las ceras son lípidos simples. Las grasas y los aceites son ésteres de ácidos grasos con el glicerol, y las ceras son ésteres de ácidos grasos con alcoholes distintos al glicerol; mientras que los lípidos compuestos; son ésteres grasos que contienen sustancias no lipídicas como fósforo, carbohidratos y proteínas, además de un alcohol y un ácido graso. Incluyen fosfolípidos, glucolípidos y lipoproteínas. Los fosfolípidos (fosfátidos) son grasas que contienen ácido fosfórico y nitrógeno. Los glucolípidos son grasas que contienen carbohidratos y, muchas veces, nitrógeno; las lipoproteínas son lípidos ligados a proteínas que se encuentran en la sangre y otros tejidos.

Los lípidos derivados incluyen sustancias derivadas por hidrólisis de lípidos simples o compuestos; por ejemplo: ácidos grasos, glicerol y otros alcoholes. Los esteroides y terpenos; los primeros son compuestos con lípidos con estructuras anulares complejas del tipo del fenantreno y los segundos son compuestos que por regla general tienen estructuras del tipo del isopreno.

2.3. Estructura de los componentes lipídicos de importancia nutricional

Los constituyentes lipídicos más importantes de la nutrición animal incluyen: ácidos grasos; monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos (también conocidos como triglicéridos) y fosfolípidos. En menor cuantía se encuentran los esteroides (con relevancia en la nutrición), glucolípidos y las lipoproteínas, (Pond *et al.*, 2002). De los lípidos, en particular los triglicéridos, son una fuente concentrada de energía química presente en los alimentos (Roskoski, 1998).

Los alcoholes vinculados con los lípidos incluyen el glicerol, el colesterol y alcoholes superiores (por ejemplo: alcohol cetílico), por lo general presentes en las ceras, y el alcohol poliisoprenoide dolicol (Murray *et al.*, 2001).

2.3.1. Ácidos grasos

Los ácidos grasos se presentan sobre todo como ésteres en las grasas y aceites naturales; también existen en forma no esterificada como ácidos grasos libres (Murray *et al.*, 2001). Su estructura química consiste en cadenas de átomos de carbono que varían de 2 a 24 unidades o más de longitud; en el extremo de cada cadena hay un grupo carboxilo. La estructura general es RCOOH, donde R es una cadena de carbono de longitud variable (Roskoski, 1998; Pond *et al.*, 2002). Los ácidos grasos pueden ser saturados e insaturados; es decir, en los primeros no

existen dobles enlaces carbono-carbono; mientras que los ácidos grasos no saturados tienen uno o más dobles enlaces en su estructura (Bradley y Benett, 1982), estos últimos pueden subdividirse en monoinsaturados y poliinsaturados (Murray *et al.*, 2001).

Como ejemplo de los ácidos grasos saturados tenemos al ácido acético y mirístico; el primero es un producto importante de la fermentación microbiana de la glucosa en rumiantes, tiene dos carbonos y su fórmula es: CH_3COOH ; el ácido mirístico es un constituyente de la grasa de la leche, el cual tiene 14 carbonos, su fórmula es: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ (Pond *et al.*, 2002).

El ácido linoleico, un constituyente del aceite de maíz y de otros aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados, tiene 18 carbonos y dos dobles enlaces su fórmula es: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ (Pond *et al.*, 2002).

Los ácidos grasos insaturados se presenta un tipo de isomería geométrica que depende de la orientación de los átomos o grupos alrededor de los ejes de los dobles enlaces. Cuando las cadenas acilo están en el mismo lado del enlace éste corresponde a cis-, como en el ácido oleico; al colocarse en los lados opuestos corresponde al isómero trans, como en el ácido elaídico (Murray *et al.*, 2001). Esto se ilustra en la figura 1:

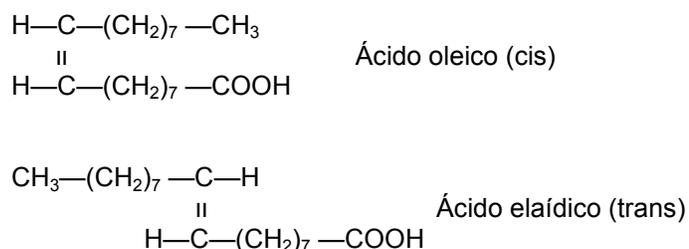


Figura1. Isomería de los ácidos grasos

La mayoría de los ácidos grasos que por regla general se encuentran en los tejidos de los animales son de cadenas rectas y contienen un número par de carbonos (Roskoski, 1998; Pond *et al.*, 2002).

Los ácidos grasos de cadena ramificada y aquellos que tienen un número impar de carbonos son más comunes en los microorganismos, sin embargo, los tejidos de los animales rumiantes en particular, contienen cantidades relativamente grandes de estos ácidos grasos como resultado de la fermentación ruminal y la posterior absorción de estos ácidos derivados de la actividad de los microorganismos (Pond *et al.*, 2002).

Algunos ácidos grasos de los aceites de los peces permiten colocar a éstos en una categoría distinta de otras grasas que contienen cantidades altas de ácidos grasos poliinsaturados, son los llamados ácidos grasos omega-3, que consisten en ácido linolénico con 18 carbonos y 3 dobles enlaces; ácido eicosapentanoico con 20 carbonos y 5 dobles enlaces y; ácido docosahexaenoico con 22 carbonos y 6 dobles enlaces (Pond *et al.*, 2002).

Se enlistan los ácidos más comunes en vegetales y animales en el cuadro 2 y las posiciones de los dobles enlaces en los ácidos grasos insaturados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 2. Ácidos grasos más comunes en tejidos vegetales y animales.

Ácido	Número de carbonos	Número de dobles enlaces	Abreviatura
Butírico (butanoico)	4	0	C4:0
Caproico (hexanoico)	6	0	C6:0
Caprílico (octanoico)	8	0	C8:0
Caprico (decanoico)	10	0	C10:0
Láurico (dodecanoico)	12	0	C12:0
Mirístico (tetradecanoico)	14	0	C14:0
Palmitico (hexadecanoico)	16	0	C16:0
Palmitoleico (hexadecanoico)	16	1	C16:1
Esteárico (octadecanoico)	18	0	C18:0
Oleico (octadecenoico)	18	1	C18:1
Linoleico (octadecadienoico)	18	2	C18:2
Linolénico (octadecatrienoico)	18	3	C18:3
Araquídico (eicosanoico)	20	0	C20:0
Araquidónico (eicosatetraenoico)	20	4	C20:4
Lignocérico (tetracosanoico)	24	0	C24:0

† Se ejemplifican los ácidos grasos, los cuales generalmente son producidos a partir de un número par de Carbonos y su abreviatura; también se enlistan el número de dobles enlaces.

Cuadro 3. Ácidos grasos insaturados de importancia fisiológica y nutricional.

Número de átomos de C, número y posición de los dobles enlaces	Nombre común	Presencia
16:1; 9	Palmitoleico	En casi todas las grasas
18:1; 9	Oleico	Quizá el ácido graso más común en las grasas naturales.
18:1; 9	Elaídico	Grasas hidrogenadas y de rumiantes
18:2; 9, 12	Linoleico	Maíz, Cacahuete, Semilla de algodón, soya y en muchos aceites vegetales.
18:3; 6, 9, 12	γ -linolénico	Algunos vegetales: aceite de prímula (primavera), aceite de borraja; aceite minoritario entre los ácidos grasos animales.
18:3; 9, 12, 15	α -linolénico	A menudo junto con el ácido linoleico, pero en particular en el aceite de linaza.
20:4; 5, 8, 11, 14	Araquidónico	En grasas animales y en el aceite de cacahuete; componente importante de los fosfolípidos en los animales.
20:5; 5, 8, 11, 14, 17	Timnodónico	Componente importante de los aceites de pescado, por ejemplo, aceites de hígado de bacalao, salmón, macarela y sáballo.
22:6; 4, 7, 10, 13, 16, 19	Cervónico	Aceites de pescado, fosfolípidos en el encéfalo

‡ Los átomos de carbono se numeran a partir del extremo carboxilo.

2.3.1.1. Evaluación de los ácidos grasos

Para caracterizar las propiedades químicas de las grasas se emplean habitualmente varias constantes. Cada una tiene alguna aplicación en la nutrición.

El índice de saponificación es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que se requiere para la saponificación (hidrólisis) de 1g de grasa. El índice de saponificación da una medida de la longitud promedio de la cadena de los tres ácidos de la grasa.

El índice de Reichert-Meissl (RM) es el número de mL de solución de KOH 0.1 N necesario para neutralizar los ácidos grasos hidrosolubles volátiles (cadena corta) obtenidos por la hidrólisis de 5g de grasa.

El índice de Yodo es el número de gramos de yodo que pueden ser agregados a los enlaces insaturados de 100 g de grasa. El índice de yodo es una medida del grado de hidrogenación (saturación) de los ácidos grasos de la grasa (Pond *et al.*, 2002).

2.3.2. Glicerol

El glicerol es un compuesto con tres átomos de carbono, cada uno de los cuales contiene una cadena lateral de alcohol (Roskoski, 1998); pasando a ser el componente alcohólico de todos los triglicéridos comunes en tejidos animales y vegetales, y es un componente de los fosfátidos: lecitina, cefalina y esfingomiolina (Pond *et al.*, 2002).

La fórmula del glicerol es:

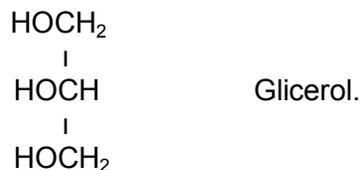


Figura 2. Formula semidesarrollada del glicerol

2.3.3. Monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos

Estos compuestos son ésteres de glicerol y ácidos grasos. Un éster se forma al reaccionar un alcohol con un ácido orgánico; la estructura de un éster y el enlace entre el glicerol y los ácidos grasos en los glicéridos se representan de la siguiente manera:



Figura 3. Esquematización del enlace entre un ácido orgánico y el glicerol

Un monoglicérido, un diglicérido y un triglicérido tienen las siguientes estructuras, donde R, R' y R'' representan tres distintos ácidos grasos:

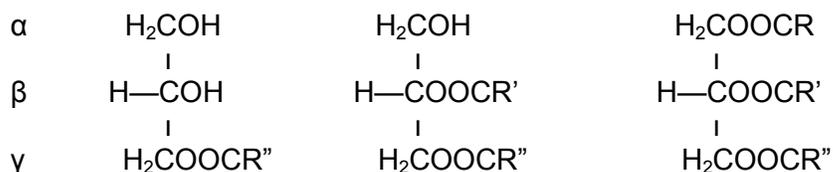


Figura 4. Esquematización de un monoglicérido, diglicérido y triglicérido.

En los tejidos se presentan los acilgliceroles parciales, monoacilgliceroles y diacilgliceroles, en los cuales 1 o 2 de los ácidos grasos se esterifican con el glicerol. Los acilgliceroles parciales son de particular importancia en la síntesis y en la hidrólisis de los triacilgliceroles (Murray *et al.*, 2001).

En las grasas presentes en la naturaleza es muy pequeña la proporción de moléculas de triacilglicerol con el mismo residuo de ácido graso en las tres posiciones del éster (Murray *et al.*, 2001); por ejemplo, si el ácido esteárico ocupara las tres posiciones, el compuesto se denominaría tristearina (un triglicérido simple), mientras que si los ácidos butírico, láurico y palmítico ocuparan cada uno una posición, el compuesto se llamaría butirolauropalmitina (Gliceril butirolauropalmitato), un triglicérido mixto (Pond *et al.*, 2002).

El punto de fusión de los ácidos grasos con un número par de carbonos se incrementa con la longitud de la cadena y disminuye de acuerdo con la insaturación (Murray *et al.*, 2001). Los triacilgliceroles de origen vegetal son líquidos a temperatura ambiente debido a que tienen una mayor proporción de ácidos grasos no saturados que los triacilgliceroles (por ejemplo manteca), que son sólidos o semisólidos a la misma temperatura (Bradley y Bennett, 1982).

La mayor parte de la información que describe la composición del triacilglicerol de las grasas proporciona sólo la composición total en cuanto a ácidos grasos de la mezcla, más sin embargo no indica la posición de los ácidos grasos individuales en la porción de glicerol, un factor de importancia en la absorción y la utilización de las grasas (Pond *et al.*, 2002).

2.3.4. Fosfolípidos

Los fosfolípidos (fosfátidos) son lípidos que tienen un grupo fosfato en sus estructuras y al someterse a hidrólisis producen ácidos grasos, ácido fosfórico y por regla general glicerol y una base nitrogenada (Bradley y Benett, 1982; Pond *et al.*, 2002). Los fosfolípidos de los tejidos animales contienen una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que los triglicéridos del tejido adiposo y son constituyentes importantes de las membranas celulares (Murray *et al.*, 2001); los fosfolípidos están más ampliamente dispersos en los líquidos corporales que las grasas neutras y tienen propiedades que favorecen la emulsión, lo que les permite efectuar funciones importantes en el transporte de lípidos (Roskoski, 1998; Pond *et al.*, 2002).

2.3.5. Esteroles

El esteroide más abundante en los tejidos animales es el colesterol, es un esteroide precursor de una gran cantidad de esteroides, entre los cuales se incluyen ácidos biliares, hormonas corticosuprenales, hormonas sexuales, vitaminas D, glucósidos cardiacos y algunos alcaloides (Murray *et al.*, 2001). Su estructura se esquematiza (figura 5) a continuación:

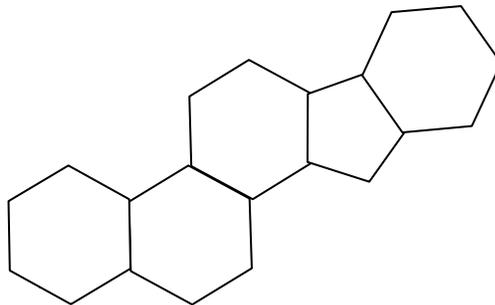


Figura 5. Esquematización del colesterol.

2.4. Suministro de energía de los triglicéridos

La grasa incluida en forma apropiada, puede ser utilizada eficazmente para aumentar la densidad energética de la dieta y para aumentar la energía total, y para reemplazar una parte de los carbohidratos que fermentan con facilidad que reducirían la digestibilidad de la fibra (Churc, 1993).

En el caso de los rumiantes, la energía puede ser aportada por forrajes, granos o subproductos agroindustriales de diferentes orígenes. Estas materias primas presentan diversas concentraciones de energía, grados de digestibilidad y un costo variable, según la regulación de precios oficial o fluctuaciones estacionales en la oferta (Guevara 1994).

Toda la energía de la dieta, excepto la que se halla presente en los ácidos grasos esenciales, podría ser proporcionada por los carbohidratos. Por tanto, en sentido estricto no hay una necesidad dietética de lípidos, con excepción de los ácidos grasos esenciales (AGE) que aquellos contienen y su importante papel en la absorción de vitaminas liposolubles (Pond *et al.*, 2002).

La hidrólisis de los triglicéridos (triacilglicerolos) produce glicerol y ácidos grasos, los cuales constituyen fuentes concentradas de energía. La mayor parte de la variación entre las fuentes de energía que contienen se relaciona con su digestibilidad, pero con excepción de condiciones anormales o especiales de absorción defectuosa, la digestibilidad real de las grasas es superior a 80% (Pond *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista cuantitativo, las grasas y los aceites constituyen la porción más grande de los lípidos de la mayoría de los materiales alimenticios y se caracterizan por su alto valor energético. Un gramo de una grasa típica produce alrededor de 9.45 kcal de calor cuando se quema por completo, en comparación con

cerca de 4.1 kcal en el caso de un carbohidrato típico (Pond *et al*, 2002). Con fines prácticos se puede decir que el valor energético de la grasa es de 2.2 a 2.5 veces el de los cereales (Caravaca *et al.*, 2003).

2.5. Fisiología digestiva de los rumiantes

Los mamíferos que se clasifican como rumiantes tienen ciertas características de morfología y fisiología digestivas que los diferencian de los demás animales de granja. Las principales diferencias están en la porción anterior del tubo digestivo (rumen, retículo, omaso), ya que los órganos responsables del proceso de degradación de los alimentos a partir del abomaso, son similares para todas las especies de abasto (Shimada, 2003).

En la década de los 50's del siglo pasado, se desarrollo por Hungate, la técnica en donde las bacterias ruminales estrictamente anaerobias pudieron ser cultivadas; en estos trabajos se apreció la necesidad de simular los ecosistemas microbianos, los cuales demostraban la naturaleza anaerobia de la fermentación ruminal y las vías metabólicas que influyen en la nutrición de rumiantes (Wallace, 1994). Desde esos trabajos, al rumen se le ha descrito como un ecosistema; en donde, los componentes individuales del ecosistema pueden ser ampliamente divididos en: factores relacionados con el hospedero (rumiante), factores de la dieta y la microbiota misma (Freer y Dove, 2002).

En el retículo-rumen existen las condiciones favorables para la supervivencia y la actividad microbiana (Chur, 1993), ejerciendo en los carbohidratos de las plantas consumidas (usualmente la mayor fuente de energía en las dietas de rumiantes) su acción fermentativa hasta la formación de ácidos grasos de cadena corta, principalmente los ácidos acético, propionato y butirato (Freer y Dove, 2002). A la

relación existente y mutuamente beneficiosa entre la microbiota y el hospedero, se le conoce como mutualismo (Wallace, 1994; Freer y Dove, 2002).

Las transformaciones microbiológicas del alimento de índole anaerobio que ocurren en el rumen (producción de metano, transferencia de H₂ entre las especies bacterianas; reacciones termodinámicas, etc.), explican la fermentación ruminal y las vías metabólicas que siguen los alimentos fermentados (Wallace, 1994).

La fermentación ruminal puede ser manipulada para mejorar la producción; esto se logra de diferentes formas, como son las siguientes: a) el uso de medios biotecnológicos, tal es el caso de aditivos y antimicrobianos (wallace, 1994); b) la modificación de la flora bacteriana, mediante el mejoramiento de las poblaciones bacterianas o de las actividades metabólicas de las cepas ruminales nativas, o la introducción de poblaciones bacterianas no nativas; es decir, bacterias mejoradas mediante técnicas de recombinación genética (Weimer, 1998); c) variación en la composición de los alimentos, básicamente en la cantidad de los carbohidratos (Freer y Dove, 2002); d) extractos de plantas con acción antimicrobiana (Busquet *et al.*, 2006).

2.6. Microbiota ruminal

El rumiante recién nacido queda expuesto a muchas poblaciones microbianas; durante y posteriores al parto, que contribuyen al establecimiento de una población microbiana gastrointestinal. Estas bacterias tienen su origen en la vagina de la madre, bolo alimenticio, estiércol, cama y flora ambiental, otros animales, la ubre y la leche y otras fuentes alimenticias (Churc, 1993).

El ecosistema ruminal comprende complejas y densas comunidades microbianas, compuestas por bacterias, protozoarios y hongos, todos ellos de

naturaleza anaerobia (Freer and Dove, 2002), aunque pueden estar presentes bacterias facultativas (Churc, 1993).

La calidad y cantidad de los productos de la fermentación ruminal es dependiente de los tipos y actividad enzimática de los microorganismos ruminales (Mackie y White, 1990); estos confieren al animal sus características digestivas, como son las posibilidades de desdoblamiento de los glúcidos estructurales o complejos (celulosa, hemicelulosa, pectina), aprovechamiento de nitrógeno no proteico para su conversión en aminoácidos y proteínas microbianas, síntesis de la gran mayoría de las vitaminas hidrosolubles, producción y utilización de ácidos grasos de cadena corta como fuentes de energía metabólica, neutralización de compuestos químicos detrimentales presentes en el alimento, etcétera (Shimada, 2003).

2.6.1. Bacterias del rumen

La clasificación de las bacterias ha seguido principalmente un tipo basado en el tipo de sustratos y en los diferentes productos finales de fermentación. De este modo, se dividen en celulolíticas, amilolíticas, sacarolíticas, utilizadoras de ácidos, proteolíticas, lipolíticas, hidrogenantes, metanogénicas, entre otras (Churc, 1993).

Las bacterias son el más grande e importante de los grupos de microbios presentes en el rumen. El número de bacterias que se descubren en el rumen oscila entre 10^{10} por gramo de contenido ruminal (Freer y Dove, 2002).

Las bacterias presentan especificidad según el huésped, las del líquido ruminal de bovinos no crecen en líquido ruminal de ovinos; además de tener requerimientos específicos de nutrientes para poder sobrevivir; entre los principales se encuentran ácidos de cadena corta ramificada como los ácidos isobutírico, 2-metil-butírico,

isovalérico, fenilacético, indolacético, imidazolacético, también ácidos grasos volátiles y otros ácidos orgánicos, amonio, magnesio, calcio, potasio, etc. En general los metabolitos de unas bacterias sirven como fuente de nutrimentos de otras y viceversa (Shimada, 2003).

2.6.2. Protozoarios ruminales

El número de protozoos en el rumen es de unos 10^5 a 10^6 células por mililitro de contenido ruminal. Aunque se descubren especies flageladas, la mayoría son ciliadas. Se calcula que los protozoos pueden representar sobre 2% de peso del contenido del rumen (Church, 1993). Estos microorganismos habitan en el retículo-rumen en asociación con las bacterias, por lo que comparten con ellas la tarea de fermentar los nutrimentos presentes en el medio (Shimada, 2003).

Una característica peculiar de todos los protozoos es su capacidad de asimilar azúcares solubles y transformar 80% en un polisacárido de estructura similar al almidón. Este polisacárido puede utilizarse como sustrato de reserva en el caso de que el aporte externo de glúcidos solubles sea insuficiente. La mayoría de protozoos son celulíticos y algunos de ellos producen más alfa amilasa y maltasa que las bacterias (Church, 1993; Shimada, 2003).

Estudios diversos sugieren que la principal actividad de los protozoarios en el rumen, es la de regular el número de bacterias, pues devoran y digieren bacterias, reciclando el nitrógeno bacteriano (Church, 1993; Koenig *et al.*, 2000; Eugene *et al.*, 2004).

De los protozoarios, pueden no ser esenciales para la fermentación, pero su actividad puede ser considerada como benéfica o detrimental dependiendo del status nutricional del animal (Wallace, 1994). En procesos de defaunación (supresión) de

los protozoarios, las bacterias asumen sus funciones, por lo que aparentemente no se trastorna la función fermentativa (Shimada, 2003). Mediante conteos clásicos, el número de bacterias se incrementa después de la defaunación, debido a que los protozoarios son los mayores depredadores de bacterias (Eugene, 2004).

2.6.3. Hongos ruminales

La degradación y fermentación de la parte fibrosa de los alimentos, en particular, de la celulosa, constituye un proceso central en la digestión del alimento por el rumiante. La estrecha asociación de hongos con las partículas alimenticias en el rumen, sugieren una importante función de los hongos, así como de las bacterias y protozoarios ruminales en la degradación de fibra (Gordon y Phillips, 1989).

Los hongos son microorganismos anaerobios que habitan en el tracto digestivo de herbívoros; quienes contribuyen significativamente con productos de la digestión y fermentación de los carbohidratos estructurales de la planta, los cuales el rumiante es capaz de utilizarlos (Freer y Dove, 2002).

El interés en su estudio aumentó en años recientes, por lo que se ha establecido, entre otras cosas, que su forma de atacar a las partículas alimenticias es de adentro hacia fuera, en contraste con las bacterias, que lo hacen en dirección opuesta. Aportan cerca de 5% de la proteína de origen microbiano (Shimada, 2003).

2.7. Digestión en rumiantes

Los alimentos consumidos comúnmente por los rumiantes son ricos en fibra, está esta constituida por carbohidratos estructurales, como la celulosa y hemicelulosa, que no pueden ser desdoblados por sus enzimas digestivas, por lo que

los rumiantes desarrollaron un sistema digestivo especial que supone la fermentación microbiana de los alimentos antes de quedar expuestos a sus propias enzimas digestivas (McDonald *et al.* 2006).

El presente apartado expondrá algunos puntos importantes que facilitan la digestión de los carbohidratos estructurales y de los diferentes tipos de grasas; las que forman parte de los forrajes; así como las grasas adicionadas, y su posterior aprovechamiento por el rumiante.

2.7.1. Digestión de glúcidos por rumiantes

Existen muchas clases de carbohidratos, pero para fines de nutrición animal, se pueden clasificar en: fibrosos como el caso de la hemicelulosa, celulosa y xilanos; y fácilmente aprovechables como azúcares y almidones (Church, 1993).

Las componentes alimenticios incluyendo a los carbohidratos, son físicamente más grandes que los microorganismos ruminales, sin embargo, estos últimos secretan enzimas que digieren químicamente volviéndolos en componentes solubles, esto se logra mediante enzimas que tienen diferentes acciones, entre ellas, acciones celulolíticas, hemicelulolíticas, pectinolíticas, amilolíticas, ureolíticas, proteolíticas y lipolíticas (D'Mello, 2000).

Al ser los rumiantes animales herbívoros, la composición de su ingesta varía de acuerdo con las especies vegetales que consumen y el estado de madurez de las plantas. Sin embargo, en términos generales, los glúcidos estructurales constituyen alrededor de 75% de la materia seca de los forrajes, su principal alimento. Los componentes estructurales de mayor importancia son la celulosa, con 20 a 30%; las hemicelulosas con 14 a 17%, pectinas con 10% y lignina también con 10% (Shimada, 2003).

2.7.2. Degradación de los carbohidratos estructurales en el rumen

La degradación de los carbohidratos en el rumen, puede dividirse en dos etapas, la primera de las cuales consiste en la digestión de los carbohidratos complejos hasta azúcares sencillos. Esta fase se lleva a cabo por enzimas microbianas extracelulares. La celulosa se desdobla inicialmente por acción de celulasas a cadenas de anhidroglucosa, las que a su vez se hidrolizan para obtener celobiosa, la que se desdobla ya sea a glucosa por medio de una celobiasa, o a glucosa y glucosa-1-fosfato mediante una fosforilasa.

Las hemicelulosas están formadas por polímeros de pentosas, hexosas y ácidos urónicos. Su desdoblamiento por xilosidasas 1-4 produce xilooligosacáridos, xilobiosas y finalmente xilosas. Estas últimas son degradadas por transaldolasas transcetolasas para obtener fructuosa-6-fosfato y fosfotriosa, mismas que entran al proceso de glucólisis (ruta de Embden-Meyerhoff). Las pectinas se desdoblan por pectinesterasas a metanol (que posteriormente se convierte a metano) y ácido galacturónico, mismo que por descarboxilación produce pentosas, que se desdoblan como en las hemicelulosas. Polisacaridasas 1-4 atacan a los almidones y los convierten en maltosas, las cuales se desdoblan a glucosa por medio de una maltasa, o a glucosa y glucosa-1-fosfato por medio de una fosforilasa (Shimada, 2003; McDonald *et al.*, 2006).

En cuanto a la lignina, aunque propiamente no es un glúcido, su presencia reduce la digestibilidad de las paredes de las plantas, porque protege sus glúcidos del ataque de las enzimas microbianas y gastrointestinales. Sin embargo, se reconoce que la lignina contenida en plantas jóvenes o en algunas especies vegetales se fermenta moderadamente a su paso por el tubo digestivo del rumiante (Shimada, 2003), aunque generalmente por el grado de madurez de los forrajes; esta no sufre degradación alguna y pasa a ser expulsada en las heces junto con los demás desechos de la digestión (Caravaca *et al.*, 2005).

2.7.3. Ácidos grasos volátiles (AGV) producidos en el rumen

Los ácidos grasos de cadena corta, los cuales incluyen primariamente el acetato ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), propionato ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$) y butírico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$); junto con otras pequeñas proporciones de ácidos orgánicos, son producidos por los microbios ruminales como productos finales, además de CH_4 y CO_2 . Parte de estos ácidos son utilizados para el mantenimiento y crecimiento de la población microbiana y otra la aprovecha el rumiante, representando entre el 50 y 80% de la energía digestible del rumiante (Freer y Dove, 2002).

Algunos de estos ácidos grasos, son insaturados, que en cantidades suficientes, escapan a la biohidrogenación en el rumen para proporcionar al animal los ácidos grasos necesarios para el animal (Pond et al, 2002).

Los ácidos grasos volátiles, acético, propiónico, butírico; se encuentran en el rumen en forma aniónica, por lo cual también se les puede denominar como acetato, propionato y butirato (Shimada, 2003).

2.7.3.1. Síntesis de ácido acético

La ruta para la producción de acetato dependerá del tipo de microorganismo que intervenga, pudiendo ser una de las maneras ejemplificadas en el Cuadro 4.

Piruvato	+	CoASH	→	acetil CoA + CO_2 + H_2
Piruvato	+	fosfato	→	fosfato de acetilo + CO_2 + H_2
Piruvato	+	CoASH	→	acetil CoA + formato
Piruvato	+	fosfato	→	fosfato de acetilo + formato

Cuadro 4: Vías metabólicas en la formación de acetato

El hidrógeno que se desprende de la oxidación se utiliza como hidrógeno molecular y se transfiere al CO₂ produciendo ácido fórmico, o se emplea para el proceso de hidrogenación de los ácidos grasos insaturados. El ácido fórmico puede deshidrogenarse y obtenerse H₂ y CO₂ a partir del mismo (Shimada, 2003).

2.7.3.2. Síntesis de ácido propiónico

El propionato puede obtenerse a partir de dos rutas principales, como se observa en la figura 6:

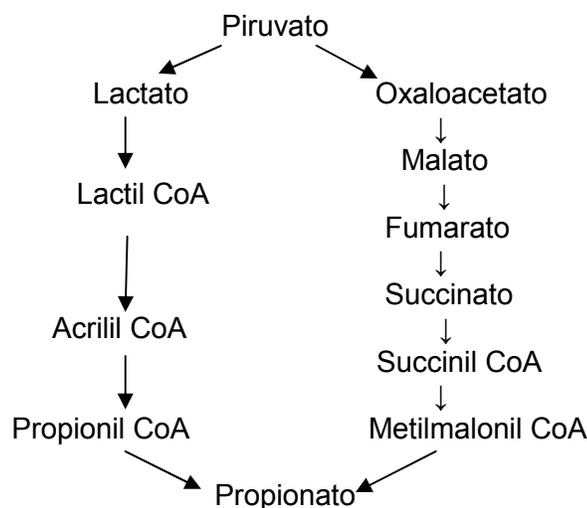


Figura 6. Vías metabólicas para la formación de propionato

La ruta a través del lactato y acrilato predomina cuando las raciones de los rumiantes incluyen una alta proporción de concentrados, en tanto que las rutas del succinato se siguen cuando las raciones están formadas principalmente por alimentos gerosos fibrosos (McDonald *et al.*, 2006).

2.7.3.3. Síntesis de ácido butírico

El butirato es producido por la condensación de dos unidades de Acetil CoA formando CoA y acetoacetil consumiendo un ATP. El acetoacetil CoA es reducido a β -hidroxibutiril CoA seguido por la deshidratación a crotonil CoA. El Crotronil CoA sirve como receptor final de electrón en el transporte de electrones para la fosforilación de ADP. El crotonil CoA es reducido finalmente a butiril CoA (D'Mello, 2000).

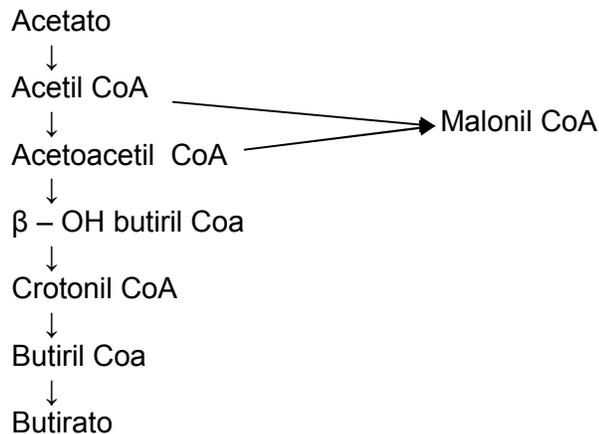


Figura 7. Rutas metabólicas para la formación de butirato.

La vía del reverso de la B-oxidación es más eficiente, dado que consume una molécula de ATP en comparación de dos moléculas de ATP por la otra ruta. La vía del malonil CoA se emplea más para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y para ácidos grasos de cadena ramificada (Shimada, 2003).

Al grupo conformado por los ácidos, acético, propiónico y butírico, son referidos como ácidos grasos volátiles, los cuales son absorbidos directamente del epitelio, tanto del rumen como del retículo, usándose tanto como fuente de energía como para la síntesis de la grasa láctea (Tish, 2006).

2.7.4. Solubilidad del nitrógeno y de los glúcidos en el rumiante

Existen varios organismos que secretan enzimas con actividad proteolítica que desdoblan a las proteínas de la dieta, con el resultado de que una cantidad considerable de ellas es degradada a amoníaco y ácidos grasos volátiles (Churc, 1993).

Los microbios del rumen fermentan y modifican la mayoría de las proteínas del alimento y del nitrógeno no proteico. Las materias nitrogenadas de los alimentos digeridas son consideradas como proteína cruda degradable en rumen la cual es la fuente de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana; siendo está, la principal fuente de proteína digestible para el animal (Freer y Dove, 2002).

Al tomar como base el hecho de que la intensidad de la fermentación requiere la presencia simultánea de nitrógeno y carbono, se puede pensar entonces en la necesidad de proporcionar la ingesta según su solubilidad, es decir, de acuerdo con el tiempo que tardan sus componentes en hacerse disponibles para los microbios del rumen. Por tanto, los glúcidos pueden dividirse en muy solubles como los azúcares, moderadamente solubles como los almidones y pectinas y de solubilidad pequeña como la celulosa y las hemicelulosas. Las fuentes nitrogenadas solubles son la urea y las sales de amonio, las de solubilidad moderada las pastas de oleaginosas y las poco solubles, las provenientes de los subproductos de origen animal y marino. De acuerdo con esto, la fermentación máxima se lograría al combinar las fuentes de nitrógeno y de glúcidos según su solubilidad, por ejemplo urea y melaza (Shimada, 2003).

Una hipótesis sobre nutrición de rumiantes menciona: “a medida que se cubren los requerimientos nutricionales de la microbiota ruminal, se satisfacen las condiciones de mantenimiento del animal; y la producción podrá mejorarse con base

en la disponibilidad de nutrimentos sobrepasantes para el animal, es decir, proteína y almidones que escapen de la digestión del rumen” (Shimada, 2003).

2.7.5. Digestión ruminal

Los microorganismos ruminales afectan principalmente a los lípidos de la ración de tres formas: hidrólisis de los lípidos esterificados, hidrogenación de los ácidos grasos insaturados resultantes de la hidrólisis y formación de nuevos ácidos grasos a partir de ácidos grasos libres (Gafo, 1997).

En ovinos como en otros rumiantes, la exposición de la comida ingerida a la actividad metabólica de las bacterias, protozoarios y hongos ruminales tienen profundas implicaciones para la digestión y metabolismo alimenticio. Los carbohidratos de las plantas, usualmente la mayor fuente de energía en dietas para rumiantes, son fermentados hasta formar ácidos grasos de cadena corta (Freer y Dove, 2002).

El rumen es una gran cámara de fermentación, la cual permite aprovechar gran parte de los constituyentes estructurales de las plantas, esto los hace diferentes a los no rumiantes y da cabida a que se realicen un gran número de reacciones químicas, que en general benefician al animal. Mantener la salud del ecosistema ruminal es un prerrequisito de la nutrición ruminal, debido a la digestión de celulosa y hemicelulosa, la fuente mayor de energía en las cuales se basan las dietas para rumiantes. La amenaza mayor a la estabilidad del ecosistema es el aumento en la acidez en el rumen, ya que el pH ruminal tiene una gran influencia sobre el tipo y número de microflora. En particular, el pH por debajo de 6.0 inhiben el crecimiento de las bacterias celulolíticas y el rango de la digestión de la celulosa y hemicelulosa caen. En caso de cambiar de dieta, este debe ser gradualmente introducido entre 7-10

días, para permitir la adaptación de la microflora a la nueva dieta (Freer y Dove, 2002).

2.7.6. Hidrólisis ruminal de los lípidos

Los ácidos grasos de las dietas están en forma esterificada, al menos en dietas convencionales, y los microbios del rumen los hidrolizan rápida y ampliamente hasta ácidos grasos libres, glicerol y otros compuestos, dependiendo de la naturaleza del lípido ingerido (Churc, 1993).

En el rumen es el sitio primario de la hidrólisis, en donde las bacterias y protozoarios hidrolizan a todos los lípidos en sus constituyentes, siendo posteriormente saturados los ácidos grasos insaturados de cadena larga para dar lugar a ácidos grasos saturados, como el ácido esteárico y palmitico (D'Mello, 2000).

A los ácidos grasos libres de cadena corta (entre dos y seis carbonos), los emplea *in situ* la microbiota o se absorben a través de la pared del retículo-rumen; los de cadena media y larga (de ocho a más carbonos) los utilizan los microbios para la síntesis de sus lípidos estructurales, o bien, abandonan al rumen junto con el quimo; aquellos que son insaturados se hidrogenan y la totalidad del glicerol se metaboliza *in situ* por medio de una glicerolcinasa de origen microbiano, hasta formar ácido propiónico (Shimada, 2003).

2.7.7. Digestión de lípidos

Gafo (1997) mencionó que en diversos trabajos realizados se pudo comprobar que aporte masivo de lípidos a los rumiantes provocaba modificaciones en la digestión ruminal, con disminuciones en la digestibilidad de la fibra. Devendra y

Lewis citados por Gafo (1997), mencionaron que existen cuatro posibles teorías para explicar el efecto negativo sobre la digestibilidad de la fibra que son: 1) Recubrimiento físico de la fibra por parte de los lípidos que impediría el ataque microbiano; 2) Modificación de la población microbiana ruminal debida a posibles efectos tóxicos de las grasa sobre los microorganismos; 3) Inhibición de la actividad microbiana por efecto de los ácidos grasos sobre la superficie de su membrana celular y; 4) Reducción de disponibilidad de cationes por la formación de jabones con los ácidos grasos de cadena larga.

Cuando la alimentación de rumiantes se basa principalmente en forrajes, los lípidos más abundantes son los galactolípidos, además de otros glucolípidos ricos en ácido linolénico (D'Mello, 2000).

Todos los lípidos son rápidamente hidrolizados por lipasas bacterianas, con la liberación de ácidos grasos de cadena larga, de los cuales una proporción alta, son insaturados. En dietas para ovejas basadas en forrajes, la ingestión de ácidos grasos de cadena larga es baja, aproximadamente de 12 a 16 g por día. Estos ácidos sufren una absorción sobre la superficie de las partículas alimenticias, donde sufren una extensa biohidrogenación (Freer y Dove, 2002).

Los ácidos grasos presentes en los triglicéridos alimenticios son en su mayoría insaturados (74.5%), principalmente el linoleico (56.8), y linolénico (12.2%); el ácido oleico constituye sólo 3.2 %. El ácido más abundante es el palmítico (14.7%); el ácido esteárico representa 1.9% del total. En contraste, los ácidos grasos que componen el tejido adiposo de los rumiantes son insaturados en una menor proporción (58%), contienen cantidades elevadas de los ácidos oleico (50.5%), palmítico (23%) y esteárico (15%), además de isómeros trans y ácidos grasos de cadena ramificada (Shimada, 2003).

Los ácidos grasos volátiles son absorbidos en la pared ruminal y pasan al torrente sanguíneo donde son utilizados como nutrientes energéticos. El porcentaje de dichos ácidos grasos absorbidos es aproximadamente entre 80 a 90% y representa entre el 55 a 65% del total de la energía absorbida en el tracto digestivo. Otra pequeña fracción de estos ácidos grasos es absorbida en el omaso y tan sólo una mínima parte pasa al cuajar e intestino (Caravaca *et al.* 2005)

2.7.8. Biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos que componen el tejido adiposo de los rumiantes contiene un porcentaje mayor de moléculas saturadas, en comparación con las que tienen los alimentos que estos animales ingieren, hecho que se explica por el proceso de hidrogenación de los ácidos grasos insaturados de las ingesta. Las bacterias del rumen, que trabajan en un medio anaerobio, reducen el mayor número de componentes alimenticios para obtener energía por medio de la oxidación del hidrógeno. La hidrogenación química y microbiana de los ácidos grasos determina un desplazamiento de los dobles enlaces y el cambio de la configuración natural cis a la no natural trans (Hafez y Dyer, 1984).

La biohidrogenación tiene lugar en el rumen y los microbios son lo responsables de la misma. Este es el resultado de la adición de H a los ácidos grasos con dobles enlaces (Churc, 1993).

McDonald *et al* (2006), definieron a la hidrogenación como el proceso por el cual se fija hidrógeno en los enlaces dobles de los ácidos insaturados de las grasas, convirtiéndolas en los análogos saturados. Por ejemplo, el ácido oleico da lugar al ácido esteárico.

Trinidad *et al.* (2004) definen a la Biohidrogenación como la saturación de los enlaces de los ácidos grasos insaturados (hidrogenación) de las grasas por los microorganismos que habitan en el rumen.

Este fenómeno dificulta que en los rumiantes, a diferencia de los cerdos, pueda manipularse la composición de la grasa corporal a través de cambios en la formulación de la dieta (Hafez y Dyer, 1984; Shimada, 2003); aunque Church (1993) mencionó que los depósitos grasos de los rumiantes pueden ser modificados si se evita la actividad de la microflora microbiana del rumen, mediante la ingestión de aceites poli-insaturados en niveles que superen los límites del rumen para la hidrólisis e hidrogenación, en complejos con formaldehído y proteína, o como jabones de ácidos grasos con calcio, lo que permite que escape gran parte de los lípidos del rumen y pasen a órganos posteriores para su absorción. Lee *et al.* (2007), confirmaron que los depósitos grasos de los rumiantes no pueden ser sustancialmente modificados a través de la ingestión de altos niveles de ácidos grasos contenidos en la dieta debida a la biohidrogenación de las grasas insaturadas durante la digestión.

Los lípidos complejos de la dieta (fosfolípidos, glucolípidos, lipoproteínas, ceras y pigmentos) son rápidamente hidrolizados en el rumen, por lipasas bacterianas, con la consecuente liberación de ácidos grasos de cadena larga, principalmente linoleico y linolénico, los cuales son saturados bajo una intensa biohidrogenación, con la producción de isómeros *cis* y *trans* de los ácidos grasos (Freer y Dove, 2002).

La hidrogenación es más rápida en los ácidos grasos libres que en aquellos que están esterificados, lo que implica la acción inicial de las estereasas y las lipasas. La hidrogenación de los ácidos grasos monoinsaturados que ocurre en la mayoría de los microorganismos, es más lenta que la de los di y tri-insaturados, los mecanismos de hidrogenación de los isómeros de los ácidos linoleico (18 C con dos dobles enlaces)

y linolénico (18 C con tres dobles enlaces) a ácido esteárico (18 C, con todos sus enlaces saturados) no están bien definidos (Guevara, 1995; Shimada, 2003).

Dicho proceso requiere de fuentes de hidrógeno y aunque no se conocen los donadores específicos, se piensa que lo activan la glucosa y los ácidos pirúvico y fórmico. Como consecuencia de la hidrogenación, se facilita el crecimiento bacteriano, ya que los ácidos grasos insaturados provocan cambios en la permeabilidad de las membranas microbianas, lo que inhibe su desarrollo; se reduce la metanogénesis debido a la menor competencia por el hidrógeno aprovechándose mejor el CO₂; se aumenta la energía disponible (los ácidos saturados liberan más energía); se reduce la incidencia de miopatías relacionadas con la autooxidación de los ácidos grasos no saturados en los tejidos (la mayoría de las miopatías se presentan entonces en animales jóvenes o los que no tienen rumen funcional); como beneficios adicionales hay desintoxicación de compuestos fenólicos de origen vegetal y reducción de la acción estrogénica de los isoflavinoides (Shimada, 2003).

Dijkstra *et al.* (1996) citados por McNamara *et al.* (2000), mencionaron que la extensa biohidrogenación que ocurre en el rumen, puede ser reducida cuando la cantidad de fibra en la dieta es pequeña o la cantidad de ácidos de cadena larga es grande. Trinidad *et al.* (2004), mencionan que para lograr una disminución de la biohidrogenación en rumen se logra mediante la saponificación de las grasas. Otra forma que es sugerida y mencionada por Arana *et al.* (2005), para eludir la biohidrogenación, es el uso en la alimentación animal, de ácidos grasos insaturados los cuales se encuentran en la linaza, semillas de cartamo, aceites de pescado o químicamente protegidos como los jabones cálcicos de ácidos grasos, en este último rubro, Lee *et al* en diversos estudios realizados (2004, 2006, 2007), mencionaron que la soya tratada con acetaldehído o diacetyl (un alcohol y una cetona, respectivamente) pueden proteger los aceites de soya de la hidrogenación y de la actividad degradativa del rumen.

2.7.9. Digestión posruminal

Es muy similar a la digestión que se produce en los monogástricos. La diferencia estriba en el tipo de digesta que llega al abomaso e intestino. A estos llega un alimento muy alterado que poco tiene que ver con el inicialmente ingerido por el animal. Esta digesta está compuesta por gran cantidad de microorganismos o masa microbiana, junto con las proteínas no degradadas, almidones y grasas que tampoco han sido descompuestas en el rumen (Caravaca *et al.* 2005).

2.7.9.1. Digestión posruminal de los glúcidos

La digestión de almidones en el intestino delgado esta determinado por varios factores, entre los que cabe mencionar: actividad de la amilasa pancreatica, el pH duodenal, la actividad de las disacaridasas, velocidad de pasaje y cantidad de glucosa producida. Los almidones de la dieta pueden ser significativos para ovejas cuando son usados granos como suplemento. Variaciones sustanciales en la magnitud de la digestión en rumen depende del tipo de grano usado (Freer y Dove, 2002).

Los pocos disacáridos y almidones que escapan intactos de la digestión ruminal se desdoblán en el duodeno por acción de las enzimas pancreáticas e intestinales propias del rumiante. La hidrólisis enzimática ocurre por la presencia de la amilasa pancreática y las disacaridasas (maltasas y lactasas intestinales) obteniéndose monosacáridos que posteriormente se absorben a través de la mucosa intestinal. Una característica importante es que en los rumiantes no se ha detectado la presencia de sacarasa intestinal, factor que condicionaría el aprovechamiento posruminal de la sacarosa a la digestión por parte de los microbios del intestino grueso. A este último llegan entonces las porciones no digeridas de alimento (principalmente paredes celulares) y de células bacterianas, ambas en forma de

partículas pequeñas y expuestas de antemano al proceso digestivo abomaso-duodenal (Shimada, 2003).

2.7.9.2. Digestión posruminal de los lípidos

Guevara (1995) mencionó que solamente 10 a 30% de los ácidos grasos libres escapa al proceso de biohidrogenación; lo cual se podría explicar, por la existencia de fases que limitan la tasa de biohidrogenación que han sido identificadas en varias especies de bacterias ruminales.

El jugo pancreático y bilis entran al duodeno a través del conducto biliar común, siendo ambas secreciones, esenciales para la digestión y absorción en el intestino delgado. Las sales biliares son esenciales para disociar los ácidos grasos que se encuentran adsorbidos en las partículas alimenticias permitiendo la formación de la micela. La fosfolipasa secretada en el jugo pancreático se vuelve activa, en la parte inicial del intestino delgado, donde el pH es más alto; hidrolizando los ácidos grasos de los fosfolípidos. El más importante de los fosfolípidos presentes es la fosfatidilcolina (lecitina), la cual entra al intestino delgado junto con la bilis, jugo pancreático y los productos de la digesta del abomaso. Las sales biliares y lisolectina (producida por la hidrólisis de la fosfatidilcolina) promueven la formación de micelas (D'Mello, 2000).

En el rumiante, la micela se forma de sales biliares, ácidos grasos saturados esterificados a triacilglicerol y lecitina o lisolectina. En esta forma se transporta hasta la mucosa del intestino delgado donde se empaca en los quilomicrones y las lipoproteínas de muy baja densidad, para su absorción y transporte a la linfa y la circulación venosa (Shimada, 2003).

2.8. Uso de grasas y aceites en la formulación de dietas para rumiantes

La elección de grasas animales y vegetales va a ser influida según su “calidad” y su precio, ya que de este último dependerá su inclusión o no en la dieta (Ensminger y Olentine, 1983).

La grasa aparece en cantidades relativamente pequeñas en los forrajes y cereales básicos que forman las raciones consumidas normalmente. La grasa adicional se incorpora en forma de grasa de semillas oleaginosas (soya, girasol o semilla de algodón) en los suplementos o como alguna forma de grasa añadida directamente por razones de manejo y nutritivas (Church, 1993).

Tradicionalmente se ha aconsejado limitar las grasas a menos de 5% de la ración total en un intento de prevenir problemas de fermentación en el rumen (Church, 1993). Bayourthe *et al.* (1993), mencionaron que las grasas de origen animal, sólo se podían añadir de 3 a 5% debido a que es lo tolerado por los microorganismos ruminales. Guevara (1995) mencionó que la inclusión de grasas es reducida (4% o menos) y que existen muchos reportes que indican que a cantidades mayores (6 a 8%) puede disminuir el consumo voluntario; causar cambios poco favorables en la digestión de la fibra, producción de ácidos grasos volátiles, producción de amoniaco y metano, entre otros. Espinoza *et al.* (1997), agregaron que la incorporación de grasas en niveles de 3 a 5% de la ración para vacas lecheras, aumenta la producción de leche.

Gafo (1997) mencionó que las principales razones que justifican el empleo de lípidos en la alimentación de rumiantes, se pueden agrupar en dos rubros: a) en la formulación de raciones y fabricación de alimentos concentrados; b) en el proceso de producción animal. Los puntos importantes a enlistar son las siguientes: materia prima de elevada densidad energética, reducción de costos de la energía, fuente de ácidos grasos esenciales, vehículo de compuestos liposolubles, reducción del polvo y

del desgaste mecánico de equipos, utilización de excedentes grasos, posibilidad de alcanzar un mayor nivel productivo, mejora de la eficacia energética de la ración, aumento de la grasa producida, manipulación de la composición de las grasas y; mejora la absorción de compuestos liposolubles (vitaminas).

La FEDNA (2003), clasifica con base en su origen, a las grasas, en: grasas animales, vegetales y mezclas. Dentro de las grasas de origen animal hay grasas poliinsaturadas (origen marino), grasas insaturadas (grasas de aves), moderadamente insaturadas (manteca porcina), saturadas (sebo vacuno) y mezclas de todas las anteriores. Dentro de las grasas vegetales se tienen unos aceites más insaturados (girasol, maíz y soja) que otros (oliva, palma o coco). Un tercer grupo de lípidos de interés creciente es el formado por mezclas de grasas y subproductos industriales cuya materia prima original es la grasa.

El valor nutritivo de las grasas es muy diverso dependiendo del tipo y del origen. Entre las grasas animales distinguimos el sebo (grasa de vacuno), la manteca (grasa de cerdo) y las grasas de aves (Caravaca *et al.*, 2003).

2.9. Definición de grasas de sobrepaso

En años recientes se ha puesto en práctica el empleo de grasas “protegidas” para la alimentación de rumiantes en sistemas intensivos de producción (Shimada, 2003; Caravaca *et al.*, 2003); las cuales son grasas de origen vegetal y animal, no degradables en rumen, poliinsaturadas, encapsuladas y no biohidrogenadas (Monroy, 1999). Trinidad *et al.* (2004) las definen como una grasa “inerte” a nivel de rumen en donde no afecta la fermentación, siendo a continuación muy bien digerido en cuajar.

Gafo (1997) utiliza la sinonimia de lípidos protegidos y los define: como aquellos lípidos que son sometidos a algún tipo de tratamiento tecnológico con el objetivo de conseguir su paso por el rumen sin sufrir alteraciones. Chilliard citado por Gafo (1997) mencionó que el término “protección” debe considerarse en un sentido amplio, ya que conlleva paralelamente dos aspectos: por una parte la protección de los ácidos grasos de los lípidos contra la biohidrogenación ruminal y por otra, la protección de las bacterias del rumen contra la acción depresiva de los lípidos sobre la degradación de los carbohidratos.

2.10. Sinonimias

Estos términos se refieren a la carencia de efectos inhibitorios en la fermentación ruminal, logrado por la nula actividad enzimática de la microbiota del rumen; siendo digeridas en la primera porción del intestino delgado (Monroy, 1999).

Las sinonimias han recibido términos diversos tales como: rumen inert fat, inert fat, rumen-protected fat, fat coated, rumen escape, by-pass, protetec fat, prilled fat, lípidos de baja hidrogenación, lípidos protegidos, calcium soaps (Jenkins y Palmquist, 1983; Bayourte *et al.*, 1993; Scott y Ashes, 1993; Gafo, 1997; Rotunno *et al.*, 1998; Espinoza *et al.*, 1998; Lázaro y García, 1999; Monroy, 1999; FEDNA, 2003; Trinidad *et al.*, 2004).

2.11. Historia de las grasas de sobrepaso

Los avances en la nutrición humana y los efectos de esta; en la salud y basados en la productividad animal, debido al grado de saturación de los ácidos grasos de cadena larga en carne y leche, tienen implicaciones en enfermedades como cáncer y enfermedades cardiovasculares (McNamara *et al.*, 2000; Arana *et al.*, 2005; Wood *et*

al., 2003), destacando entre estas últimas, las enfermedades del corazón; asociándose a la ingesta de productos de rumiantes tales como carne, leche y sus subproductos, esto debido a los altos niveles de grasas saturadas encontradas en estos productos (Lee *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2007). El colesterol, es el componente lipídico que más se le atribuye como causante de enfermedad (Scott y Ashes, 1993; Arana *et al.*, 2005); esto ha promovido el desarrollo tecnológico de los alimentos destinados para el consumo de los animales de granja, buscando modificar la composición química de los depósitos corporales de grasa, es decir, menor cantidad de ácidos grasos saturados por una cantidad mayor de ácidos grasos insaturados: linoleico y linolénico, principalmente (Lee *et al.*, 2007).

Las primeras investigaciones se encaminaron hacia la utilización de niveles crecientes de grasa en la ración, sin embargo, pronto se reconoció que un exceso de grasa en la ración conlleva a efectos perjudiciales, tales como disminución de la digestibilidad de la fibra, recubrimiento de la paredes del rumen y toxicidad para la flora ruminal (Monroy, 1999).

La forma natural de grasas protegidas fueron semillas enteras tales como: soja, girasol o semilla de algodón; esto debido a su constitución física, ya que funcionan como grasas protegidas, porque probablemente no exista gran liberación de sus aceites en el medio ruminal (Church, 1993). Gafo (1997) afirma que las semillas enteras de las oleaginosas antes mencionadas, son una fuente de lípidos bastante recomendable debido a la existencia de una protección natural coriácea que les hace resistentes a la degradación ruminal, lo que hace que su contenido de lípidos sea poco accesible para los microorganismos ruminales.

Las grasas no saturadas y las de cadena corta, por ejemplo: aceites láuricos, suelen ser muy activas en el rumen aunque pueden administrarse con éxito en grandes cantidades cuando son semillas enteras o se administran en cantidades muy pequeñas durante el día; estas semillas generalmente se utilizan como fuentes de

energía para ganado lechero. Las semillas de algodón pueden aportar, con toda seguridad, hasta 15% de la dieta completa de un rumiante. Al procesarse dichas semillas pueden liberar aceite y hacer que los ingredientes sean menos adecuados, pero en la actualidad se dispone de productos de soja de grasa completa extruida por la acción del calor y se están empleando en dietas para vacas lecheras y terneros (Monroy, 1999).

Se ha tratado de imitar el principio de la semilla entera, desarrollando diferentes métodos, tales como: la hidrogenación, conversión a sales de Calcio, grasas cristalizadas (pelets) y encapsulación en una matriz de proteína, esta última a su vez se ha protegido contra la deshidratación en el rumen por medio de un tratamiento con formaldehído (Lázaro y García, 1999).

Son variados los trabajos relacionados con la protección de las grasas, de estos trabajos, los investigadores que más destacan solos, en pareja o con diferentes equipos de trabajo, son:

Jenkins y Palmquist (1984) en sus trabajos concluyeron que los jabones cálcicos son una fuente efectiva de grasa para raciones de producción lechera, debido a que la fermentación ruminal sigue siendo normal, la digestibilidad de ácidos grasos es alta y a que las sales cálcicas son fácilmente mezcladas con otros ingredientes alimenticios.

Palmquist *et al.* (1985), fueron quienes descubrieron el revolucionario método de protección de grasas frente a la degradación en el rumen. Palmquist *et al.* (1984, 1985) notaron que al incrementar el contenido de calcio en las dietas, se disminuía el efecto negativo sobre la digestión de la fibra, dando como resultado la elaboración de los jabones cálcicos. Este método de protección se basa en la propiedad de permanecer estable en las condiciones de pH habituales en el rumen y liberarse al llegar al medio ácido del abomaso, absorbiéndose posteriormente en intestino.

Sukhija y Palmquist (1990), al trabajar con jabones de calcio que contenían ácidos grasos de cadena larga de distintas fuentes, entre las que se encontraban: la soya, el sebo, algunos destilados de palmas y ácido esteárico, encontraron que se disociaban al máximo en pH de 5 y como mínimo a pH de 6.5 y, que dependía del grado de insaturación de los ácidos grasos. También mencionaban que aquellos jabones que contenían mayor cantidad de ácidos grasos insaturados eran menos satisfactorios para el mantenimiento de la función normal del rumen, debido a la disociación relativamente grande; siendo los jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite destilados de palma los más satisfactoriamente estables, incluso a pH de 5.5 .

Fotouhi y Jenkins (1992) argumentan que: al alcanzar el rumen los lípidos son sometidos a lipólisis y biohidrogenación por las bacterias ruminales que resulta en la producción de niveles altos de saturación de ácidos grasos libres. Scott (1971) citado por Fotouhi y Jenkins (1992), aseveró que se ha demostrado que el grado de insaturación puede ser incrementada si los ácidos grasos insaturados son protegidos de la biohidrogenación en el rumen. También afirmaron que; esta biohidrogenación es la razón primaria para los altos contenidos de ácidos grasos saturados en tejidos de rumiantes.

Scott y Ashes (1993) citan tres trabajos, el primer trabajo corresponde a los primeros procesos para proteger las grasas de la dieta del metabolismo ruminal fue desarrollado por Scott *et al.* (1970), estos consistieron en: aceites vegetales emulsificados con caseinato de sodio, los cuales fueron rociados en una matriz de proteína, y tratadas con formaldehído. Esta matriz secuestra y al mismo tiempo protege a los aceites del ataque de los microbios ruminales; el segundo trabajo corresponde a Jenkins y Palmquist (1984), quienes desarrollaron en los ochentas, el método de los jabones cálcicos; el último y tercer trabajo, corresponde a Grummer (1988), quien aplicó una extensión al principio antes mencionado, siendo la producción de suplementos grasos en pelets cristalizados (fat prilled), los cuales son hechos primariamente de aceites hidrogenados.

Bayourte *et al.* (1993), afirmaron que las grasas de sobrepaso fueron desarrolladas para evitar o disminuir la digestión ruminal, ya que las grasas tienen un efecto inhibitorio sobre las bacterias ruminales. La función de las grasas de sobrepaso, es para ser usadas para incrementar la densidad energética en dietas altas en fibra, con las cuales son alimentados generalmente, los rumiantes.

Ferlay *et al.* (1993) citados por Kowalski (1997) mencionaron que durante el proceso de saponificación al secuestrar los ácidos grasos de semillas no protege a los ácidos grasos poliinsaturados contra la biohidrogenación ruminal, desde los jabones cálcicos de ácidos grasos hasta los ácidos grasos de aceites son fácilmente biohidrogenados en el rumen.

Se recomienda el uso de estas grasas por arriba de los porcentajes recomendados (8 a 9%) base seca en la dieta para rumiantes (Bayourte *et al.*, 1993), otros autores, tal es el caso de Scott *et al.* (1993) afirmaron que en dietas de ganado para carne se pueden utilizar hasta 15% de grasas protegidas en la dieta. Sirohi *et al.* (2001) citados por Salinas *et al.* (2006), mencionaron que las sales de calcio de aceites vegetales no muestran ningún efecto tanto en la digestibilidad o sobre la síntesis de proteína microbiana en rumen, de aquí que se pueda utilizar de manera segura hasta 7.5 % de la dieta sin presentar algún efecto sobre la fermentación ruminal. Reddy *et al.* (2003) también citados por Salinas *et al.* (2006), encontraron que la inclusión de jabones de calcio de aceite de palma al 10% en la dieta mejora la utilización de los nutrientes sin afectar el consumo de materia en dietas para ovejas a base de henos.

Mientras que, Gulati *et al.*, (1999), reportaron que la carne y los productos lecheros contienen aproximadamente 1% de ácido linolénico a pesar de el hecho que los ácidos grasos insaturados están presentes en niveles altos en los lípidos de las pasturas o en semillas, como la canola, utilizadas en las dietas para rumiantes.

Agreden pretender cambiar estos niveles de ácidos grasos al utilizar dietas con ácidos grasos poliinsaturados protegidos de la acción fermentativa de la dieta.

La sustancia que mejor protege de la degradación ruminal, es el formaldehído, aunque éste método de protección ruminal, no se ha autorizado para su uso, por sus efectos tóxicos y carcinogénicos. Recientemente se desarrollaron sustancias que se consideran seguras, entre las que se mencionan al acetoaldehído o etanal y diacetyl o 2,3 butanediona (Lee *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2007).

2.12. Modo de acción

Las grasas protegidas se caracterizan por la carencia de efectos inhibitorios sobre el metabolismo de diversos protozoarios y bacterias ruminales (sobre todo Gram +), con lo cual no conlleva a consecuencias desfavorables en el ecosistema ruminal, siendo totalmente digeribles en el tracto inferior, más específicamente en el cuajar o abomaso, debido a que éstas grasas se disocian a pH ácido (Lázaro y García, 1999).

A pH normales del rumen (6.6-6.3) estos jabones permanecen sin disociar, son insolubles en el líquido ruminal y por tanto inertes. En abomaso, sin embargo, el pH disminuye, se disocian y dejan libres a los ácidos grasos que serán digeridos (Sukhija y Palmquist, 1990; FEDNA, 2003).

2.13. Tipos de grasas de sobrepaso

Las grasas de sobrepaso engloban a un grupo de productos que resultan de la saponificación de los ácidos grasos libres por iones calcio formando jabones y por hidrogenación parcial de fuentes lipídicas diversas lo que eleva su punto de fusión y

reduce su actividad en el rumen. Actualmente se fabrican jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de palma destilada, además de otros orígenes, como de aceite de oliva, de soya, de sebo y de ácido esteárico (Sukhija y Palmquist, 1990; FEDNA, 2003; Arana *et al.*, 2005; Salinas *et al.*, 2006). Algunos de los tipos de grasas protegidas y sus productos comerciales se enlistan en el Cuadro 5.

Los lípidos protegidos se clasifican según el sistema de protección utilizado en su fabricación en los siguientes: complejos de lípidos con proteína-formaldehído; lípidos absorbidos sobre soportes inertes, lípidos encapsulados con alginato de sódico, lípidos hidrogenados, lípidos cristalizados (Prilled fat) y jabones de ácidos grasos; y por último encontramos, los suplementos lipídicos que contienen proteína protegida (Gafo, 1997).

Lee *et al.* (2006) mencionaron que cuatro son los procesos básicos, que han sido utilizados para proteger los lípidos de la degradación ruminal: 1) encapsulación de triglicéridos en una matriz de proteína protegida con formaldehído; 2) formación de sales de calcio de ácidos grasos saturados o insaturados; 3) pellets hidrogenados con pequeñas cantidades de almidón para formar suplementos grasos cristalizados; 4) Extrusión del aceite de las semillas.

Cuadro 5. Tipos de grasas de sobrepaso

Producto	Composición	Grasa (%)	Calcio (%)
Megalac	Sales de calcio de AG de aceite de palma	80	8-10
Energy booster	AG libres de cadena larga relativamente saturados-grasa cristalizada [§]	99	0
Booster fat	Sebo más harina de soya tratada con alginato de Na	90	0
Alifet	Sebo hidrogenado ^{§§} mezclado con almidón de trigo	92	0
Dairy 80	Sebo hidrogenado-cristalizado conteniendo algunos fosfolípidos, saborizantes y agentes colorantes	80	0
Carolac	Sebo hidrogenado y cristalizado	98	0

[§]Grasa procesada en pequeños pellets esféricos. ^{§§}Sebo que ha sido químicamente hidrogenado.

2.13.1. Grasas endurecidas hidrogenadas

Se utilizan principalmente sebos y contiene 80 a 92% de ácidos grasos saturados, principalmente palmítico y esteárico en forma de triglicéridos (Gafo, 1997).

Las características físicas y biológicas de los ácidos grasos saturados en el rumen (alto punto de fusión, baja inhibición microbiana) han sido el punto de partida para la comercialización de productos a base de grasas endurecidas o hidrogenadas (alto porcentaje de ácidos palmítico y esteárico). Aunque los resultados obtenidos con este tipo de grasa han sido positivos en cuanto a la producción láctea y porcentaje de grasa de la leche, su nivel de inclusión en la ración ha de mantenerse bajo debido a su pobre poder de granulación y a la digestibilidad pobre de la grasa cuando se administra en mezclas sueltas (FEDNA, 2003).

2.13. 2. Grasas cristalizadas (prilled fat)

Es una variante de las grasas hidrogenadas, siendo en este caso la materia prima principal, ácidos grasos libres, mayormente saturados. Estos son sometidos en una matriz a un proceso de cristalización mediante un enfriamiento rápido, obteniéndose como resultado gotas esféricas (Gafo, 1997).

2.13.3. Sales cálcicas de ácidos grasos

Este tipo de grasa, en la que se produce una saponificación con calcio de los ácidos grasos, fue ensayado experimentalmente en la década de los años ochenta por investigadores americanos en la Universidad de Ohio. Considerando como el representante de una "nueva generación de grasas protegidas", este producto es en realidad una grasa "inerte" a nivel de rumen en donde no afecta la fermentación,

siendo a continuación muy bien digerido en cuajar. Además, posee las ventajas adicionales de tener un alto grado de gustosidad, unas buenas características de fluidez con los restantes componentes del pienso gracias a su presentación en forma de granos de fino tamaño y de comportarse como un aglomerante, lo que facilita la producción de gránulos de excelente dureza (Monroy, 1999; Trinidad *et al.*, 2004).

Los jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de palma son una fuente totalmente fiable de grasa protegida en la fabricación de raciones para rumiantes. Son una combinación de ácidos grasos y calcio que se encuentran unidos entre sí mediante enlace químico para formar una sal (Monroy, 1999; Trinidad *et al.*, 2004), lo cual se representa en la siguiente figura:

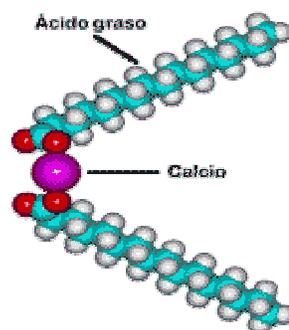


Figura 8 Representación esquemática de un jabón cálcico de ácidos grasos

A diferencia de las grasas oleínas (triglicéridos, ácidos grasos libres) los jabones cálcicos no interfieren en el metabolismo del rumen. El jabón cálcico de ácidos grasos es insoluble en el rumen y resiste el ataque microbiano, no recubre la fibra en

el rumen ni inhibe la acción de los microorganismos del rumen. Tampoco reduce la digestión de la fibra (Monroy, 1999; Trinidad *et al.*, 2004).

La sal cálcica de ácidos grasos se disocia en el medio ácido del cuajar (abomaso). Una vez hidrolizados, los ácidos grasos y el calcio pasan en forma libre al duodeno en donde se realiza su digestión y absorción. El coeficiente de digestibilidad de los ácidos grasos de los jabones cálcicos de aceite de palma fluctúa desde 93 a 96% (Monroy, 1999).

2.13.4. Suplementos lípidicos protegidos con matriz proteica

Scott y Ashes (1993) en su trabajo explicaron como utilizan semillas ricas en grasa y proteína, como el girasol y la soya, para producir lípidos en una matriz proteica. En primer lugar, en un contenedor se mezclan con un antioxidante el cual es mezclado con agua conteniendo una sustancia alcalina para solubilizar la proteína, en conjunto se colocan en un homogenizador. A esta mezcla, se pone a escurrir, recolectándose partículas sólidas, las cuales son posteriormente tratados para resistir la fermentación ruminal.

Baldwin *et al.*, (1993) mencionaron que existen presentaciones de aminoácidos (como metionina) recubiertos con una capa de lípidos protegidos en forma de cuentas (esferas); siendo disponibles alta y fácilmente para su absorción en el tracto digestivo, específicamente en el intestino delgado.

2.14. Efectos de las grasas en el rumen

La ingestión de forrajes y su utilización por ovejas y ganado vacuno frecuentemente ha sido reportado como disminuido por la adición de grasas en la

dieta. Consecuentemente, muchos ganaderos son renuentes al uso convencional y a la suplementación de productos grasos no protegidos en dietas basadas en forraje (Hightshoe *et al.*, 1991).

La inclusión por arriba de 3 a 4% de grasas en las dietas de rumiantes reduce la actividad microbiana en el rumen y da como resultado una disminución en la digestibilidad de celulosa, supresión de formación de metano y una disminución de los rangos de acetato y propionato en el fluido ruminal (Scott y Ashes, 1993).

Henderson (1973) citado por Scott y Ashes (1993) mencionó que los ácidos grasos envuelven a la pared celular bacteriana, produciendo un efecto surfactante en ella, con la consiguiente reducción de transferencia de nutrientes. Otro de los efectos de la adición de grasas en las dietas, es que recubre las partículas alimenticias de origen fibroso, impidiendo su acceso a las bacterias fibrolíticas, trayendo como consecuencia la disminución de la digestibilidad de la fibra; además de recubrir las paredes del rumen y producir toxicidad para la flora ruminal (Monroy, 1999).

Las bacterias ruminales hidrogenan a los ácidos grasos, alterando la composición de las grasas de la dieta. Sin embargo, los microorganismos requieren de un grupo carboxilo libre para la remoción del doble enlace de los ácidos grasos insaturados; por lo tanto, los lípidos que permanecen esterificados en el rumen escapan a la hidrogenación. Por ello, los alimentos que contienen ácidos grasos en forma de sales cálcicas son menos hidrogenados por los microorganismos ruminales que aquellos que contienen ácidos grasos libres o aceites emulsificados (Enjalbert *et al.*, 1994).

Los ácidos grasos de cadena larga son potencialmente útiles como fuente de energía para ganado; no obstante, no deben ser incluidos en niveles altos en la dieta, ya que niveles en gran proporción pueden afectar adversamente la actividad microbiana y la degradación de nutrientes en el rumen. La magnitud de este efecto

depende, entre otras cosas del grado de insaturación de los ácidos grasos de cadena larga, ya que a éstos se les considera un inhibidor de la fermentación más que los ácidos grasos saturados de cadena larga (McNamara *et al.*, 2000).

Salinas *et al.* (2006) mencionaron que los ácidos grasos que resultan de la hidrólisis, de la mayoría de las grasas de la dieta; por las enzimas microbianas del rumen, son primariamente ácidos grasos de cadena larga; los cuales son incorporados a las membranas celulares de las bacterias y protozoarios ruminales y algunos de estos escapan o sobrepasan el rumen. Una abundancia en ácidos grasos de cadena larga altera la fermentación ruminal.

2.15. Absorción de los ácidos grasos en el intestino delgado

El porcentaje de sales de calcio que no es disociado en rumen es hidrolizado en abomaso a pH de 2.5 a 3 quedando así disponibles los ácidos grasos para ser absorbidos en el intestino (Monroy, 1999).

Al disociarse las jabones de calcio de ácidos grasos en el abomaso, y que llegan al duodeno lo hacen en diferentes porcentajes a los consumidos en las dietas, esto dependiendo de la presentación de los ácidos grasos en la dieta, siendo menos extensa la biohidrogenación en dietas en donde la presentación de los ácidos grasos es en forma de jabones de calcio, tal es el caso de los jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de palma (Enjalbert *et al.*, 1994).

Enjalbert *et al.* (1994), utilizaron cuatro dietas donde incluyeron aceite de soya (SO), sales cálcicas de ácidos grasos de soya (CaSSO), ácidos grasos emulsificados de soya (ESO), sales cálcicas de ácidos grasos de palma (CaSP), reportando que los perfiles de ácidos grasos del quimo duodenal difieren del total en la dieta; por lo que

las proporciones de los ácidos oleico, linoleico y linolénico fueron bajos comparados con los consumidos, los resultados obtenidos se muestrann en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Contenido de ácidos grasos en dieta y en Quimo duodenal

	Dietas con SO; ESO; CaSSO	Dieta con CaSP	Quimo duodenal en dietas con SO; ESO	Quimo duodenal en dieta con CaSSO	Quimo duodenal en dieta con CaSP
Oleico	31.3	72.9	6.1	15.3	30.9
Linoleico	55.6	11.1	3.0	16.2	5.5
Linolénico	9.8	6.5	0.5	1.8	0.6

"SO = aceite de soya.

"CaSSO =sales cálcicas de ácidos grasos de soya.

"ESO = ácidos grasos emulsificados de soya.

"CaSP = sales cálcicas de ácidos grasos de palma

También mencionaron que el alcance de la biohidrogenación ruminal es menor en las dietas que contenían sales cálcicas de ácidos grasos que en los aceites de soya no emulsificados y emulsificados. El contenido total de ácidos grasos en suero fue mayor para dietas en donde se utilizaron SO o CaSP que para las dietas con CaSSO y ESO. Los perfiles serológicos posteriores a la absorción intestinal, difieren de la digesta duodenal, presentando mayores porcentajes de ácidos grasos insaturados.

2.16. Principales usos de las grasas protegidas

Como ya se ha mencionado, la suplementación con grasas protegidas, tiene como objetivo, incrementar la densidad energética (Sukhija y Palmquist, 1990; Bayourthe *et al.*, 1993) y el consumo de energía (Santos *et al.*, 2004), además de no producir alteraciones en el medio ruminal (Kowalski, 1997).

Otro punto importante, es el hecho que, debido a los problemas que se han presentado en la utilización de alimentos de origen animal en las dietas para rumiantes y la tendencia en los mercados europeos, tal es el caso de España, en donde, la carne de cordero tiende a ser "Light", donde se cuida el balance entre el grosor mínimo de grasa que satisfaga los gustos del consumidor y que al mismo tiempo garantice la conservación de la canal, se trata de modificar los depósitos grasos, aumentando los porcentajes de ácidos grasos insaturados; mediante el uso de este tipo de suplementos (Castro *et al.*, 2004).

Encinias *et al.* (2004), mencionaron que los corderos nacen con 100% de tejido graso pardo o café, en comparación con otras especies, que nacen con grasas tanto parda como blanca. Esta grasa parda es asociada con la regulación de la termogénesis durante la etapa neonatal y simultáneamente, puede modificar los porcentajes de mortalidad perinatal. En su trabajo, en donde alimentaron ovejas gestantes con dietas que contenían semilla de cártamo las cuales contienen altos porcentajes de ácido linoleico, indicaron los efectos beneficiosos de suplementar con este ingrediente en los últimos 45 días de gestación, puesto que incrementa la supervivencia de los corderos al nacimiento, sin cambios en el peso corporal o condición de la oveja. El mecanismo que ayuda a modificar la supervivencia perinatal de los corderos, no están bien definidos, pues los depósitos grasos pardos de los corderos no mostraron cambios significativos.

Wynn *et al.* (2006), mencionaron que cuidando la proporción grasa y lo magro de la carne y alterando la composición de los tejidos mediante el uso de alimentos protegidos (entre ellos un isomero del ácido linoleico), puede beneficiar la calidad nutricional de la carne de cordero. Así mismo afirman que estos isómeros de este ácido graso tiene propiedades anticarcinogénicas.

Salinas *et al.* (2006), informaron que utilizar jabones cálcicos de sebo tienen ventajas comparado en el sebo común, estas son: no requieren equipo especial para

su almacenaje o utilización con otros ingredientes; reduce los costos por energía; resiste a la oxidación, lo cual incrementa el tiempo de almacenaje de los alimentos; y sobre todo el uso de estas grasas en la dieta, puede ser mayor que 7%.

Lee *et al.* (2007), usaron soya previamente molida y posteriormente protegida químicamente, reportaron un ligero aumento en los porcentajes de ácidos grasos insaturados (linolenico y linoleico, principalmente) de algunos de los depósitos grasos de la canal. Otro punto que menciona Lee *et al.* (2007), es que al proteger los componentes grasos de la soya se aumenta el nivel de absorción de la vitamina E con lo cual se ve beneficiada la calidad de la carne.

2.17. Uso de grasas protegidas en ganado ovino

Algunas razones para la inclusión de grasas protegidas en las dietas para ganado vacuno, pueden ser también aplicadas en ganado ovino, es decir; los efectos de la inclusión de grasas protegidas en la dieta de ovinos puede ser discutida en relación a sus roles en la lactación, en el perfeccionamiento y eficiencia en el crecimiento y engorda, y la composición de ácidos grasos en los lípidos de membrana (Scott y Ashes, 1993), además de las modificaciones de los porcentajes de ácidos grasos en los diversos depósitos grasos en la canal (Lee *et al.*,2007).

Las razones para incluir grasas protegidas en las dietas de rumiantes son:

- a) Incrementar la densidad energética de las dietas, particularmente durante las etapas primarias de lactación.
- b) Mejorar la eficiencia de la utilización de la grasa para lactación (los ácidos grasos de 16 a 22 carbonos pueden ser transferidos directamente a la grasa de la leche) e incrementar los contenidos grasos
- c) Incrementar el contenido graso para la producción de queso.

- d) Mejorar la persistencia en la producción de leche y reducir la incidencia de cetosis; y
- e) Cambiar la composición de ácidos grasos de la leche y sus productos (Scott y Ashes, 1993; Pérez *et al.*, 1997; Gargouri *et al.*, 2006).

Scott y Ashes (1993) mencionaron que en ganado destinado para carne, la manipulación de tejido graso puede lograrse mediante el uso de este tipo de suplementos. Un ejemplo del impacto de la protección de diferentes fuentes de grasas sobre los perfiles de los ácidos grasos en los tejidos de terneros se logra por medio de la inclusión de semillas conteniendo cantidades apreciables de C18:2 o C18:1 en la dieta, lo cual incrementa la proporción de esos ácidos en el tejido adiposo, mientras que la alimentación con sebo protegido resulta solo en un pequeño cambio en los perfiles de ácidos grasos. La magnitud de los cambios inducidos en los perfiles de C18:2 del tejido adiposo puede influenciar las propiedades organolépticas de la carne, siendo más aparente este efecto en ovejas. Santos *et al.* (2004), afirmaron que las grasas protegidas además de incrementar la densidad energética y el consumo de energía, mejoraran el balance energético de los animales, además de mejorar la reproducción o la producción de leche o ambas.

Salinas *et al.* (2006), trabajaron con corderos pelibuey, alimentados con dietas isoproteicas (14% de Proteína Cruda) e isoenergéticas (2.6 Mcal/Kg de EM), las cuales incluían diversos porcentajes de jabones cálcicos de sebo en la dieta (0%; 1.5%; 3.0%; 4.5%). En su trabajo concluyeron que las dietas que contenían jabones cálcicos de sebo no afectó la ganancia diaria de peso, el consumo diario, la eficiencia alimenticia, el área del largo dorsal ni el grosor de la grasa dorsal en los corderos de su experimento. También mencionaron que la producción de cordero esta regulada por dos factores: el primero, la eficiencia de transformar el alimento en carne y la segunda, el mercado. En el mismo tenor afirman que la calidad de la canal proporciona el primer criterio de evaluación para el producto terminado (canal), siendo clave en los criterios de selección genética.

2.18. Uso de grasas en el manejo reproductivo

Guevara (1994) mencionó que la utilización de lípidos protegidos en la reproducción de ganado ovino se justifica desde el punto de vista de la práctica del flushing, ya que el incremento en el nivel energético de la ración durante la época de cubrición consigue mejorar los resultados reproductivos del rebaño.

Espinoza y colaboradores (1997), experimentaron con ovejas Pelibuey (no lactantes) alimentadas con porcentajes de grasas de 0% para la dieta control y 2.5 y 5% para las dietas experimentales; ellos concluyeron que las ovejas suplementadas con jabones cálcicos de ácidos grasos de cadena larga incrementaron en suero las concentraciones totales de colesterol; de lipoproteínas de alta densidad y progesterona; además induce la secreción de la hormona luteinizante, lo cual puede modificar favorablemente los parámetros reproductivos.

Gafo (1997), justificó la utilización de suplementos grasos protegidos, desde el punto de vista de la práctica del flushing, ya que el incremento en el nivel energético de la ración durante la época de cubrición consigue mejorar los resultados reproductivos de las ovejas. El mismo autor argumentó; como en cualquier tipo de flushing, en el realizado con jabones cálcicos confluyen distintos factores, como son la raza, la época del año y el nivel de alimentación, y por lo tanto el estado nutritivo de las ovejas en el momento de realizar la suplementación, lo que podría explicar las diferencias, entre resultados.

Pérez *et al.*, (1997), afirmaron que la suplementación de sales cálcicas de ácidos grasos de aceite de oliva en 10% de la materia seca de la dieta, tuvieron efectos positivos en la ovulación, sin afectar la digestibilidad de la fibra.

2.19. Uso de grasas protegidas en ovejas en lactancia

Los requerimientos nutricionales de la oveja se incrementan dramáticamente posteriores al parto, particularmente para aquellas que amamantan gemelos en casi tres veces más que durante el último tercio de gestación. En algunos casos se dificulta el suplementar los suficientes nutrientes para la oveja en lactación, con lo cual da como resultado, experiencias negativas en el balance energético, lo cual puede afectar adversamente tanto la producción de leche como el crecimiento del cordero, subsecuentemente acelera los programas de destete. Las sales de calcio al ser inertes en el rumen, aportan valores de energía neta tres veces más que el maíz (Horton *et al.*, 1992).

Horton *et al.*, (1992), en sus trabajos de investigación, alimentaron ovejas amantando gemelos, donde incluyeron grasas protegidas a niveles de 0g, 75g, 150g y 300g por kilogramo de concentrado más heno de alfalfa y pasto ryegrass a saciedad; no encontraron resultados favorables, en la producción y en la composición de la leche, en ganancia de peso corporal de las ovejas o de sus corderos; aún a pesar del incremento de densidad energética en la dieta. El mismo autor lo atribuye a que las grasas protegidas disminuyen el consumo de heno y la absorción de grasa.

Guevara (1994) en su trabajo al utilizar ácidos grasos saponificados en ovejas Pelibuey en lactancia, a las cuales administro 0 g, 80, 160 y 240 g/animal/día respectivamente; encontrando que el mejor desempeño en la lactancia de su experimento fue cuando utilizó 160 g animal⁻¹ día⁻¹; debido al costo de producción de los corderos (relación costo-beneficio); siendo únicamente recomendable en la lactancia inicial o hasta los primeros 20 días, por otra parte; no existió cambio en el peso de las ovejas, producción láctea o proteína presente en la leche durante la lactancia.

La proteína de la leche generalmente disminuye al realizar una suplementación con grasas protegidas. Los ácidos grasos de los lípidos pueden alterar, directamente o indirectamente, la entrada de aminoácidos en la glándula mamaria (Gafo, 1997). Así mismo Pérez *et al.*, (1997), afirmaron que la suplementación de sales cálcicas de ácidos grasos de aceite de oliva realzan la producción láctea.

Los resultados obtenidos por Rotunno *et al.* (1998), indican que el agregar grasas protegidas en la dieta es efectivo en la mejoría de la composición de ácidos grasos de la leche de oveja, aunque la mejoría de las características nutricionales de la grasa de la leche depende fuertemente de la naturaleza de la grasa suplementada.

Lee *et al.* (2004), mencionaron que alimentando con suplementos con lípidos protegidos (con acetaldehído o con diacetyl), a ovejas lactando hubo un incremento de ácidos poliinsaturados en suero sanguíneo y en la grasa láctea.

Casals *et al.* (2006) experimentaron con ovejas alimentadas con concentrados en presentación de pellets, en cinco dietas isoproteicas, pero con niveles crecientes de sales cálcicas de ácidos grasos (0, 50, 100, 150 y 200 gKg⁻¹ de concentrado). Aseguraron que la adición de grasas en dietas para rumiantes provee ácidos grasos preformados los cuales son directamente disponibles para la síntesis de grasa láctea tanto en vacas como en pequeños rumiantes. Concluyeron que al adicionarse grasas protegidas en dosis entre 100 y 200 gKg⁻¹ en las dieta de ovejas lecheras incremento el contenido graso en leche durante todo el período de lactación, incrementándose también la producción lechera en la primera mitad de la lactación, mientras que para la mitad de la lactación y la lactación tardía las dosis de sales cálcicas de ácidos grasos que fueron efectivas para elevar estos parámetros fueron las de 100 gKg⁻¹ de concentrado. Los contenidos de proteína en leche, no fueron afectados en el primer tercio de la lactación, pero disminuye en la mitad de la lactación y en la lactación tardía, especialmente cuando las dosis de sales cálcicas de ácidos grasos son altas (200 g de sales cálcicas por kg de concentrado).

2.20. Uso de grasas de sobrepaso en ovinos de engorda

Shell *et al.* (1978) fueron de los pioneros en trabajar con proteína y grasa protegida. Su trabajo consistió en alimentar corderos con dietas conteniendo: una dieta control, una dieta con 8% de aceite de semilla de algodón y; otras dos dietas con 8 y 12 % de caseína y aceite de algodón cubierta con formaldehído; obteniendo un incremento en el contenido de ácido linoleico en la grasa subcutánea de los corderos alimentados con los aceites tratadas cuando fueron comparadas con las semillas no protegidas, así mismo; la digestión de lípidos se incremento en las dietas suplementadas con aceites de las semillas de algodón.

Así mismo, Mata-Hernández *et al.* (1978), evaluaron los niveles de ácidos grasos en suero y los depósitos grasos de la canal. Se utilizaron cuatro dietas, la primera que era de control, la segunda contenía 8% de aceite de algodón, la tercera dieta y cuarta dieta contenían 8 y 12% de aceite protegido de semilla de algodón, respectivamente; encontrando que el contenido total de ácidos grasos insaturados en suero se incrementan, debido al aceite protegido, mientras que el ácido palmítico permanece inalterable. Dentro de los ácidos insaturados, el ácido linoleico es el principal ácido insaturado que tuvo altos niveles de presentación, esto asociado a la ingesta del alimento suplementado; mientras que los lípidos intramusculares y la composición de ácidos grasos en los músculos cardiaco, semimembranoso, triceps y largo dorsal no presentaron un efecto significativo en los corderos suplementados con los suplementos alimenticios protegidos.

En otro trabajo experimental realizado por Espinoza *et al.*, (1998), en donde alimentaron ovejas, previamente (8 días) y después del parto (75 días), con dietas las cuales contenían 14 y 16% de proteína cruda (PC) además siendo isoenergéticas (ME= 2.5 Mcal/kg.), obtuvieron como resultados:

a) Los pesos promedio de los corderos, a su nacimiento, de sus pesos al destete y ganancia diaria previa al destete fueron similares entre tratamientos, como lo ejemplifica el Cuadro 7.

Cuadro 7. Promedios para pesos al nacimiento, peso al destete, ganancia diaria promedio.

Nivel de proteína	Inclusión de CSFA	Peso al nacimiento	Peso al destete	Ganancia diaria
14%	Si	3.8	23	0.25
	No	3.7	20	0.23
16%	Si	3.1	20	0.23
	No	3.7	20	0.20

** Valores expresados en Kilogramos.

b) La alimentación de ovejas Pelibuey con jabones cálcicos de ácidos grasos de cadena larga durante los períodos pre y post-parto incrementa la grasa de la leche cuando se alimentaron con dietas que contenían 16% de PC.

c) Las dietas conteniendo 16% PC incrementa el peso corporal de las ovejas después de treinta días posteriores al parto.

d) Las grasas también incrementaron algunos metabolitos lipídicos y reduce el intervalo a la concepción sin afectar las concentraciones de progesterona durante el primer ciclo estral post-parto.

Moibi y Christopherson (2001) menciona que son varios los factores en la regulación de la composición de ácidos grasos, entre ellos la temperatura y la dieta. En su investigación demostraron que con temperaturas ambientales bajas (cerca a 0° C) y suplementados con lípidos protegidos se producen importantes cambios en la composición de ácidos grasos.

Los ácidos grasos influyen en varios aspectos de la calidad de la carne, debido a ellos, se tienen diferentes puntos de fusión. Esta variación en la composición de los ácidos grasos tiene un importante efecto en la firmeza y en la suavidad de la grasa

de la carne, especialmente, la subcutánea e intermuscular. La composición de estos ácidos grasos puede cambiarse mediante el uso de suplementos energéticos (Wood *et al.*, 2003).

Ramana *et al.* (2003), los resultados que obtuvieron con la suplementación de grasas en forma de jabones cálcicos de ácidos grasos puede ser incluidos en un nivel de 10% en dietas para ovejas basadas en pajas, sin afectar la ingestión y digestibilidad de la materia seca, aumentando la digestibilidad de extracto etéreo.

Los resultados obtenidos por Castro *et al.* (2004), indicaron que es posible la inclusión de aceite de palma (tal cual) o en forma de jabones cálcicos, a niveles de 6.5% de la materia seca del concentrado, en raciones de engorda para corderos alimentados bajo condiciones intensivas sin alterar la composición grasa de la canal; aunque la adición de aceite de palma reduce el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en algunos de los depósitos grasos. Añade que la suplementación con jabones cálcicos hechos de ácidos grasos de aceite de palma no afecta la composición de grasa intramuscular, pero reduce el contenido de ciertos ácidos grasos saturados en algunos de los depósitos grasos.

Lee *et al.* (2004), concluyeron que, al utilizar soya, con todos sus componentes grasos; como componente alimenticio de las dietas en ovinos y; tratado con dos diferentes sustancias; acetaldehído o diacetil, favorecen la deposición de los ácidos linoleico y linolenico en los tejidos de corderos. En la grasa del músculo largo dorsal, el ácido linoleico se incremento en 133% sin alterar los olores y sabores *sui generis*, al alimentarse a corderos con grasas protegidas de la soya.

Arana *et al.*, (2005), obtuvieron resultados similares a los de Espinoza (1998); ellos trabajaron inmediatamente al destete, con corderos machos, con un peso promedio de 15 Kg, los cuales en su alimento se incluyo, en una de dos dietas, jabones cálcicos, en un 5% de la dieta, durante 35 días (Cuadro 8). Ellos dedujeron

que los jabones cálcicos de ácidos grasos no pueden ofrecer una completa protección a los ácidos grasos insaturados y poliinsaturados. Concluyen que la inclusión de grasas debe ser por arriba de 5% o en su defecto aumentar el número de días por arriba de 35 días.

Cuadro 8. Parámetros de crecimiento de corderos alimentados con dietas, sin y con suplementación de jabones cálcicos de Oliva.

	Control	Oliva
Numero de animales	9	9
Peso inicial	17.3 Kg.	17.0 Kg.
Edad inicial	53 días	51 días
Período de engorda	36 días	33 días
Peso final	29 Kg.	28.4 Kg.
Ganancia diaria de peso	342.8g	345.5g

Lee *et al.*, (2006), al citar otros trabajos, mencionaron que al utilizar suplementos con lípidos protegidos que contengan ácidos grasos insaturados incrementa el riesgo de desarrollar la oxidación en el olor y en el sabor (enranciamiento) en productos tales como la leche y la carne. Así mismo, mencionan que la vitamina “E” fortalece la inmunidad; minimiza el deterioro del olor y sabor de la leche y de la carne debido a la oxidación de los lípidos y; provee estabilidad al color de la carne debido a la inhibición de la oxidación de la hemoglobina.

Winn *et al.* (2006), al utilizar ácido linoleico conjugado protegido como alimento a corderos con pesos entre 27 y 29 Kg. de peso, observaron que los músculos, hígado y tejido adiposo fueron mayores en el ácido antes mencionado, sin embargo; no tuvo efectos positivos sobre la ganancia de peso diaria.

Salinas *et al.* (2006), mencionaron que incluso aun; con la protección de los lípidos de la biohidrogenación ruminal lo que minimiza los efectos adversos de la suplementación de lípidos sobre la digestión de fibra, también mejora los valores netos de energía por parte de las grasas en dietas de ganado de carne; los jabones cálcicos no tienden a mejorar el desarrollo del ganado de carne o carneros alimentados con dietas altas en concentrados.

Lee *et al.* (2007), informaron que los rangos individuales en la composición de la grasa dependen de la localización, puesto que los puntos de fusión más bajos se encuentran en grasas cercanas a la piel, siendo más elevados los puntos de fusión en los depósitos internos de grasa. Al utilizar tanto, el acetoaldehído y diacetil en el mismo trabajo, como sustancias protectoras de la fermentación ruminal, mencionan que la segunda sustancia favoreció los depósitos de la vitamina "E", lo que los mismos autores mencionan que favorece la calidad en el olor y sabor (flavor) de la carne.

3. CONCLUSIONES

Al conocer las diferentes grasas utilizadas en nutrición animal; en particular de los ovinos, facilita la elaboración de dietas y contribuye para satisfacer las necesidades energéticas en las diversas etapas o momentos productivos de mayor demanda energética. Estas grasas, tiene diversos orígenes y por lo tanto, diversas calidades; lo cual en conjunto influye en el metabolismo animal y en el destino final de las grasas, puesto que algunas de estas pasan directamente a los productos ovinos sin sufrir grandes transformaciones en su composición.

Otro factor importante que se tiene que tomar en cuenta en la alimentación de ovinos; son los componentes propios del animal (anatomía y fisiología) que al interaccionar con los alimentos y en particular, con las grasas, éstas sufren una serie de transformaciones por parte de una microbiota existente en los compartimentos digestivos, siendo la descomposición y la saturación de los dobles y triples enlaces, los procesos primarios que sufren las grasas al interaccionar con las bacterias ruminales. Esta saturación de los ácidos grasos impacta en los porcentajes de la deposición de los ácidos grasos saturados e insaturados de los depósitos a la canal y en los porcentajes de ácidos grasos saturados e insaturados de la leche y sus subproductos.

Al conocer la composición química de las grasas de sobrepaso, se puede esperar cambios en los porcentajes de los ácidos grasos que se espera estén presentes en los productos ovinos, ya sea como carne a la canal o leche y sus subproductos; pues el organismo de los rumiantes, puede absorber algunos ácidos grasos preformados, y transferirlos directamente a estos productos ovinos.

Los resultados obtenidos de los diversos experimentos donde han utilizado grasas de sobrepaso, en general han reportado resultados positivos en varios de los aspectos productivos, tales como el incremento en la producción de leche, la

persistencia a la lactancia y el aumento de la ovulación. Un punto, aún no definido, es la manipulación de la composición de los ácidos grasos en los depósitos a la canal, mediante el uso de suplementos grasos protegidos, aunque no se ha logrado identificar los mecanismos que controlan este parámetro, varios reportes aseveran que se logran mínimas alteraciones positivas en la composición grasa, reduciendo el porcentaje de los ácidos grasos saturados y aumentando el porcentaje de los ácidos grasos insaturados.

En general se puede justificar el uso de grasas protegidas, para la producción ovina en al menos tres etapas:

- a. Lactancia, donde existe aumento en la producción láctea y aumento de grasa durante toda la lactancia, además de favorecer la persistencia de la misma.
- b. Flushing previa al empadre, puesto que beneficia la tasa de ovulación, pues al favorecer favorece la formación de gonadotropinas.
- c. Finalización o ceba, ya que favorece la calidad organoléptica de la carne, aumentando algunos tipos de ácidos grasos insaturados de los depósitos de grasa de la canal.

La previa revisión de artículos, nos permite afirmar que el uso de grasas protegidas puede ser útil en algunas etapas de la producción de ovinos, pero sobre todo para incrementar la densidad energética de las dietas para ovinos, siendo las grasas protegidas una buena opción para la producción ovina.

4. ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estimación del consumo nacional aparente 1990-2000.....	5
Cuadro 2. Ácidos grasos más comunes en tejidos vegetales y animales.....	14
Cuadro 3. Ácidos grasos insaturados de importancia fisiológica y nutricional.....	15
Cuadro 4. Vías metabólicas en la formación de acetato.....	28
Cuadro 5. Tipos de grasas de sobrepeso.....	49
Cuadro 6. Contenido de ácidos grasos en dieta y en quimo duodenal.....	55
Cuadro 7. Promedios para pesos de nacimiento, peso al destete, ganancia diaria promedio.....	63
Cuadro 8. Parámetros de crecimiento de corderos alimentados con dietas, sin y con suplementación.....	65

5. ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Isomería de los ácidos grasos.....	12
Figura 2. Fórmula semidesarrollada del glicerol.....	17
Figura 3. Esquemmatización del enlace entre un ácido orgánico y el glicerol.....	17
Figura 4. Esquemmatización de un monoglicérido, diglicérido y triglicérido.....	17
Figura 5. Esquemmatización del colesterol.....	19
Figura 6. Rutas metabólicas para la formación de propionato.....	29
Figura 7. Rutas metabólicas para la formación de butirato.....	30
Figura 8. Representación esquemática de un jabón cálcico de ácidos grasos.....	51

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Arana A, Mendizábal JA, Alzón M, Eguinoa P, Beriain MJ, Purroy A. Effect of feeding lambs oleic acid calcium soaps on growth, adipose tissue development and composition. *Small Ruminant Research* 2005, 10: 10-16.
2. Bayourte C, Moncoulon R, Vernay M. Effect of protein-protected fat on ruminal and total nutrient digestibility of sheep diets. *Journal Animal Science* 1993; 71: 1026-1031
3. Baldwin JA; Horton GMJ; Wohlt, JE; Palatini DD; Emanuele SM. Rumen-protected methionine for lactation, wool and growth in sheep. *Small ruminant research* 1993. 12: 125-132.
4. Bradley FA; Bennett TP. *Bioquímica*. Editorial Reverté, Impreso en España, 1982.
5. Caravaca RFP, Castel GJM, Guzmán GJL *et al.* Bases de la reproducción animal; Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2003.
6. Busquet M, Calsamiglia S, Ferret A, Kamel C. Plant extracts affect in vitro rumen microbial fermentation. *Journal of dairy science*, 2006. 89: 761-771.
7. Caravaca RFP, Castel GJM, Guzmán GJL *et al.* Bases de la reproducción animal; Catalogo de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Serie universitarios, 61. Primera reimpresión, 2005.
8. Castro T, Manso T, Mantecón AR, Guirao J, Jimeno V. Fatty acid composition and carcass characteristics of growing lambs fed diets containing palm oil supplements. *Meat Science* 2005. 69: 757-764
9. Casals R, Caja G, Pol MV, Such X, Albanell E, Gargouri A, Casellas J. Response of lactating dairy ewes to various levels of dietary calcium soaps of fatty acids. *Animal feed science and technology*, 2006. 131: 312-332.
10. Church CD. *El rumiante fisiología digestiva y nutrición*, Editorial Acribia España, 1993.
11. De Lucas TJ, Arbiza ASI; *Producción ovina en el mundo y México*, Editores Mexicanos Unidos S. A. 1ª edición, Julio del 2000.

12. D'Mello JPF. Farm animal metabolism and nutrition. CAB International publishing, 2000.
13. Encinias HB, Lardy GP, Encinias AM, Bauer ML; High linoleic acid safflower seed supplementation for gestating ewes: Effects on ewe performance, lamb survival, and brown fat stores; Journal Animal Science, 2004; 82: 3654-3661.
14. Enjalbert F, Nicot MC, Vernay M, Moncoulon R, Griess D. Effect of different forms of polyunsaturated fatty acids on duodenal and serum fatty acid profiles in sheep. Canadian Journal of Animal Science 1994; 74: 595-600.
15. Ensminger ME. Producción ovina. Editorial El Ateneo, 1976
16. Ensminger ME, Animal Science Digest (Animal agricultura series); Ed. Interstate Publishers, Inc; First edition 1991
17. Ensminger ME, Parker RO, Sheep & Goat Science (Animal agricultura series); Ed. The Interstate Printers & Publishers, Inc, Fifth Edition, 1986.
18. Ensminger ME, Oldfield JE; Feeds and nutrition, The Ensminger Publishing Company, Second edition, 1990.
19. Ensminger ME, Olentine CG, Alimentación y nutrición de los animales, 1ª edición, Versión al castellano 1983.
20. Espinoza JL, López-Molina O, Ramírez-Godínez JA, Jiménez J, Flores A. Milk composition, postpartum reproductive and growth of lambs in Pelibuey ewes fed calcium soaps of long chain fatty acids. Small Ruminant Research 1998; 27:119-124.
21. Espinoza JL, Ramirez-Godinez JA, Simental SS *et al.*; Effects of calcium soaps of fatty acids on serum hormones and lipid metabolites in Pelibuey ewes; Small Ruminant Research 1997; 26: 61-68
22. Eugene M, Archimede H, Michalet-Doreau B, Fonty G. Effects of defaunation on microbial activities in the rumen of rams consuming a mixed diet (fresh *Digitaria decumbens* grass and concentrate). Animal research, 2004. 53: 187-200.
23. Freer M, Dove H. Sheep nutrition. Cabi publishing in association with CSIRO publishing, 2002.

24. Fotuhi N, Jenkins TC; Ruminal biohydrogenation of linoleoyl methionine and calcium linoleate in sheep; *Journal of Animal Science*, 1992; 70: 3607-3614.
25. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; FEDNA, Tablas 2003.
26. Gafo GC; Efectos de la utilización de jabones cálcicos de ácidos grasos en la reproducción del ganado ovino (tesis doctoral); Bellaterra (Barcelona) España; Universidad Autónoma de Barcelona, 1997.
27. Gargouri A; Caja G; Casals R; Mezghani I. Lactational evaluation of effects of calcium soap of fatty acids on dairy ewes. *Small ruminant research*, 2006; 66: 1-10.
28. Gonzalez CJ; Alimentación de Bovinos, ovinos y caprinos, Ediciones Mundi-Prensa, 1990.
29. Goodwin DH; Producción y manejo del ganado ovino, Editorial Acribia España, 1975.
30. Guevara EA; Utilización de ácidos grasos saponificados en la alimentación de ovinos; (Tesis de Maestría); DF (DF) México; Universidad Nacional Autónoma de México; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 1994.
31. Guevara EA; Utilización de ácidos grasos saponificados en la alimentación de ovinos. Memorias del curso "Tópicos actuales sobre nutrición y alimentación de ovinos de engorda"; 1995 mayo 17-19, México, DF; Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal y Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura; 1995: 87-103.
32. Gulati SK, Ashes JR, Scott TW. Hydrogenation of eicosapentanoic and docosahexaenoic acids and their incorporation into milk fat. *Animal feed science and technology*, 1999. 79: 57-64.
33. Hafez ESE, Dyer IA. Desarrollo y nutrición animal, Editorial Acribia España, 1984
34. Hightshoe RB, Cochran RC, Corah LR, Harmon DL, Vanzant ES. Influence of source and level of ruminal-escape lipid in supplements on forage intake, digestibility, digesta flow, and fermentation characteristics in beef cattle. *Journal Animal Science* 1991; 69: 4974-4982.

35. Horton GMJ, Wohlt JE, Palatini DD, Baldwin JA. Rumen-protected lipid for lactating ewes and their nursing lambs. *Small Ruminant Research* 1992, 9 (1): 27-36.
36. Huerta MB; Requerimientos nutricionales de ovinos pelibuey y de lana; II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos; XI Congreso Nacional de Producción Ovina, 2000.
37. Jenkins TC, Palmquist. Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. *Journal Dairy Science* 1984, 67: 978-896.
38. Koenig KM, Newbold CJ, McIntosh FM, Rode LM. Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen. *Journal animal science*, 2000. 78: 2431-2445.
39. Kowalski, ZM. Rumen fermentation, nutrient flow to the duodenum and digestibility in bulls fed calcium soaps rapeseed fatty acids and soya bean meal coated with calcium soaps. *Animal Feed Science technology* 1997, 69: 289-303.
40. Lazaro CPR, García RMS. Efecto de la grasas de sobrepaso sobre la producción de leche y peso vivo de cabras lecheras en lactancia temprana 5 meses. (Tesis Ing. Agr. Esp. en Zootecnia, Departamento de zootecnia). Chapingo (México) México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1999.
41. Lee JH, Waller JC, Melton SL, Saxton AM, Pordesimo LO; Feeding encapsulated ground full-fat soybeans to increase polyunsaturated fat concentrations and effects on flavor volatiles in fresh lamb; *Journal of Animal Science*, 2004; 82:2734-2741.
42. Lee JH, Waller JC, Yilmaz Y, Melton SL; Effect of feeding rumen-protected dietary protein-oil supplements on fatty acid composition and α -tocopherol content of blood serum and muscle lipids of lambs, *Small Ruminant Research*, 2006, 10pp
43. Lee JH, Waller JC, Melton SL; Distribution of fatty acids and effect of chemically treated ground, full-fatt soybean supplements on tocopherols concentrations in crossbred (Dorset X Suffolk) lambs; *Small Ruminant Research*, 2007; 68: 269-278.

44. Mata-Hernandez A, Dryden FD, Marchelio JA, Shell LA; Protein protected fat for ruminants. IV. Plasma, lipid, insulin and depot fat compositions of lambs; *Journal of Animal*; 1978, 46:1338-1345.
45. Mackie IR, White AB. Symposium: Rumen microbial ecology and nutrition. Recent advances in rumen microbial ecology and metabolism: Potential impact on nutrient output. *Journal of dairy science*, 1990. 73: 2971-2995.
46. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. *Nutrición animal*, 5a edición, Editorial Acribia España, 1999.
47. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. *Nutrición animal*, 6a edición, Editorial Acribia, Impreso en Zaragoza España, 2006.
48. McNamara JP, France J, Beever D. *Modelling nutrient utilization in farm animals*. Cabi publishing, 2000.
49. Moibi JA, Christopherson RJ. Effect of environmental temperature and a protected lipid supplement on the fatty acid profile of ovine longissimus dorsi muscle, liver and adipose tissues. *Livestock production science*, 2001. 69: 245-254.
50. Monroy JMH. *Uso de grasa de sobrepeso en la lactación de cabras en lactación avanzada (Tesis Ing. Agr. Esp. en Zootecnia, Departamento de zootecnia)*. Chapingo (México) México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1999.
51. Murray, RK; Garnner, DK; Mayer, PA; Rodwell, VW. *Bioquímica de Harper*, decimaquinta edición en español, traducida de la vigésima quinta edición en inglés; Editorial El manual moderno, 2001.
52. National Research Council. *Nutrient requirements of sheep, sixth revised edition*. National Academy Press, Washington, D. C., 1985.
53. Orcasberro R; *Apuntes sobre nutrición de ovinos*, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Zootecnia, Chapingo México, Abril de 1983.
54. Pérez ALM; De Souza CS; Pérez HM; Martínez MA; Fernandez MG. Calcium soaps of olive fatty acids in the diets of Manchega dairy ewes: Effects on digestibility and production, 1997, 80: 3316-3324.
55. Pond WG, Church CD, Pond KR. *Fundamentos y alimentos de animales*. Ed. Uteha Wiley – Limusa; Segunda Edición, 2002

56. Pugh DG. Sheep and goat medicine, Ed. W.B Saunders Company, 2002.
57. Ramana RY, Krishna N, Raghava RE, Janardhana RT. Influence of dietary protected lipids on intake and digestibility of straw based diets in Deccani sheep. *Animal feed science and technology*, 2003. 1006: 29-38.
58. Roskoski, R. Bioquímica; Editorial McGraw-Hill Interamericana, 1998.
59. Rotunno T, Sevi A, Di Caterina R, Muscio A. Effects of graded levels of dietary rumen-protected fat on milk characteristics of Comisana ewes. *Small Ruminant Research* 1998, 30: 137-145.
60. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/indexovino.htm>
61. Salinas J; Ramirez RG, Domínguez MM, Reyes-Bernal N, Trinidad-Laraga, Montaño MF; Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and carcass characteristics of Pelibuey lambs; *Small Ruminant Research*, 2006, 66: 135-139
62. Santos ER, Ortiz SF, Santiago PC, Estrada CE, Villagómez AME. Grasa de sobrepeso y el amamantamiento sobre la eficiencia reproductiva y productiva en las vacas de doble propósito. *Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, XXVIII Congreso de Buiatria 2004.*
63. Scott TW, Ashes JR. Dietary lipids for ruminants: protection, utilization and effects on remodeling of skeletal muscle phospholipids. *Australian Journal of Agricultural research* 1993; 44(3): 495-508.
64. Shell LA, Dryden FD, Mata-Hernandez A, Hale WH; Protein protected fat for ruminants: III. Digestion and performance of lambs; *Journal of Animal Science*, 1978; 46: 1332-1337.
65. Shimada MA; *Nutrición animal*, Editorial Trillas 1ª edición, Enero del 2003.
66. Soriano TJ, *Alimentación intensiva de borregos y temas de producción, Memorias del II Curso Nacional de Actualización en Nutrición y alimentación de rumiantes*, Organizado por la asociación de personal académico del Instituto Nacional de investigaciones Pecuarias A. C. , pp 92-99. Toluca, México. Junio de 1984.
67. Sukhija PS, Palmquist DL. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. *Journal of dairy science* 1990; 73: 1784-1787

68. Trinidad LN, Salinas ChJ, Domínguez MM. Efecto en características de la canal (medida con ultrasonido) de distintos niveles de lípidos de baja biohidrogenación ruminal para ovinos en engorda. Asociación Mexicana de Médicos Especialistas en Bovinos; XXVIII Congreso Buiatria 2004.
69. Tisch D. Animal feeds, feeding and nutrition and ration evaluation. Thomsom Delmar Corporation, 2006.
70. Towne G, Nagaraja TG, Brandt RT, Kemp KE. Ruminal ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without supplemental fat. *Journal Animal Science* 1990; 68: 2150- 2155.
71. Wallace RJ. Ruminal microbiology, biotechnology, and ruminant nutrition: progress and problems. *Journal animal science*, 1994. 72: 2992-3003.
72. Weimer PJ. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *Journal animal science*, 1998. 76: 3114-3122.
73. Wood JD, Richardson GR, Nute GR et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review, 2003. 66: 21-32
74. Wynn RJ, Daniel ZCTR, Flux CL, Craigon J, Salter AM, Buttery PJ; Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Science*; 2006, 84: 3440-3450.