

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE GRASA PROTEGIDA POR MEDIO DE  
SAPONIFICACIÓN Y ENCAPSULADO PARA SU APLICACIÓN EN LA  
ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES**

**PEDRO GUERRERO RODRÍGUEZ**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial  
para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN ZOOTECNIA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre, 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE GRASA PROTEGIDAS POR MEDIO DE  
SAPONIFICACIÓN Y ENCAPSULADO PARA SU APLICACIÓN EN RUMIANTES

TESIS

POR:

PEDRO GUERRERO RODRÍGUEZ

Elaborada bajo supervisión del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN ZOOTECNIA

COMITÉ PARTICULAR:

Asesor principal: Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Asesor: Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez.

Asesor: Dr. Roberto García Elizondo

Asesor: Dr. Alberto Guerrero Rodríguez

Asesor: Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Asesor: Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Fernando Ruiz Zárate  
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre, 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por estar a mi lado en cada paso que se dio en el transcurso de esta etapa, por brindarme la oportunidad de culminar este ciclo de mi vida y por permitir la presencia de todas esas personas que siempre me han apoyado.

A mis padres nuevamente: Lucía Imelda Rodríguez Bustos y Alberto Guerrero Hernández, por sus sacrificios, apoyo incondicional, enseñanzas otorgadas a lo largo de mi vida y por su ejemplo diario.

A la Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez por compartir sus conocimientos, por su colaboración y por la confianza brindada en la elaboración de este proyecto.

A mi comité de asesores:

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez, Dr. Roberto García Elizondo, Dr. Alberto Guerrero Rodríguez, Dr. Mario Alberto Cruz Hernández, Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda, por compartir sus conocimientos y por su valiosa colaboración en la elaboración de este proyecto.

A Karina Castillo, por su ayuda, comprensión y paciencia durante el desarrollo de este proyecto, por ese apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.

A los laboratoristas, Laura Maricela Lara y Carlos Arévalo, ya que gracias a su colaboración y ayuda se realizaron los análisis químicos de las diferentes muestras generadas en esta investigación.

A mis hermanos, Mayra Yaneth, Miriam Berenice, Lucía Guadalupe, Alberto e Imelda Abigail, quienes me han brindado su cariño y comprensión.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres:**

Lucia Imelda Rodríguez Bustos y Alberto Guerrero Hernández, ya que cada uno de sus desvelos y sacrificios se ven reflejados en la culminación de este trabajo, por enseñarme con el ejemplo a cómo conducirme por la vida, y por alentarme dándome fortaleza para afrontar los retos de la vida.

### **Y especialmente a Dios.**

Por no soltarme nunca de su mano, por darme la oportunidad de existir y por las personas que ha puesto a mi lado.

## COMPENDIO

# OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE GRASA PROTEGIDA POR MEDIO DE SAPONIFICACIÓN Y ENCAPSULADO PARA SU APLICACIÓN EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

## TESIS

POR:

**PEDRO GUERRERO RODRÍGUEZ**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ZOOTECNIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre 2013**

**Dra. Ana Verónica Chales Rodríguez –Asesor-**

**Palabras clave:** grasa, encapsulado, saponificación, digestibilidad, sobrepeso, rumiante.

En toda unidad de producción pecuaria (intensivas), es constante la búsqueda de un mejoramiento en la eficiencia alimenticia, partiendo de que este rubro representa alrededor de un 70% de los costos totales de producción, es indispensable encontrar nuevas estrategias de alimentación que impacten en una mejor eficiencia biológica y económica. A pesar de la disponibilidad, bajo costo, y a las diversas propiedades nutricionales encontradas en algunos ingredientes que potencialmente pudieran influir en los aspectos antes mencionados, estos no se están aprovechando de manera óptima.

En este sentido, la grasa animal representa un aspecto básico para una buena alimentación y un adecuado proceso metabólico, sin embargo, la solubilidad de ácidos grasos y componentes de triglicéridos incluidos en la grasa utilizada en la alimentación animal, llegan a tener efecto negativo sobre los microorganismos del rumen, por lo cual, este ingrediente no debe suministrarse en grandes cantidades. Es por esto que se hace indispensable desarrollar nuevos mecanismos de ingesta de la misma, buscando lograr una máxima asimilación, con un máximo de productividad resultante y con un mínimo de riesgos de trastornos fisiológicos y metabólicos.

Dado que, este problema puede evitarse mediante la creación de productos que permitan suministrar la grasa pura, y que a través de un proceso se evite su metabolismo a nivel ruminal, es decir, que sean inertes al ataque microbiano y al pH del mismo, se propone como una alternativa, la creación de productos lipídicos que evadan la degradación en este nivel del sistema digestivo. Por lo anterior, se llevó a cabo un estudio con el objetivo de obtener y evaluar productos que sean inertes a nivel rumen y que soporten el ataque de microorganismos presentes en este nivel anatómico. En base a esto y a efecto de probar la hipótesis de que el uso de grasa animal procesada por medio de la saponificación y el encapsulado mejora los coeficientes de digestibilidad en rumiantes, se elaboraron tres dietas integrales basadas en los requerimientos nutricionales de los animales, entre las cuales, la única fuente de variación, fue el proceso aplicado a la principal fuente lipídica (sebo de res), la cual se incluyó en un 5% en base al total de la dieta. La distribución de los tratamientos se dio de la siguiente forma: el tratamiento uno (T1) se aplicó como testigo y se incluyó la grasa de manera convencional, para el tratamiento dos (T2) la grasa se sometió a un proceso de saponificación (a base de NaOH), y para el tratamiento tres (T3) se aplicó un recubrimiento comestible, elaborado en base a mucilago de chíca (*Salvia hispánica*). Se realizó un experimento de digestibilidad *in vivo* con 5 ovinos machos de la raza charolais. La prueba tuvo una duración total de 36 días, la cual estuvo dividida en tres etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que seis días se destinaban para el periodo de adaptación y seis para el periodo de

prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron la misma relación en tipo y cantidad de ingredientes. Los resultados arrojados por esta investigación son los siguientes: los coeficientes de digestibilidad de la PC, FC, y del EE presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), mostrando los valores más elevados para el tratamiento tres (encapsulado). Lo anterior provocó aumentos ( $P < 0.05$ ) sobre la digestión global de la MS, siendo los valores más altos, cuando la grasa se incluyó en la dieta de forma encapsulada. Los parámetros energéticos no fueron alterados con la adición de las grasas procesadas ( $P > 0.05$ ). Para los coeficientes de balance de nitrógeno si se mostro una variación significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, de igual forma, siendo el tratamiento tres el que mostro un balance más eficiente. La inclusión de grasa de sobrepaso en la alimentación de rumiantes, favorece la eficiencia alimenticia, influye de manera positiva sobre los valores de digestibilidad, es decir, se reducen los efectos negativos en el metabolismo animal en comparación con la inclusión de grasa en forma convencional.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>   | 1  |
| 1.1 Justificación  | 1  |
| 1.2 Objetivo general   | 2  |
| 1.2.1 Objetivos específicos  | 2  |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>  | 3  |
| 2.1 Uso de grasa en rumiantes  | 3  |
| 2.1.1 Formas de presentación de lípidos en la dieta  | 4  |
| 2.1.1.1 Triglicéridos  | 4  |
| 2.1.1.2 Glicolípidos   | 5  |
| 2.1.1.3 Fosfolípidos   | 5  |
| 2.2 Metabolismo de lípidos en rumiantes  | 7  |
| 2.2.1 Absorción intestinal de lípidos  | 10 |
| 2.2.2 Influencia del metabolismo lipídico en el balance energético                                 | 11 |
| 2.3 Sebo o grasa animal  | 13 |
| 2.3.1 Calidad de la grasa  | 13 |
| 2.3.2 Tipo de grasa  | 13 |
| 2.4 Grasa de sobrepaso   | 14 |
| 2.5 Técnicas para la desviación ruminal de las grasas  | 17 |
| 2.5.1 Sales cálcicas de ácidos grasos (Saponificación)   | 18 |
| 2.5.1.1 Lípidos saponificables e insaponificables  | 19 |
| 2.5.1.2 Parámetros de saponificación   | 20 |
| 2.5.1.2.1 Índice de saponificación   | 20 |
| 2.5.1.2.2 Índice de Yodo   | 20 |
| 2.5.1.3 Efecto del tratamiento de la saponificación de las grasa<br>sobre el metabolismo digestivo | 20 |
| 2.5.1.4 Efecto de la inclusión de NaOH en el medio ruminal   | 21 |
| 2.5.2 Encapsulado de grasa   | 22 |
| 2.5.2.1 Antecedentes   | 22 |
| 2.5.2.2 Antecedentes de la grasa encapsulada en alimentación<br>de rumiantes                       | 23 |
| 2.5.2.3 Películas y recubrimientos comestibles   | 24 |
| 2.5.2.3.1 Películas comestibles  | 24 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.2.3.2 Recubrimientos comestibles             | 24        |
| 2.6 Materiales de encapsulado                    | 25        |
| 2.6.1 Pectina                                    | 26        |
| 2.6.2 Mucilago                                   | 26        |
| 2.6.3 Glicerol                                   | 26        |
| 2.7 Métodos generales de encapsulado             | 27        |
| 2.7.1 Secado por aspersion                       | 27        |
| 2.7.2 Aspersion por enfriamiento o congelamiento | 28        |
| 2.7.3 Extrusion                                  | 29        |
| 2.7.4 Cobertura por inmersion                    | 29        |
| 2.7.5 Cobertura por lecho fluidizado             | 29        |
| 2.7.6 Encapsulado en liposomas                   | 30        |
| 2.7.7 Inclusión de complejos                     | 31        |
| 2.7.8 Coacervación                               | 32        |
| 2.7.9 Polimerización interfacial                 | 33        |
| 2.8 Métodos de liberación                        | 34        |
| 2.9 Ventajas del encapsulado                     | 34        |
| 2.10 Panorama actual y limitaciones              | 35        |
| 2.11 Hipótesis                                   | 35        |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>                 | <b>36</b> |
| 3.1 Descripción del área de estudio              | 36        |
| 3.2 Prueba de alimentación                       | 36        |
| 3.3 Alimentación                                 | 37        |
| 3.4 Instalaciones y equipo                       | 37        |
| 3.5 Recolección de heces y orina                 | 38        |
| 3.6 Tratamientos                                 | 38        |
| 3.6.1 Tratamiento 1                              | 39        |
| 3.6.2 Tratamiento 2                              | 39        |
| 3.6.3 Tratamiento 3                              | 39        |
| 3.6.3.1 Preparación del mucilago                 | 39        |
| 3.6.3.2 Estandarización del método               | 40        |
| 3.7 Análisis de muestra                          | 40        |
| 3.8 Variables del experimento                    | 41        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.9 Cálculo de variables   | 41        |
| 3.9.1 Cálculo para determinar los coeficientes de digestibilidad | 42        |
| 3.9.2 Valoración energética                                      | 42        |
| 3.9.2.1 Cálculo de nutrientes digestibles totales (NDT)          | 42        |
| 3.9.2.2 Cálculo de ED, EM, ENm, ENg                              | 42        |
| 3.9.2.3 Cálculo de balance de N                                  | 43        |
| 3.10 Análisis estadístico  | 43        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                                | <b>44</b> |
| 4.1 Comportamiento de los coeficientes de digestibilidad         | 44        |
| 4.2 Evaluación del contenido energético                          | 55        |
| 4.3 Comportamiento de los coeficientes de balance de N           | 58        |
| <b>V. CONCLUSIÓN</b>   | <b>61</b> |
| <b>VI. RESUMEN</b>   | <b>63</b> |
| <b>VII. LITERATURA CITADA</b>                                    | <b>65</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 2.1.-</b> Ácidos grasos en alimentos usados comúnmente (Wattiaux, 2005).   | 6  |
| <b>Cuadro 2.2.-</b> Efecto del uso de grasa y proteína sobrepasante en bloques multinutricionales sobre el consumo voluntario de ovinos mestizos (Dean <i>et al.</i> , 1999).  | 17 |
| <b>Cuadro 2.3.</b> Tipos de coberturas utilizadas en micro encapsulado (Yáñez <i>et al.</i> 2005).   | 23 |
| <b>Cuadro 3.1.-</b> Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración de la dieta.   | 37 |
| <b>Cuadro 3.2.-</b> Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.  | 38 |
| <b>Cuadro 4.1.</b> Consumo diario de materia seca (CMS) y coeficientes de digestibilidad de los componentes de la dieta para ovinos alimentados con grasa animal tratada con diferentes procesos.                                | 46 |
| <b>Cuadro 4.2.-</b> Concentración de ácidos grasos después de la degradación   | 50 |
| <b>Cuadro 4.3.</b> Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con grasa animal tratada con diferentes procesos.   | 56 |
| <b>Cuadro 4.4.</b> Coeficientes de Balance de Nitrogeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con grasa animal tratada con diferentes procesos. | 58 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1.-</b> Estructura básica de los triglicéridos. Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena de carbonos de longitud y saturación variable (Wattiaux, 2005). | 5  |
| <b>Figura 2.2.-</b> Estructura básica de un glicolípido (Esfingosina), en este caso el ácido graso es reemplazado por una galactosa (Cuvelier <i>et al.</i> , 2004).             | 5  |
| <b>Figura 2.3.-</b> Estructura básica de un fosfolípido (lectina), en este caso el ácido graso es reemplazado por un grupo fosfato (Cuvelier <i>et al.</i> , 2004).              | 6  |
| <b>Figura 2.4.</b> Proceso de hidrólisis de lípidos a nivel ruminal (Nava y Díaz, 2001).   | 9  |
| <b>Figura 2.5.</b> Metabolismo de lípidos en rumiantes (Wattiaux, 2005).   | 12 |
| <b>Figura 2.6.-</b> Saponificación de un triglicérido (Bailón, 2009).  | 19 |
| <b>Figura 2.7.-</b> Clasificación de lípidos (Espinoza, 2011)  | 20 |
| <b>Figura 4.1.-</b> Comportamiento del coeficiente de digetibilidad de la MS en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.           | 47 |
| <b>Figura 4.2.-</b> Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.                                       | 48 |
| <b>Figura 4.3.-</b> Comportamiento del coeficiente de digetibilidad de EE en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.              | 49 |
| <b>Figura 4.4.-</b> Comportamiento del coeficiente de digetibilidad de PC en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.              | 52 |
| <b>Figura 4.5.-</b> Comportamiento del coeficiente de digetibilidad de FC en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.              | 57 |
| <b>Figura 4.6.</b> Comportamiento de los valores de NDT de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, incluyendo grasa animal,   | 57 |

tratada con diferentes procesos.

**Figura 4.7-** Comportamiento de los valores de ED de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, incluyendo grasa animal, tratada con diferentes procesos.

59

**Figura 4.8.-** Coeficientes de balance de Nitrogeno en ovinos alimentados con grasa animal tratada con distintos procesos.

60

## **I. INTRODUCCIÓN**

El afán permanente por la disminución de costos de producción, el mejoramiento en la calidad de los productos y la búsqueda de una mejor eficiencia en la utilización de insumos así como en una mejor eficacia alimenticia, para lograr finalmente una competitividad comercial, han llevado a buscar alternativas permanentes en la alimentación y nutrición animal. Es por eso que el tema del uso de la grasa como fuente de energía en rumiantes representa una opción que permite impactar sobre los aspectos antes mencionados.

Dado que la solubilidad de ácidos grasos y componentes de triglicéridos incluidos en la grasa utilizada en la alimentación animal, llegan a tener efecto negativo sobre los microorganismos del rumen, no deben suministrarse en grandes cantidades. Este problema puede evitarse mediante la creación de productos que permitan suministrar la grasa pura, y que a través de un recubrimiento externo se evite su metabolismo a nivel ruminal es decir, que sean inertes al ataque microbiano y al pH del mismo, facilitando el paso de el compuesto lipídico a la parte baja del sistema digestivo del animal, promoviendo así, una eficiencia en la utilización de los nutrientes.

### **1.1 Justificación**

Teniendo claro que el consumo de grasas es básico para una buena alimentación y un adecuado proceso metabólico, se hace indispensable desarrollar mecanismos de ingesta de la misma, buscando lograr una máxima asimilación, con un máximo de productividad resultante y con un mínimo de riesgos de trastornos fisiológicos y metabólicos del animal (Preston y Leng, 1990). Dada las condiciones anteriores, es importante

profundizar sobre la utilización de la grasa de sobrepaso, ya que resumiendo, se disminuye los efectos adversos en el metabolismo animal en comparación con la inclusión de grasa en forma directa, se favorece la eficiencia alimenticia, lo cual a fin de cuentas se ve reflejado en el aspecto económico.

## **1.2 Objetivo general**

Determinar el efecto de la inclusión de “grasa protegida” en alimentación de ovinos y proporcionar información que favorezca la utilización de dichos ingredientes (estandarización de un método para la elaboración de grasa protegida).

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar químicamente la dieta utilizada.
- Evaluar la degradación de la grasa tratada con saponificación y encapsulado mediante pruebas *in vivo* (prueba de digestibilidad) en ovinos.
- Estandarizar del método de encapsulado en la obtención de grasas protegidas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Uso de grasa en rumiantes

Las grasas forman parte de un grupo de moléculas orgánicas llamadas lípidos, los cuales cumplen muchas funciones en el organismo animal, que van desde funciones estructurales (formando parte de las membranas celulares), funciones hormonales (algunas hormonas son de naturaleza lipídica: estradiol, progesterona, testosterona, entre otras) funciones inmunológicas, algunas vitaminas (A, D, E y K) son de naturaleza lipídica (Jenkins, 2004).

Tanto los aceites como las grasas, pertenecen al grupo de los lípidos, la diferencia consiste en que los primeros son líquidos a temperatura ambiente, mientras que las grasas son sólidas. Asimismo, las grasas generalmente son de origen animal (sebos), mientras que la mayoría de los aceites son de origen vegetal (excepto el aceite de pescado). Las grasas poseen altos niveles de ácidos grasos saturados, mientras que los aceites contienen una mayor cantidad de ácidos grasos poli-insaturados (Hernández y Díaz, 2011).

Las grasas, debido a su alta concentración energética, permiten aumentar en forma considerable la densidad calórica de los suplementos, indispensable en animales que se encuentren en fases fisiológicas de elevadas exigencias nutricionales (lactancia, crecimiento, último tercio de gestación, etc.) (Church, 1993). En este sentido, la combustión completa de un gramo de grasa produce alrededor de 9.45 Kcal de energía neta, mientras que un carbohidrato típico genera alrededor de 4.4 Kcal. Por lo que, los lípidos en general aportan 2.25 veces más energía que las fuentes tradicionales de la misma. Pero no solo es importante considerar el aporte

energético de las grasas en la dieta, sino también por las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales que aportan (Jenkins, 2004).

Las grasas y aceites poseen limitaciones al momento de ser incorporados en la alimentación de los rumiantes. En este sentido, se ha reportado que niveles > 5% de la materia seca producen disminución del consumo. Al respecto, Jenkins (1993) y Palmquist (1996) mencionan algunas de las posibles maneras de cómo las grasas pueden reducir el consumo:

- Menor utilización de la fracción fibrosa por parte de los microorganismos del rumen, lo cual se atribuye entre otros factores, a la formación de una película de grasa que aísla la superficie de la fibra, previniendo de esta manera el ataque enzimático y bacteriano, por lo que se afecta el proceso fermentativo.
- Disminución de la actividad microbiana por absorción de la grasa a la superficie de la membrana bacteriana.
- Eliminación de una fracción de la población microbiana, por posibles efectos tóxicos de algunos ácidos grasos poli-insaturados, especialmente sobre las bacterias celulolíticas.

## **2.1.1 Formas de presentación de lípidos en la dieta**

### **2.1.1.1 Triglicéridos**

Los triglicéridos se encuentran principalmente en los granos de cereales, semillas oleaginosas y grasas de origen animal. La estructura básica de los triglicéridos consiste de una unidad de glicerol (un azúcar de tres carbonos) y tres unidades de ácidos grasos (figura 2.1) (Wattiaux, 2005).

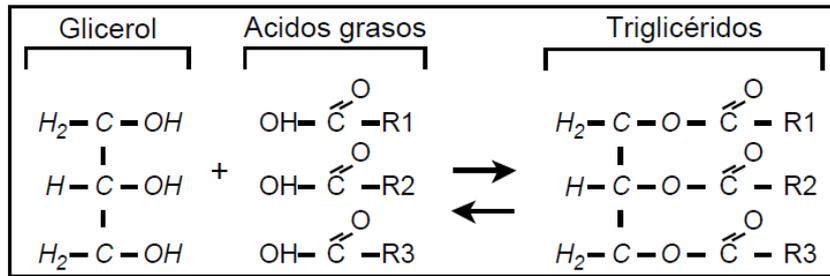


Figura 2.1.- Estructura básica de los triglicéridos. Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena de carbonos de longitud y saturación variable (Wattiaux, 2005).

### 2.1.1.2 Glicolípidos

Los glicolípidos son una segunda clase de lípidos encontrados en los alimentos (figura 2.2). Tienen una estructura parecida a los triglicéridos con la excepción que uno de los tres ácidos grasos ha sido reemplazado por un azúcar (usualmente galactosa) (Wattiaux 2005).

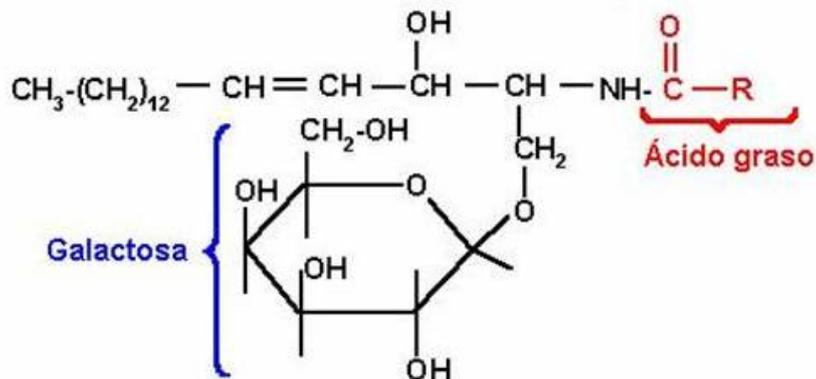


Figura 2.2.- Estructura básica de un glicolípidio (Esfingosina), en este caso el ácido graso es reemplazado por una galactosa (Cuvelier *et al.*, 2004).

### 2.1.1.3 Fosfolípidos

Cuando uno de los ácidos grasos está reemplazado con un fosfato ligado a otra estructura compleja, el lípido se llama fosfolípido (figura 2.3). Los fosfolípidos son componentes menores en los alimentos, encontrados principalmente en las bacterias del rumen (Wattiaux, 2005).

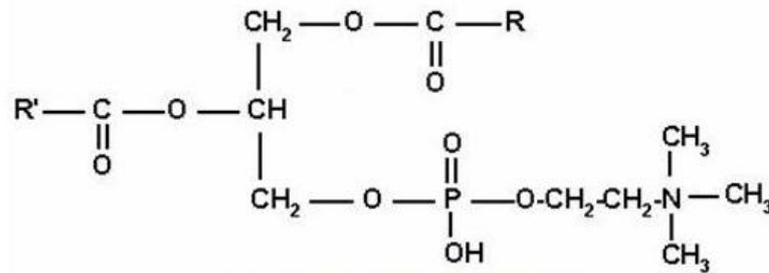


Figura 2.3.- Estructura básica de un fosfolípido (lectina), en este caso el ácido graso es reemplazado por un grupo fosfato (Cuvelier *et al.*, 2004).

Los ácidos grasos encontrados en los lípidos de las plantas varían de 14 a 18 carbonos (cuadro 2.1). El punto de fusión determina si el lípido estará en forma líquida o sólida a temperatura ambiente. El punto de fusión depende principalmente del grado de saturación y en menor grado de la longitud de la cadena de carbonos (Wiseman, 1984).

Cuadro 2.1.- Ácidos grasos en alimentos usados comúnmente (Wattiaux, 2005).

| Nombre común                    | Estructura  | Abreviación* | Punto de fusión (°C) |
|---------------------------------|---|--------------|----------------------|
| ..... Acidos saturados .....    |   |              |                      |
| Mirístico                       | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> -COOH   | (C14:0)      | 54                   |
| Palmitico                       | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -COOH   | (C16:0)      | 63                   |
| Estearico                       | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -COOH   | (C18:0)      | 70                   |
| ..... Acidos no-saturados ..... |   |              |                      |
| Palmitoleico                    | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH                               | (C16:1)      | 61                   |
| Oleico                          | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH                               | (C18:1)      | 13                   |
| Linoleico                       | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH        | (C18:2)      | - 5                  |
| Linolenico                      | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH | (C18:3)      | -11                  |

\* El primer número indica el número total de carbón y el segundo el de enlaces dobles en la molécula.

Los lípidos de plantas típicamente contienen 70 a 80% de ácidos grasos no saturados y tienden a quedarse en un estado líquido (aceites). Por otro lado, las grasas de origen animal contienen 40-50% de ácidos grasos saturados y tienden a quedarse en un estado sólido (grasas). El grado de saturación tiene un efecto marcado en el modo de digestión por los animales

y en el caso del rumiante, presenta una relación con el grado de fermentación de carbohidratos en el rumen (Wattiaux, 2005).

## 2.2 Metabolismo de lípidos en rumiantes

De forma desglosada, son cuatro los procesos que ocurren a nivel ruminal con los lípidos: hidrólisis, biohidrogenación, síntesis y saponificación de ácidos grasos. De estos cuatro procesos, la hidrólisis, luego la biohidrogenación y por último la saponificación, se realizan siempre y en forma sucesiva. El proceso de síntesis de grasas a nivel ruminal depende de la cantidad de ácidos grasos consumidos (Relling y Mattioli, 2003).

Los microorganismos ruminales modifican sustancialmente los lípidos consumidos. El primer paso de la digestión de las grasas en el rumen consiste en procesos de hidrólisis por lipasas bacterianas, ubicadas en la superficie de los microorganismos, por lo cual las bacterias necesitan adherirse a la superficie del alimento. Como principales productos de la hidrólisis se liberan ácidos grasos y glicerol, sumados a alcoholes aminados derivados de los fosfolípidos y galactosa de los galactolípidos. Estos últimos junto con el glicerol son metabolizados y convertidos en ácidos grasos volátiles, que se absorben por la pared ruminal (Mattos *et al.*, 2000).

A continuación, los ácidos grasos insaturados sufren un proceso de hidrogenación microbiana, o biohidrogenación (adición de H a los ácidos grasos), especialmente por bacterias adheridas al alimento (Mattos *et al.*, 2000). Esto se debe por un lado a que los ácidos grasos al ser moléculas bipolares disminuyen la digestibilidad de los alimentos, ya que los extremos hidrofílicos se adhieren al alimento dejando expuestos los extremos hidrofóbicos, lo que dificulta el acceso de las enzimas digestivas bacterianas (Relling y Mattioli, 2003).

Por otro lado, los ácidos grasos insaturados alteran la tensión superficial y la permeabilidad de las membranas bacterianas, perjudicando especialmente a la flora celulolítica. Esta hidrogenación no es completa,

afecta entre el 70 y el 90 % de los ácidos grasos y queda un remanente que en parte es incorporado al propio microorganismo, pasando a ser una fuente de ácidos grasos esenciales e insaturados para el rumiante al ser absorbidos en el intestino (Hernández *et al.*, 2010). La biohidrogenación lleva varios pasos bioquímicos, como se mencionó anteriormente, en ocasiones este proceso no es completo quedando productos intermedios, de los cuales algunos tienen funciones metabólicas en los animales (Relling y Mattioli, 2003).

El porcentaje de hidrogenación es en relación con la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados que lleguen al rumen y del pH ruminal. A mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, menor va a ser la proporción de biohidrogenación. Cuando más bajo es el pH ruminal, mayor es la inhibición del crecimiento de las bacterias encargadas de la biohidrogenación, sobretodo del grupo que realiza el último paso (de 18:1 a 18:0), quedando de esa forma mayor cantidad de metabolitos intermedios (Mattos *et al.*, 2000).

La biohidrogenación resulta también útil al inactivar ciertos compuestos tóxicos como alcaloides, fenoles y estrógenos vegetales, y representa para el organismo un ahorro de vitamina E, encargada de proteger a los ácidos grasos insaturados de los procesos oxidativos (Relling y Mattioli, 2003).

Debido al pH del rumen, los lípidos se saponifican formando jabones insolubles de calcio y de magnesio, y esta es la forma como el 70 a 80 % de los lípidos abandonan el rumen. El resto de los lípidos llegan al abomaso como fosfolípidos, especialmente de origen microbiano (Relling y Mattioli, 2003).

Los microorganismos ruminales no almacenan lípidos como triglicéridos, pero deben sintetizar sus membranas plasmáticas para lo cual emplean ácidos grasos que toman del rumen o bien que sintetizan en su estructura, creando así una variedad de ácidos grasos, algunos de ellos de

cadenas impares y ramificadas, los cuales al reciclarse en el rumen por muerte bacteriana representan un factor de crecimiento importante para otros microorganismos, y una vez absorbidos pueden seguir alguna vía común a los demás ácidos grasos (Mattos *et al.*, 2000).

La cantidad de ácidos grasos sintetizados por las bacterias dependen de la cantidad que ingrese por la dieta, disminuyendo a medida que aumenta su cantidad (figura 2.4). Los lípidos representan del 10 al 15 % de la materia seca bacteriana, sumando 100 a 150 gramos diarios a los lípidos aportados por la dieta (Zamora, 2010).

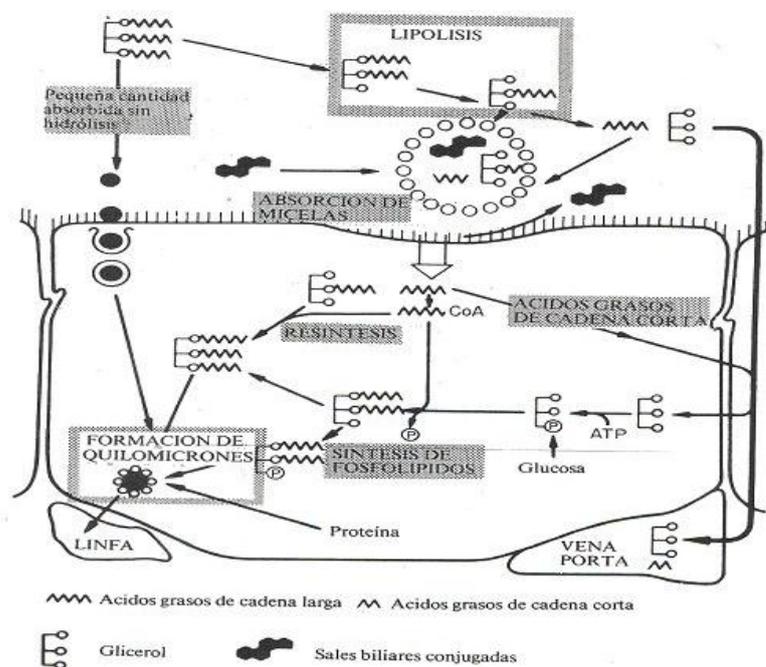


Figura 2.4. Proceso de hidrólisis de lípidos a nivel ruminal (Nava y Díaz, 2001).

Los ácidos grasos libres en el rumen tienden a ligarse a partículas de alimentos y microbios y prevenir más fermentación, especialmente de los carbohidratos fibrosos. Los lípidos no saturados tienen un mayor impacto (negativo) que los lípidos saturados (Zamora, 2010). Aun así, los lípidos pueden ser “protegidos” para reducir su tasa de hidrólisis y hacerles menos reactivos en el rumen.

La mayoría de los lípidos que salen del rumen son ácidos grasos saturados (85- 90%) principalmente en la forma de ácidos palmíticos y

esteáricos ligados a partículas de alimentos y microbios y el porcentaje restante corresponde a los fosfolípidos microbianos (10-15%) (Wattiaux, 2005).

### **2.2.1 Absorción intestinal de lípidos**

En los rumiantes, la mayor parte de la grasa llega al intestino en forma de ácidos grasos no esterificados, altamente insaturados y ligados de forma no iónica en un complejo insoluble a la materia particulada. El intestino delgado es responsable, por consiguiente de todos los lípidos de cadena larga (Byers y Schelling, 1993).

Los ácidos grasos (AG) se absorben por dos mecanismos diferentes, dependiendo de su estado de disociación. Cuando se encuentran en su forma no disociada y por lo tanto liposoluble, son absorbidos por difusión simple a través de la membrana luminal. Cuando los AG se encuentran disociados la capa de hidratación les quita liposolubilidad y les aumenta el diámetro, impidiéndoles difundirse por la membrana celular, por lo cual deben ser contra transportados con bicarbonato intracelular (Wattiaux, 2005).

Los fosfolípidos microbianos son digeridos en el intestino delgado y allí contribuyen a formar la masa total de ácidos grasos procesados y absorbidos a través de la pared del intestino. La bilis, secretada por el hígado, junto con las secreciones pancreáticas (ricas en enzimas y bicarbonato) se mezclan con el contenido del intestino delgado.

Estas secreciones son esenciales para preparar los lípidos para absorción, formando partículas mezclables con agua que pueden entrar las células intestinales (Wattiaux, 2005).

En las células intestinales una porción importante de ácidos grasos son ligados con glicerol (proveniente de la glucosa de la sangre) para formar triglicéridos. Los triglicéridos, algunos ácidos grasos libres, colesterol y otras sustancias relacionadas con lípidos son cubiertos con proteínas para formar

lipoproteínas ricas en triglicéridos, también llamados lipoproteínas de baja densidad (Salvador, 2009).

Las lipoproteínas ricas en triglicéridos entran a los vasos linfáticos y de allí pasan al canal torácico y así llegan a la sangre. En contraste a la mayoría de nutrientes absorbidos en el tracto gastrointestinal los lípidos absorbidos no van al hígado sino que entran directamente a la circulación general. Así los lípidos absorbidos pueden ser utilizados por todos los tejidos del cuerpo sin ser procesados por el hígado (Wattiaux, 2005).

### **2.2.2 Influencia del metabolismo lipídico en el balance energético.**

Los ácidos grasos pueden tener diferentes destinos o usos metabólicos. Pueden cumplir una función estructural como fosfolípidos de membrana, pueden formar parte de un sistema de segundo mensajero como en el caso del fosfatidilinositol, pueden ser usados en la síntesis de prostaglandinas (Hernández y Díaz, 2011). Sin embargo, el metabolismo lipídico se asocia especialmente al metabolismo energético en el animal (figura 2.5). Esto es debido, por un lado, a que aporta por unidad de peso el doble de energía que las proteínas o los hidratos de carbono, y por otro lado porque se puede almacenar en poco espacio, gracias a su baja concentración de agua. El otro depósito de energía alternativo para el organismo es el glucógeno, pero éste fija tres partes de agua por cada una de glucógeno almacenado. Es por lo expuesto que los lípidos son sintetizados y depositados (lipogénesis) o degradados (lipólisis) en respuesta al balance energético del animal (Bach, 2001).

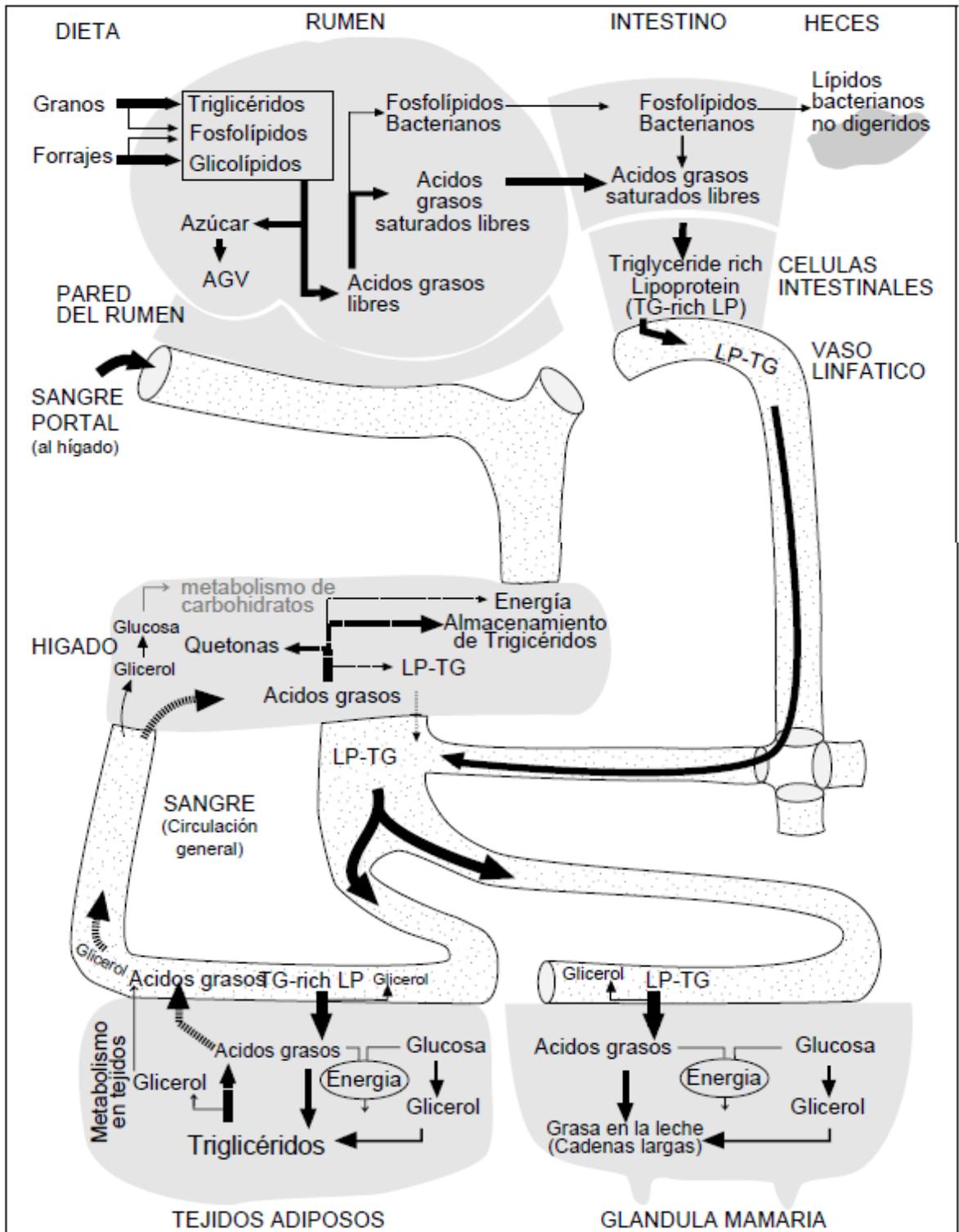


Figura 2.5. Metabolismo de lípidos en rumiantes (Wattiaux, 2005).

## **2.3 Sebo o grasa animal**

El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras, mayormente de ganado vacuno. Este tipo de grasa se caracteriza por una mayor uniformidad, además de presentar un alto punto de fusión ( $>40^{\circ}\text{C}$ ) y un menor contenido de humedad e impurezas ( $<1,5\%$ ) así como de ácidos grasos libres, en comparación con otras fuentes de grasas (Brandt y Anderson, 1990; Zinn y Plascencia, 2004b).

### **2.3.1 Calidad de la grasa**

La calidad de la grasa depende del contenido de ácidos grasos libres, humedad, color, olor y dureza. La grasa animal está sujeta a la oxidación y cuando ello ocurre se da un proceso de enranciamiento, lo cual reduce su palatabilidad y puede ser causa de problemas nutricionales y digestivos. De manera que la grasa utilizada en la alimentación animal debe ser resistente a la oxidación, recomendándose adicionar sustancias antioxidantes como el tocoferol, ácido cítrico, entre otros, especialmente si el alimento no va a ser administrado totalmente y será almacenado por cierto tiempo (Acurero, 1999).

El uso de antioxidantes protege contra la pérdida de algunas vitaminas como por ejemplo la vitamina E. La grasa animal también debe estar libre de sustancias tóxicas e indeseables, ya que se hace inestable y aumenta su reacción con los metales (Acurero, 1999).

### **2.3.2 Tipos de grasa**

El tipo de grasa utilizada influye en la asimilación de los nutrientes, en la producción, en la aceptabilidad del alimento y en la composición de la leche. El factor más importante es el grado de saturación. Las grasas insaturadas son menos deseables, debido a sus efectos inhibitorios sobre la actividad microbiana ruminal y la digestión de la fibra. Los aceites vegetales contienen más grasa insaturada, y por lo tanto son menos satisfactorios

como suplementos alimenticios que la grasa animal. Por otra parte, el alto costo de estos aceites lo hacen prohibitivos en raciones para animales y su uso está destinado principalmente a la fabricación de margarinas, aceites comestibles, pinturas y otros productos industriales (Acurero, 1999).

## **2.4 Grasa de sobrepaso**

Una de las características esenciales del proceso digestivo en rumiantes corresponde a la capacidad fermentativa que tiene lugar en el complejo retículo-rumen. En estos compartimentos pero principalmente en el rumen se llevan a cabo una serie de procesos metabólicos en los que los microorganismos mediante vías fermentativas descomponen las macromoléculas del alimento y utilizan elementos solubles con el fin de proporcionar energía y de manera indirecta proteína al rumiante (Jenkins, 2004). Sin embargo, aunque la degradación ruminal parece ser el proceso de mayor impacto en rumiantes, existen componentes del alimento tales como proteína, carbohidratos, aminoácidos, grasas y algunas vitaminas que pueden evadir este proceso, a dichos nutrientes se les asigna el nombre de nutrientes de sobrepaso por lo que su digestión y metabolismo se lleva a cabo principalmente en la parte baja del sistema digestivo (Ojeda y Escobar, 1994).

Nuevas tecnologías han generado grasas modificadas químicamente, que permiten su utilización en mayores niveles y con una menor interacción a nivel ruminal, reduciendo los efectos deletéreos de los lípidos sobre la actividad del rumen. Este tipo de grasas son conocidas como “grasas sobrepasantes”, grasas inertes, *by-pass*, o grasas protegidas. Al respecto, Jenkins (2004) define las grasas inertes como aquellas que han sido diseñadas específicamente para tener muy poco, o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad de los alimentos en rumiantes. A menudo, las grasas sobrepasantes son sales de calcio carboxiladas (jabones cálcicos), ácidos grasos saturados o grasas hidrogenadas.

Palmquist y Jenkins (1980) y Escobar (1994) plantean que los efectos negativos sobre la digestibilidad de la fibra, derivados de la inclusión de grasas a niveles superiores al 5% de la ración pueden ser minimizados con el empleo de "grasas protegidas" de la fermentación ruminal, los cuales son materiales grasos tratados con el fin de hacerlos inertes en el medio ruminal, y de esta manera evitar efectos depresivos sobre la utilización de materiales fibrosos. Los mismos autores sostienen que los métodos más promisorios en términos técnico-económicos para la protección de las grasas se basan en la adición de 1 a 2% de Ca, para formar jabones insolubles de ácidos grasos, con lo cual se generan materiales insolubles en el rumen (pH 6 a 7), pero que sean solubilizados y absorbidos a su arribo al duodeno (pH 2 a 4).

En el mismo contexto, Staples *et al.*, (1998) sostiene que la utilización de los jabones cálcicos permite la incorporación de un mayor nivel de ácidos grasos insaturados en la dieta de rumiantes. Esto es particularmente importante en el caso de los ácidos grasos esenciales ( $\omega$ -6 y  $\omega$ -3), los cuales no solo aportan un efecto energético *per se*, sino que pueden tener efectos específicos sobre el metabolismo de tejidos y órganos (Staples *et al.*, 1998). Generalmente el punto de fusión de las grasas *by-pass*, está por encima de 100 °C y la solubilidad se presenta a niveles de pH por debajo de 5,5. Estos valores de temperatura y de pH no se presentan normalmente en el rumen. Sin embargo, a nivel del abomaso y primera porción del duodeno los niveles de pH son mucho menores. Esto permite la disociación de la sal carboxilada, dejando disponibles los ácidos grasos para su absorción. Con base en lo anterior, Staples *et al.*, (1998) concluye que la suplementación de rumiantes con grasa sobrepasante genera un incremento en la disponibilidad de ácidos grasos insaturados a nivel intestinal, y por lo tanto, se puede incrementar la absorción de los mismos y su incorporación a los tejidos.

Por otro lado, Tamminga y Doreau (1993) sostienen que el efecto negativo de la adición de grasas en la dieta, es más pronunciado en ovejas y en ganado de carne que en ganado lechero, debido posiblemente a que las raciones para ganado lechero contienen mayores cantidades de Ca y Mg. La adición de elementos aglutinantes (cal o cemento) a las mezclas de

minerales, garantizan la presencia de cantidades relativamente elevadas de Ca para proteger a las grasas adicionadas de la acción de los microbios ruminales, ya que el contenido de este elemento en los mencionados aglutinantes es del orden del 75 al 85%, en forma CaO (Dean *et al.*, 1999).

Las grasas protegidas son un medio para incrementar el consumo diario de grasas por parte del rumiante. El rumen puede tolerar el incremento de los índices de grasas saturadas si se administran con frecuencia a lo largo del día, siendo la cantidad normal de hasta unos 650 g (Hernández y Díaz, 2011).

Las grasas protegidas permanecen inertes en el rumen y, sin embargo, son totalmente digeribles en el tracto inferior y se pueden emplear para cubrir el espacio existente entre los 650 g antes mencionados y el índice óptimo equivalente a un 16-20% del consumo total diario de energía. Tiene que conformarse con el proceso digestivo antes mencionado para que su empleo sea eficaz (Dean *et al.*, 1999).

Bajo el mismo contexto Dean *et al.*, (1999) señala que a pesar de los efectos benéficos que pudiera ejercer la adición de grasa sobrepasante sobre el consumo diario de energía, puede afectar de forma significativa principalmente en el consumo voluntario cuando se utilizan estos ingredientes en considerada proporción en dietas mixtas.

Dichas aseveraciones fueron confirmadas cuando el autor evalúa diferentes niveles de grasa y proteína sobrepasantes (T1=heno de *Cenchrus ciliaris*, a voluntad + bloque con 8% de grasa de sobrepaso, T2=heno a voluntad + bloque con 8 de grasa de sobrepaso + 12% de harina de carne, T3= heno a voluntad + bloque sin subproducto animal, T4= heno a voluntad + bloque con 12% de harina de carne). Los resultados de la investigación se presentan en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2.- Efecto del uso de grasa y proteína sobrepasante en bloques multinutricionales sobre el consumo voluntario de ovinos mestizos (Dean *et al.*, 1999).

| <b>Variable</b>                     | <b>T1</b>         | <b>T2</b>          | <b>T3</b>          | <b>T4</b>          |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Consumo Heno<br/>%PV (CRH)*</b>  | 1,64 <sup>b</sup> | 1,69 <sup>b</sup>  | 1,99 <sup>ab</sup> | 2,07 <sup>a</sup>  |
| <b>g/animal/día (CH)*</b>           | 264 <sup>ab</sup> | 241 <sup>b</sup>   | 305 <sup>a</sup>   | 313 <sup>a</sup>   |
| <b>Consumo Bloque<br/>%PV(CRB)*</b> | 1,78 <sup>a</sup> | 1,77 <sup>a</sup>  | 1,93 <sup>a</sup>  | 1,75 <sup>a</sup>  |
| <b>g/animal/día (CB)*</b>           | 2,91 <sup>a</sup> | 250 <sup>a</sup>   | 304 <sup>a</sup>   | 259 <sup>a</sup>   |
| <b>Consumo MS<br/>% PV (CRMS)*</b>  | 3,42 <sup>c</sup> | 3,46 <sup>bc</sup> | 3,92 <sup>a</sup>  | 3,83 <sup>ab</sup> |
| <b>g/animal/día (CMS)*</b>          | 555 <sup>a</sup>  | 514 <sup>b</sup>   | 609 <sup>a</sup>   | 572 <sup>a</sup>   |
| <b>Consumo MO<br/>%PV (CRMO)*</b>   | 2,88 <sup>b</sup> | 2,85 <sup>b</sup>  | 3,30 <sup>a</sup>  | 3,18 <sup>a</sup>  |
| <b>g/animal/día (CMO)*</b>          | 467 <sup>ab</sup> | 405 <sup>b</sup>   | 511 <sup>a</sup>   | 476 <sup>ab</sup>  |

\*Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05)

Como se puede apreciar en el cuadro 2.2, el tratamiento cuatro presento los valores más elevados, estadísticamente hablando, para la mayoría de las variables (consumo y ganancia de peso diaria), dicho de otra forma, el tratamiento en el que se incluyo heno y harina de carne solamente (sin grasa de sobrepaso), presento elevados parámetros de consumo, no así para el tratamiento uno (con grasa de sobrepaso), que presento una disminución en los valores. Esta situación pudiera explicarse desde el punto de vista de la eficiencia alimenticia, dado que, para el tratamiento cuatro el animal requiere consumir una mayor cantidad de alimento para satisfacer sus necesidades nutricionales, a comparación del tratamiento uno, en el que debido a que se está aportando un ingrediente altamente aprovechable por el animal (grasa de sobrepaso) con menor cantidad de alimento cubre sus requerimientos.

## **2.5 Técnicas para la desviación ruminal de las grasas**

La tecnología, ha imitado el principio de la semilla entera, encapsulando la grasa con un recubrimiento proteico que, a su vez, se ha

protegido contra la deshidratación en el rumen por medio de un tratamiento con formaldehído. Esto funciona bien en mezclas sueltas, pero las cápsulas se rompen a menudo durante la liberación de grasas del compuesto. Los procedimientos también resultaban caros, debido principalmente al uso de tecnología de secado por pulverizador. No obstante, actualmente existen productos basados en esta tecnología y son empleados con éxito en piensos compuestos para vacas lecheras y terneros (Wattiaux, 2005).

### **2.5.1 Sales cálcicas de ácidos grasos (Saponificación)**

Este tipo de grasa, en la que se produce una saponificación con calcio de los ácidos grasos, fue ensayado experimentalmente en 1982 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 la parte baja del sistema digestivo. Además, posee las ventajas adicionales de tener un alto grado de palatabilidad, 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 (Hernández y Díaz, 2011).

Se entiende por saponificación la reacción que produce la formación de sales sódicas (jabones). La principal causa es la disociación de las grasas en un medio alcalino, separándose glicerina y ácidos grasos. Estos últimos se asocian inmediatamente con los álcalis constituyendo las sales sódicas de los ácidos grasos: el jabón (figura 2.6). Esta reacción se denomina también desdoblamiento hidrolítico y es una reacción exotérmica (Mateos *et al.* 1996).

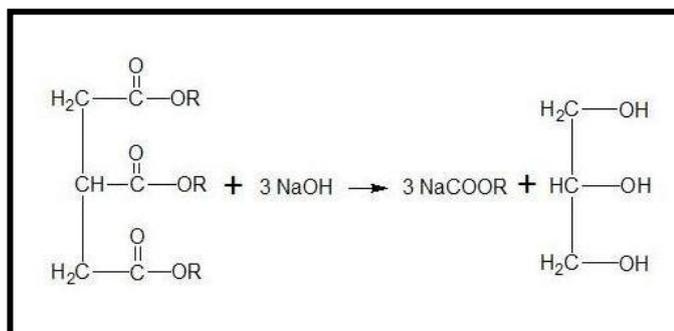


Figura 2.6.- Saponificación de un triglicérido (Bailón, 2009).

### 2.5.1.1 Lípidos saponificables e insaponificables

La clasificación de los lípidos siempre es problemática debido a la heterogeneidad que presenta este grupo respecto a sus características. Existen distintos tipos de clasificación, por ejemplo, cuando el punto central es resaltar su importancia biológica se clasifican de acuerdo a su estructura (ácidos grasos, acilglicéridos, ceras o céridos, fosfolípidos, esfingolípidos, esteroides etc.). De igual forma se clasifican de acuerdo a su polaridad (polar, no polar). En otras ocasiones, como es este caso, se clasifican de acuerdo al nivel de hidrólisis que potencialmente pueden sufrir (saponificables, no saponificables).

La principal diferencia entre los lípidos saponificables y los insaponificables estriba en que los primeros contienen ácidos grasos en su estructura molecular, mientras que los lípidos insaponificables carecen de ellos (figura 2.7) (Mateos *et al.*, 1996).

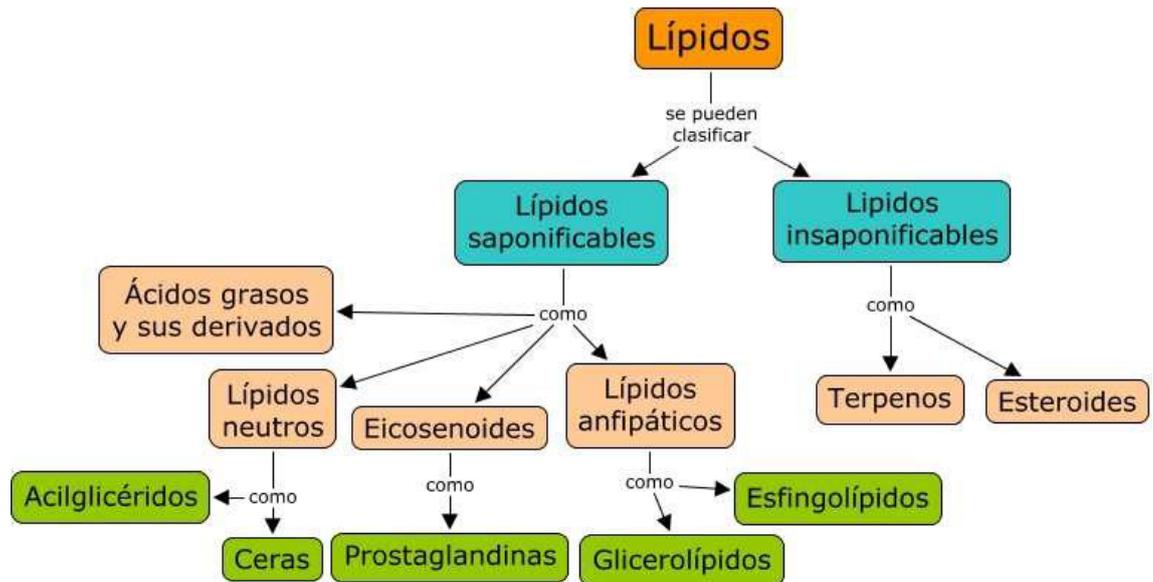


Figura 2.7-. Clasificación de lípidos (Espinoza, 2011)

## 2.5.1.2 Parámetros de saponificación

### 2.5.1.2.1 Índice de saponificación

El número de saponificación o índice de saponificación es el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar 1g de grasa bajo condiciones específicas. Es una medida para calcular el peso molecular promedio de todos los ácidos grasos presentes (Mateos *et al.* 1996)

### 2.5.1.2.2 Índice de Yodo

El índice de yodo de una grasa, permite determinar el grado de insaturación de un glicérido (el yodo se fija en los enlaces insaturados de las cadenas). Se define como: gramos de yodo que reaccionan con 100 gramos de sustancia lipídica (Mateos *et al.*, 1996).

### **2.5.1.3 Efecto del tratamiento de la saponificación de las grasas sobre el metabolismo digestivo**

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 (Wattiaux, 2005).

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 son del 93-96% (Wattiaux, 2005).

Es importante resaltar, que a través de la inclusión de grasas tratadas en dietas para la alimentación de rumiantes, es posible disminuir situaciones adversas que se presentan utilizando grasa de forma natural (problemas con la digestibilidad de la fibra, efectos tóxicos directos sobre poblaciones de microorganismos, efecto tensoactivo y reducción de la disponibilidad de cationes en el medio ruminal) (Ojeda y Escobar, 1994); además de que la protección a las grasas permite mantener condiciones de pH habituales en el rumen, de igual forma permite a la grasa pasar a través de él y ser liberada en el medio ácido de la parte baja del sistema digestivo, promoviendo así una absorción directa en el intestino, impactando en gran medida en la eficiencia alimenticia (Monroy, 1999).

### **2.5.1.4 Efecto de la inclusión de NaOH en el metabolismo ruminal**

El efecto de la lignificación que ocurre con la madurez del forraje se refleja en la reducción de la degradación microbiana de la fibra bruta y en la disminución de la degradación física durante la rumia (Hernández, 2010).

Cuando un alimento determinado aumenta la proporción de fibra bruta, suele ser debido a la mayor lignificación de las paredes celulares, la

subsiguiente disminución de la digestibilidad de otros constituyentes que quedan encerrados en el interior de la célula cuyas paredes no atacadas impiden el acceso de las enzimas digestivas (Soto, 2005).

El complejo de lignina le da a la fibra bruta una estructura cementada que la hace inatacable por muchos compuestos químicos, además actúa como agente tóxico para los rumiantes. La lignina es un compuesto muy estable y no digestible, lo cual actuando como barrera impide la descomposición de la celulosa por los microorganismos del rumen, a causa de su estrecha asociación físico-químico con la celulosa; sin embargo, puede ser degradada y principalmente solubilizada por los álcalis (Soto, 2005).

. Mediante el tratamiento alcalino se aumenta la digestibilidad de los residuos celulolíticos, este efecto del hidróxido de sodio (NaOH) se atribuye al hinchamiento de la pared celular y la alteración de ciertos enlaces lignina-carbohidratos, lo cual aumenta la digestibilidad de la materia seca del forraje. El NaOH es un agente hidratante, tiene la propiedad de romper los enlaces interfibrilares e intermoleculares (Hernández y Díaz, 2011). Con el tratamiento alcalino parte de la lignina es degradada, parte es solubilizada y el resto cambia su estructura física, eliminándose la actuación tóxica, siendo atacados los carbohidratos estructurales por la población microbiana del rumen, con lo cual la velocidad de pasaje, por el rumen, se hace mayor, aumenta la digestibilidad, aumenta el consumo voluntario y por consecuencia aumenta la producción y rendimiento del animal (Soto, 2005).

## **2.5.2 Encapsulado de grasa**

### **2.5.2.1 Antecedentes**

Los procesos de encapsulado fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para su aplicación comercial, partir de gelatina como agente encapsulante mediante un proceso de coacervación (Duan, 2010).

La utilización de micro cápsulas abarca una amplia gama de campos: la liberación controlada de sabores, colores, aromas, drogas, fertilizantes y precursores (Yáñez *et al.*, 2005).

Las enzimas y las células animales o vegetales también pueden ser encapsuladas, permitiendo que los sustratos y productos entren y salgan de la cápsula. Este concepto fue instrumentado con el desarrollo de un hígado artificial con enzimas hepáticas colocadas en membranas semipermeables para mejorar su función. Las membranas de nylon han sido empleadas para encapsular y atrapar enzimas como la pepsina, la pectinesterasa para clarificación de jugos, la invertasa para la inversión de sacarosa y la renina para coagulación de leche (cuadro 2.3) (Yáñez *et al.* 2005).

Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se liberará gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales.

Se utiliza también el término micro encapsulado en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades. Los dos términos, encapsulado y micro encapsulado, se usan indistintamente (Yáñez *et al.*, 2005).

Cuadro 2.3. Tipos de coberturas utilizadas en micro encapsulado (Yáñez *et al.*, 2005).

| <b>Tipo de cobertura</b> | <b>Cobertura específica</b>  |
|--------------------------|--|
| Gomas                    | Goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina.  |
| Carbohidratos            | Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz.   |
| Celulosas                | Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, acetilcelulosa.                              |
| Lípidos                  | Ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, mono glicéridos, di glicéridos, aceites, grasas. |
| Materiales inorgánicos   | Sulfato de calcio, silicatos.  |

### **2.5.2.2 Antecedentes de grasa encapsulada en alimentación de rumiantes**

Se puede definir al encapsulado, como un proceso biotecnológico mediante el cual, sustancias bio-activas de interés, son introducidas dentro de una cubierta comestible con el objetivo de proteger dicha sustancia e impedir reacciones químicas en ella, que provoquen su degradación.

El encapsulado de grasa, en alimentación animal (rumiantes), representa una nueva alternativa de manejo y utilización de la misma, favoreciendo una asimilación eficiente del nutriente.

Dicho proceso constituye un medio de protección de sustancias, bajo ciertas condiciones (ruminales), para su posterior liberación y utilización en la parte baja del sistema digestivo. Lo anterior se fundamenta, en que, después de haber sido ingerido al alimento encapsulado, este llegaría al rumen, en donde las condiciones ahí presentes de temperatura, pH, solubilidad y principalmente la del ataque por parte de microorganismos comenzaran la degradación de la película o capsula comestible, y no así de la sustancia de interés (grasa), permitiéndole a esta abandonar esta parte del tracto digestivo de forma intacta, y pasar al intestino delgado donde será absorbida y asimilada de forma directa por el animal, obteniendo así, un aumento en la eficiencia energética.

### **2.5.2.3 Películas y recubrimientos comestibles**

Las películas y recubrimientos comestibles se definen como matrices continuas que pueden ser formadas por proteínas, polisacáridos y lípidos, proveen la posibilidad de mejorar la calidad de los alimentos, mediante la limitación de migración de humedad, oxígeno, y compuestos responsables de diversas características organolépticas (Morales, 2011).

### **2.5.2.3.1 Película Comestible**

Las películas son estructuras de polímero que se forman independientemente y que permanecen separadas de cualquier intención de uso. Estas películas también se utilizan como estructura de prueba para la determinación de propiedades de barrera, mecánicas, solubilidad y otras proporcionadas dependiendo del material de la película (Krochta y De Mulder-Johnson, 1997; Trejo 2010).

### **2.5.2.3.2 Recubrimiento Comestible**

Las cubiertas o recubrimientos involucran la formación de una estructura del polímero, directamente en la superficie del objeto que se pretende proteger. De esta manera, los recubrimientos llegan a ser parte del producto y permanecen en el mismo durante su uso y consumo (Krochta y De Mulder-Johnson, 1997; Trejo 2010).

Las cubiertas comestibles pueden ser aplicadas directamente a la superficie del alimento como una barrera adicional de protección para mantener la calidad y estabilidad de un alimento (Ruiz, 2009).

## **2.6 Materiales de encapsulado**

Existe una amplia variedad de materiales para cobertura que pueden ser usados para encapsular ingredientes, donde se incluyen aceites hidrogenados, ceras, maltodextrinas, almidones y gomas (Esparza; Irache, 2011).

Algunos de los más efectivos son los aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya, que son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando un encapsulado uniforme (Esparza; Irache, 2011).

El uso de goma arábica (polisacárido de origen natural que se extrae de la resina de árboles) como matriz encapsulante es común debido a sus características de viscosidad, solubilidad y emulsificación. Otros materiales estudiados son los almidones de papa, maíz, trigo y arroz principalmente (Esparza; Irache, 2011).

Las dextrinas son formadas por el calentamiento de almidón, en presencia de ácido o base, formando polímeros con alto grado de ramificación, comparadas con almidones no modificados, se mejoran sus características de solubilidad y viscosidad (Yáñez *et al.*, 2005).

Las maltodextrinas son obtenidas a partir de una hidrólisis parcial del almidón de maíz por vía ácida o enzimática. Los polímeros de glucosa producidos pueden variar en longitud y en peso molecular. Sus viscosidades son inferiores a las de la goma arábica y no presentan grupos lipofílicos, por lo que sus propiedades emulsificantes son pobres (Yáñez *et al.*, 2005).

Sus ventajas incluyen sabor tenue, es posible su uso a altas concentraciones de sólidos y mejoran la vida de almacenamiento de aceites esenciales de cítricos. Mezclas de sólidos de maíz, maltodextrinas y almidones modificados permiten un encapsulado óptimo (Cebrian, 2010).

Los materiales que tienen como base proteínas como las proteínas de soya, caseinatos y derivados de gretina forman emulsiones estables con saborizantes volátiles. Su solubilidad en agua fría, el potencial para reaccionar con grupos carbonilos y su alto costo limitan su uso potencial (Yáñez *et al.*, 2005).

### **2.6.1 Pectinas**

Las pectinas son un importante constituyente de la pared celular de muchas plantas. Comercialmente las pectinas son extraídas del bagazo de frutos cítricos. Las pectinas de bajo grado de metoxilación se emplean normalmente en la elaboración de recubrimientos comestibles ya que son capaces de formar geles firmes en presencia de iones de calcio, los cuales

establecen puentes estables con los grupos carboxilos de la pectina (Rojas, 2009.)

### **2.6.2 Mucílagos**

Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas: geles en agua. Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas. Investigaciones recientes han demostrado que el gel proveniente de la planta de sábila (*Aloe vera*) puede prolongar la conservación de productos frescos. (Rojas, 2009.)

### **2.6.3 Glicerol**

Generalmente se requieren plastificantes como el glicerol en las formulaciones a base de polisacáridos y de proteínas, para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos, al aumentar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrogeno internos entre las cadenas de polímeros y aumentando el espacio intramolecular. Los plastificantes afectan la capacidad de atracción de agua del sistema, y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos comestibles (Rojas, 2009).

## **2.7 Métodos generales de encapsulado**

Diversos métodos han sido propuestos para la producción de micro cápsulas. En general, estos métodos pueden ser divididos en tres grupos: (Esparza e Irache, 2011).

**Procesos físicos:** secado por aspersión, extrusión, inmersión y recubrimiento por aspersión.

**Procesos fisicoquímicos:** coacervación simple o compleja y el atrapado a través de liposomas.

**Procesos químicos:** polimerización interfacial e inclusión molecular.

La selección del proceso de encapsulado para una aplicación considera el tamaño medio de la partícula requerida, las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante y la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material encapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo (Yáñez *et al.*, 2005).

### **2.7.1 Secado por Aspersión**

El secado por aspersión es ampliamente usado en la industria de los alimentos debido a que es un método económico y efectivo en la protección de materiales, en particular empleado en la deshidratación de leche. Los almidones modificados, las maltodextrinas y las gomas son empleados como acarreadores o materiales encapsulantes. El material a encapsular es homogenizado con el acarreador (sustancia que permite la movilización del nutriente de interés); la mezcla es alimentada al secador por aspersión y se atomiza por medio de una boquilla o disco; las cápsulas son colectadas posteriormente (Risch y Reineccius, 1998).

Desarrollos recientes se han hecho con nuevos acarreadores, incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permitan incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las cápsulas (Risch y Reineccius, 1998).

### **2.7.2 Aspersión por enfriamiento o congelamiento**

Una variante del secado por aspersión consiste en enfriamiento o congelamiento, donde el material a encapsular es mezclado con el acarreador y es atomizado por medio de aire frío.

Las microcápsulas son producidas por nebulización de la emulsión o suspensión que contiene el material encapsulante y la sustancia activa

sólida o líquida. Las coberturas empleadas usualmente son aceites vegetales en el caso de aspersión por enfriamiento o aceite vegetal hidrogenado para la aspersión por congelamiento; así pueden encapsularse líquidos sensibles al calor y materiales que no son solubles en disolventes convencionales (Duan, 2010).

La reducción de la temperatura produce una solidificación del material encapsulante y por consecuencia el atrapado de la sustancia activa en el centro de la cápsula. La aspersión por enfriamiento es usualmente empleada para encapsular sulfato ferroso, vitaminas, minerales o acidulantes (Duan, 2010).

Las aplicaciones más comunes de la aspersión por congelamiento incluye el secado de alimentos con altos contenidos de grasa. Las micro cápsulas producidas por enfriamiento o congelamiento son insolubles en agua debido a su cobertura de lípidos, por lo que se encapsulan materiales solubles como enzimas y vitaminas solubles (Brazel, 1999).

### **2.7.3 Extrusión**

El micro encapsulado por extrusión involucra el paso de una emulsión del material activo y el encapsulante a través de un dado a alta presión. La extrusión constituye el segundo proceso más usado, después del secado por aspersión. Un proceso típico involucra la mezcla del material activo o de interés con jarabe de maíz o almidón modificado caliente, extruyendo la mezcla en forma de esferas (pellets) dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropanol. El disolvente frío solidifica el jarabe en un sólido amorfo, bañando al material de interés lo cual proporciona una mayor vida de almacenamiento comparados con los que no son encapsulados (Valls, 1993).

#### **2.7.4 Cobertura por inmersión**

Esta metodología se realiza en tanques contenedores de formulaciones formadoras de cubiertas. Posterior a esto, se procede a un proceso de escurrido y secado, dejando que la cubierta sea formada sobre la superficie del producto (Pérez y Báez, 2003).

#### **2.7.5 Cobertura por lecho fluidizado**

Esta técnica consiste en suspender partículas sólidas en aire a alta velocidad dentro de una cámara con temperatura y humedad controlada, donde el material encapsulante es atomizado. La cantidad de partículas cubiertas depende de la longitud de la cámara y del tiempo de residencia dentro de ésta (Medina y Vásquez, 1992).

La técnica es aplicable a coberturas que funden fácilmente (como aceites vegetales hidrogenados, estearinas, ácidos grasos, emulsificantes, ceras) o coberturas solubles (como almidones, gomas y maltodextrinas).

Para coberturas fundibles se usa aire frío para endurecer el acarreador, mientras que para las coberturas solubles se usa aire caliente para evaporar el disolvente (Medina y Vásquez, 1992).

Los ingredientes con facilidad de fundir son liberados al incrementar la temperatura o por ruptura física, mientras que las coberturas solubles liberan su contenido al adicionar agua. Alimentos fortificados y mezclas nutricionales contienen ingredientes encapsulados por lecho fluidizado; algunos ejemplos son: ácidos cítrico, láctico y sórbico (Medina y Vásquez, 1992).

#### **2.7.6 Encapsulado en Liposomas**

Un liposoma es definido como una vesícula esférica con una membrana compuesta de una doble capa de fosfolípidos, que constan de partes hidrosolubles y liposolubles. Las cápsulas de liposomas proporcionan

más propiedades versátiles y menos fragilidad que aquellas hechas de grasa. Estos han sido empleados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas y consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y aceptables en alimentos; la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y la composición del lípido (Hermida, 2004).

Los liposomas son vesículas que se forman cuando películas de fosfolípidos son dispersadas en un medio acuoso, después de que la sustancia activa es mezclada con la película del lípido; al igual que las membranas naturales, los liposomas son selectivamente permeables a iones. Estructuralmente existen tres tipos de liposomas: multilaminar, vesículas de un compartimiento y macrovesículas (Fernández y Maté, 2011).

La sonicación (aplicación de la energía del sonido, generalmente ultrasonidos, para agitar las partículas de una muestra) permite la formación de un solo compartimiento de vesículas, mientras que las macrovesículas son formadas por inyección de soluciones de lípidos en un buffer de fosfatos (Fernández y Maté, 2011).

Los liposomas pueden ser obtenidos con cargas positivas por la adición de aminos o con cargas negativas por la adición de fosfatidil serina o diacetil fosfato.

Materiales hidrofílicos e hidrofóbicos pueden ser atrapados en liposomas. Los compuestos hidrofílicos son disueltos en agua y mezclados con una película lípidica para formar liposomas, mientras que los materiales hidrofóbicos son embebidos (absorción de un cuerpo sólido por otro en estado líquido) en una delgada película de lípido (Hermida, 2004).

La liberación del principio activo se realiza por difusión a través de la bicapa, por destrucción de la vesícula, por medio de una concentración crítica de iones calcio o por un cambio de pH.

El colesterol y los tocoferoles pueden ser incorporados para reducir la permeabilidad de la membrana e incrementar la estabilidad de los lípidos en la bicapa. Las sustancias activas solubles en agua presentan una mejor eficiencia de encapsulamiento que las hidrófobas (Hermida, 2004).

Los liposomas son usados con éxito en el encapsulado de sistemas enzimáticos. Sin embargo, el uso de disolventes orgánicos limita su uso en aplicaciones en alimentos.

### **2.7.7 Inclusión de complejos**

La inclusión de complejos, también conocida como encapsulado molecular, utiliza beta-ciclodextrinas para el encapsulado de moléculas. Estas ciclodextrinas (CD) tienen un centro hidrofóbico mientras que la superficie exterior es hidrofílica. Las CD forman complejos por inclusión o por huésped-anfitrión (Brazel, 1999).

El principal mecanismo de las CD involucra la formación de complejos por inclusión de analitos (elemento, compuesto o ion de interés analítico de una muestra): permiten un equilibrio dinámico en el cual agua u otro compuesto, son reemplazados en la cavidad de la molécula de CD. La estabilidad de estos complejos depende de la estructura, hidrofobicidad de la molécula, pH, disolvente orgánico, temperatura y concentración de la CD (Brazel, 1999).

La preparación de complejos se realiza por dos métodos: en el primero la molécula huésped y la CD son cristalizadas, un disolvente menos hidrofóbico que la molécula huésped se mezcla con los componentes dando un complejo de la molécula huésped hacia el centro de la ciclodextrina, la ciclodextrina y la molécula huésped son mezcladas en agua durante un tiempo hasta conseguir el equilibrio (Gou *et al.*, 2002).

El segundo método involucra la forma gaseosa de la molécula huésped en una solución de CD. Los complejos de inclusión obtenidos son

sólidos cristalinos y pueden adicionarse a alimentos secos con un mínimo de degradación o pérdida del compuesto huésped durante el almacenamiento (Brazel, 1999).

### **2.7.8 Coacervación**

En una solución coloidal las cargas pueden orientarse formando puentes que dan origen a una disminución en la solubilidad del coloide. Como consecuencia una parte del coloide puede ser separado en una nueva fase, convirtiendo al sistema en bifásico. La fase rica en coloide es un estado disperso que aparece como gotas de líquido amorfo, a las que se les denomina gotas de coacervado (Medina y Vásquez, 1992).

La coacervación puede ser iniciada por diferentes formas: cambios de pH, temperatura o adición de una segunda sustancia como una sal iónica, este método es eficiente pero caro. Para el proceso de micro encapsulado algunos biopolímeros han sido utilizados para su uso como coberturas (goma arábica y grenetina) (Medina y Vásquez, 1992).

El micro encapsulado por coacervación requiere que el material a encapsular y el material encapsulante sean mezclados, la cobertura es depositada sobre el material activo. Generalmente un cambio de pH, temperatura o fuerza iónica provoca una fase de separación o coacervación de la cobertura y el encapsulado del material activo disperso. Finalmente la cobertura es solidificada por medios térmicos o entrecruzamiento (Télles *et al*, 2001).

La fase de separación acuosa involucra el uso de materiales como grenetina o mezclas de grenetina y goma arábica. Una coacervación simple se presenta cuando sólo la grenetina es inducida a formar micro cápsulas. La coacervación compleja utiliza grenetina y un polímero de carga opuesta como goma arábica (Télles *et al.*, 2001).

### **2.7.9 Polimerización interfacial**

Este método involucra la disolución de un monómero hidrofóbico polimerizable en un material activo hidrofóbico. La mezcla es dispersada en una fase polar y un catalizador provoca la polimerización del monómero. El polímero es insoluble en la sustancia activa hidrofóbica y depositado como pared alrededor de la sustancia activa. Los polímeros que forman coberturas adecuadas son poliéster, poliamidas, poliuretanos y poliureas (Rivas *et al.*, 2005).

La polimerización interfacial ocurre entre monómeros disueltos en sus respectivas fases inmiscibles. Los monómeros solubles son dispersos en la fase acuosa por medio de agitación, la membrana de la cápsula es formada por la adición de un monómero orgánico soluble en la fase continua u orgánica (Rivas *et al.*, 2005).

Las membranas poliméricas de poliaminas, nylon, poliéster o polifeniléster son producidas por la reacción entre el monómero soluble en agua, como poliamina, L-lisina, 1,6-hexametilendiamina, piperidina, o polifenol y un monómero soluble en medio orgánico como sebacoil cloro, 2,2-dicloroéter. Esta técnica recientemente ha sido empleada para encapsular una bacteria ácido láctica para obtener una mayor productividad en las fermentaciones lácticas con bastante éxito (Télles *et al.*, 2001).

## **2.8 Métodos de Liberación**

Los mecanismos de liberación de las cápsulas se pueden llevar a cabo por una disolución normal en agua, por temperatura, por reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica. La liberación de componentes de una cápsula puede ser controlada por difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que cubre la pared. La permeabilidad a través de la matriz y la solubilidad del componente de la pared de la cápsula influyen en la velocidad de difusión (Yáñez *et al.*, 2005).

El compuesto que va a difundir debe ser soluble en la matriz. Aunque la presión de vapor de sustancias volátiles en cada lado de la matriz puede ser la fuerza que determine la difusión. La selección de una matriz o membrana es importante. La naturaleza química, morfología y temperatura de transición, el grado de hinchamiento y de entrecruzamiento también influyen en la difusión de la membrana aunque pueden disminuir la velocidad de liberación (Yáñez *et al.*, 2005).

## **2.9 Ventajas del encapsulado**

Las aplicaciones de esta técnica se han incrementado en la industria de los alimentos debido a que la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permiten mantener su estabilidad y viabilidad (Brazel, 1999).

Las micro cápsulas ayudan a que los materiales frágiles resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos. En el encapsulado, se reduce su volatilidad o previene reacciones indeseables con otros componentes del alimento aun cuando se almacene por un periodo prolongado (Brazel, 1999).

## **2.10 Panorama actual y limitaciones**

No obstante el desarrollo en las técnicas de encapsulado, existe mucha demanda para el control y liberación de ingredientes en alimentos, fármacos y microorganismos. Por ello deben desarrollarse nuevas aplicaciones y es conveniente que los avances en el estudio del encapsulado continúen (Yáñez *et al.*, 2005). En particular, la coacervación se vislumbra como una promesa debido a que sus costos de proceso pueden ser reducidos y a que las sustancias son más estables después de procesos que involucran calentamiento. Una de las limitaciones en las técnicas de encapsulado son los altos costos de producción y la falta de disponibilidad de materiales que puedan utilizarse (Yáñez *et al.*, 2005).

Las mezclas de almidones y maltodextrinas como materiales encapsulantes pueden proporcionar grandes beneficios. Finalmente, el empleo y el desarrollo de nuevas combinaciones de ingredientes incrementan la necesidad de mejorar los mecanismos de protección y liberación de los mismos, para aumentar su vida útil, permitiendo nuevos desarrollos en el campo de la alimentación por medio del encapsulado (Yáñez *et al.*, 2005).

### **2.11 Hipótesis**

El procesado de la grasa (encapsulado o saponificación) mejoran el metabolismo de la misma.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del área de estudio.**

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Saltillo Coahuila, en la localidad denominada Chamizal, esto en un predio particular cuyas coordenada geográficas son 25°26´ 00´´ latitud norte y 101° 00´ 00´´ longitud oeste, además se trabajó en el Laboratorio de Producción Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

#### **3.2 Prueba de alimentación**

Se utilizaron 5 ovinos machos de la raza Charoláis con un peso promedio de 30 kg facilitados por un productor particular de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

La prueba de alimentación tuvo una duración total de 36 días, la cual estuvo dividida en tres etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que seis días se destinaban para el periodo de adaptación y seis para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron la misma relación en tipo y cantidad de ingredientes (cuadro 3.1).

Cuadro 3.1.- Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración de la dieta

| <b>Ingrediente</b>   | <b>% en dieta</b> |
|----------------------|-------------------|
| Avena (Forraje)      | 28.51             |
| Maíz (Grano molido)  | 18.55             |
| Sorgo (Grano molido) | 18.55             |
| Harinolina           | 19.89             |
| Salvadillo de trigo  | 5                 |
| Grasa animal (res)   | 5                 |
| Calcio               | 3                 |
| Fosforo              | 1.5               |

### **3.3 Alimentación**

El alimento se sirvió a las 8:00 a.m. y a las 4:00 p.m. Durante el periodo de prueba se registró la cantidad de alimento ofrecido y rechazado para obtener por diferencia el consumo diario de alimento. La cantidad rechazada se retiraba de los comederos a la hora del primer servicio para su posterior pesaje y registro.

El alimento ofrecido se ajustaba cada día con incremento de 10% sobre el consumo del día anterior tratando de evitar la selectividad de los animales.

### **3.4 Instalaciones y equipo**

El presente trabajo se realizó en cinco jaulas metabólicas individuales, de madera, con un piso metálico (parrilla), cuentan con comederos y bebederos desmontables.

### **3.5 Recolección de heces y orina**

La recolección de heces se dividió en 2 periodos, uno a las 8:00 a.m. y otro a las 4:00 p.m. para después sumarse las cantidades y obtener la excreción diaria total, esto a partir del segundo día de prueba. De la cantidad

total de heces recolectadas, diariamente se extraían 100 gramos aproximadamente, las cuales se congelaban para su posterior análisis bromatológico.

Se utilizaron como arneses cinco bolsas de lona adaptadas para la recolección de heces. También se utilizó una báscula de reloj (10kg) para el pesaje tanto de alimento como de heces.

Para la recolección y medida de cantidad de orina (ml), se realizó una sola vez al día (8:00 a.m.), dicha actividad empezó un día después a la primera recolección de heces. Una muestra de la orina recolectada era congelada y almacenada para su posterior análisis de determinación de nitrógeno.

### 3.6 Tratamientos

Se evaluaron 3 tratamientos con 5 repeticiones. En todos los tratamientos se utilizó la misma relación en tipo y cantidad de ingredientes, la variable para cada uno de ellos, fue el proceso aplicado a la principal fuente lipídica (grasa animal). Los tratamientos se presentan en el cuadro 3.2

Cuadro 3.2.- Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.

| <b>Tratamiento</b> | <b>Variable</b>                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 1                  | Dieta base + grasa sin procesar |
| 2                  | Dieta base + grasa saponificada |
| 3                  | Dieta base + grasa encapsulada  |

#### 3.6.1 Tratamiento 1

Siguiendo el programa alimenticio mencionado anteriormente, se llevo a cabo la preparación de la dieta con cada uno de los ingredientes, en donde la principal fuente lipídica (sebo de res), fue derretida

aproximadamente a 60°C, para su posterior inclusión en la dieta y su homogenización con la misma.

### **3.6.2 Tratamiento 2**

Para el tratamiento dos, se procedió a la saponificación de de la grasa a utilizar, en donde, de acuerdo al índice de saponificación propuesto por Mateos *et al.*, (1996) (0.143 g de NaOH por gramo de grasa) se agregaron 715 gramos de NaOH disueltos en 145 ml de agua destilada a la grasa previamente derretida, para su posterior inclusión y homogenización con el resto de la dieta. Los cálculos anteriores fueron para la preparación de 100 kg de alimento

### **3.6.3 Tratamiento 3**

#### **3.6.3.1 Preparación del Mucílago**

El mucílago utilizado para encapsular la grasa, se extrajo de la semilla de chía (*Salvia hispánica*), que de acuerdo a la técnica propuesta por Aguilar (2012), se mezclaron 100 g en un litro de agua, se agitó e hidrató por un periodo de 40 min. Después de este tiempo se licuó en dos ocasiones en ciclos de dos a tres segundos, para su posterior centrifugado y extracción del sobrenadante (mucilago). El mucilago se mezcló con agua destilada en relación 70/30 (%) fue calentado hasta llegar a una temperatura de 70 grados centígrados. Al alcanzar esta temperatura se añadió 0.2 g de cloruro de calcio y un ml de glicerol. Después de la homogenización de esta solución se concluyó el proceso, obteniéndose el mucílago.

#### **3.6.3.2 Estandarización del método**

Antes de encapsular la grasa de este tratamiento, fue necesario determinar el grosor ideal del recubrimiento comestible que soportara el ataque de los microorganismos ruminales, es por esto que se llevó a cabo

una degradación *in vitro* con líquido ruminal de acuerdo con la metodología Daisy (ANKOM Corp, NY, EEUU 2008).

La degradación *in vitro* consistió en la incubación de cuatro distintos niveles de grosor en el recubrimiento para sebo de res (2,4,6,8), a un tiempo fijo de 96 horas, en donde a través de la determinación de ácidos grasos se selecciono el nivel adecuado para soportar el ataque microbiano. Cada grosor hace referencia a una sumergida en el mucilago, que a su vez, fue la base del recubrimiento comestible, por ejemplo, para el grosor 2, la grasa se sumergió en el mucilago, se dejó reposar durante 30 min y se sumergió una segunda vez dejándolo reposar 30 min más, así sucesivamente para cada nivel de grosor.

### **3.7 Análisis de muestras**

Los componentes proximales de cada uno de los tratamientos, así como de las heces recolectadas, fueron determinados por los métodos de la AOAC (1997): humedad (método 925.09) cenizas (método 923.03); grasa cruda o extracto etéreo (método 920.39) proteína cruda (Kjeldahl) (método 954.01) usando 6.25 como un factor de conversión de nitrógeno proteína, fibra cruda (método 962.09). Los carbohidratos se estimaran como el extracto libre de nitrógeno (ELN) calculado como el porcentaje faltante para completar el 100 % de los componentes. La fibra en detergente neutro (FDN) se determinó según procedimiento publicado por Goering y Van Soest, (1970). Los carbohidratos no-estructurales (CNE) se calcularon con la siguiente ecuación (Van Soest, 1994):  $CNE (\%) = MS - [PC + EE + cenizas + FDN]$ .

### **3.8 Variables determinadas en el experimento.**

Las variables que se midieron se pueden agrupar de la siguiente manera:

Coeficientes de digestibilidad:

- ✓ Digestibilidad de materia seca (DMS).

- ✓ Digestibilidad de proteína cruda (DPC).
- ✓ Digestibilidad de extracto etéreo (DEE).
- ✓ Digestibilidad de fibra cruda (DFC).
- ✓ Digestibilidad de fibra detergente neutro (DFDN).
- ✓ Digestibilidad de fibra detergente ácido (DFDA).
- ✓ Digestibilidad de extracto libre de nitrógeno (DELN).

#### Coefficientes de Balance de Nitrógeno.

- ✓ Balance de Nitrógeno (BN).
- ✓ Nitrógeno retenido consumido (NRC).
- ✓ Nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA).

#### Valores energéticos.

- ✓ Nutrientes digestibles totales (NDT).
- ✓ Energía digestible (ED).
- ✓ Energía metabolizable (EM).
- ✓ Energía neta de mantenimiento (ENm).
- ✓ Energía neta de ganancia (ENg).

### 3.9 Cálculo de las variables.

#### 3.9.1 Cálculos para determinar los coeficientes de digestibilidad

Los coeficientes de digestibilidad de las diferentes fracciones se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación (Sosa *et al*, 2006):

$$Digestibilidad(\%) = \frac{\text{consumo} - \text{excreción.fecal}}{\text{consumo}} \times 100$$

### 3.9.2 Valoración energética

#### 3.9.2.1 Cálculo de nutrientes digestibles totales (NDT)

El cálculo de nutrientes digestibles totales (NDT) se llevó a cabo a través de la siguiente ecuación (NRC 1990):

$$\text{NDT} = \frac{((\%PC \cdot DPC) + (\%FC \cdot DFC) + (\%ELN \cdot DELN) + ((\%EE \cdot DEE) \cdot 2.25))}{100}$$

En donde:

NDT = Nutrientes digestibles totales

PC = Proteína cruda

FC = Fibra cruda

ELN = Extracto libre de nitrógeno

EE = Extracto etéreo

DPC = Digestibilidad de la proteína cruda

DFC = Digestibilidad de la fibra cruda

DELN = Digestibilidad del extracto libre de nitrógeno

DEE = Digestibilidad del extracto etéreo

#### 3.9.2.2 Cálculo de ED, EM, ENm y ENg

El cálculo de los valores de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta de mantenimiento (ENm) y energía neta de ganancia (ENg) se llevaron a cabo a través de las siguientes ecuaciones (NRC 1990):

$$\text{ED} = (\text{NDT} \cdot 4.409) / 100$$

$$\text{EM} = (\text{ED} \cdot 0.82)$$

$$\text{ENm} = (\text{EM} \cdot 0.52)$$

$$\text{ENg} = (\text{EM} \cdot 0.15)$$

### 3.9.2.3 Cálculos de balance de N

El metabolismo del nitrógeno se estudió mediante la determinación del balance de nitrógeno (BALANCE), nitrógeno retenido consumido (NRC) y nitrógeno retenido del aparentemente absorbido (NRAA), para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones (Clavero *et al.*, 1997):

$$\text{BALANCE N} = \text{N consumido} - \text{N excretado}$$

$$\text{NRC} = \frac{\text{N consumido} - \text{N excretado}}{\text{N consumido}} \times 100$$

$$\text{NRAA} = \frac{\text{N consumido} - \text{N excretado}}{\text{N consumido} - \text{N heces}} \times 100$$

### 3.10 Análisis estadístico

Tanto las variables de digestibilidad, balance de nitrógeno y valoración energética fueron evaluadas mediante la aplicación de un diseño switch back en cuadro latino (Grajales y López, 2006) mediante el procedimiento GLM utilizando el paquete MINITAB (versión MES3.3.0). El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij(k)} = \mu + F_i + C_j + \tau_{(k)} + \text{error}_{ij(k)} \quad i, j, k=1, 2, \dots, n$$

$\mu$  = efecto medio (parámetro del modelo)

$F_i$  = efecto de la fila  $i$

$C_j$  = efecto de la columna  $j$

$\tau_{(k)}$  = efecto del tratamiento  $k$

Error  $_{ij(k)}$  = error experimental de la u.e.  $i, j$

$Y_{ij(k)}$  = Observación en la unidad experimental

El subíndice  $(k)$  indica que tratamiento  $k$  fue aplicado en la unidad experimental. El modelo está compuesto por  $n^2$  ecuaciones, una para cada observación. La comparación de medias post-ANOVA se realizó mediante la prueba de Tukey.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Comportamiento de los coeficientes de digestibilidad

El proceso aplicado a la principal fuente lipídica (grasa animal) utilizada para cada uno de los tratamientos, produjo efectos significativos sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca (DMS) ( $P < 0.05$ ). De igual manera se presentó diferencia significativa para la digestibilidad de proteína cruda (DPC), de fibra cruda (DFC) y del extracto etéreo (DEE) ( $P < 0.05$ ); sin embargo, los coeficientes de digestibilidad para cada uno de los demás nutrientes (DFDA, DFDN y DELN) no presentaron una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ). Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Consumo diario de materia seca (CMS) y coeficientes de digestibilidad de los componentes de la dieta para ovinos alimentados con grasa animal tratada con diferentes procesos.

| Variable<br>Respuesta          | Tratamiento       |                      |                   | P (0.05) |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------|
|                                | S/Procesar<br>T1  | Saponificación<br>T2 | Encapsulado<br>T3 |          |
| CMS (g/d)                      | 871.7             | 968.6                | 1110.4            | 0.644    |
| Coeficientes de digestibilidad |                   |                      |                   |          |
| D MS (%)*                      | 51.5 <sup>b</sup> | 59.5 <sup>ab</sup>   | 63.5 <sup>a</sup> | 0.014    |
| D PC (%)*                      | 78.3 <sup>b</sup> | 82.8 <sup>ab</sup>   | 86.3 <sup>a</sup> | 0.050    |
| D EE (%)*                      | 95.0 <sup>b</sup> | 95.5 <sup>ab</sup>   | 97.8 <sup>a</sup> | 0.020    |
| D FC (%)*                      | 43.7 <sup>b</sup> | 51.5 <sup>ab</sup>   | 61.6 <sup>a</sup> | 0.007    |
| D FDN (%)                      | 79.7              | 81.4                 | 80.5              | 0.805    |
| D FDA (%)                      | 53.6              | 52.3                 | 65.5              | 0.051    |
| D ELN (%)                      | 44.2              | 50.4                 | 45.5              | 0.534    |

\*Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ )

En el cuadro 4.1 se puede observar que el coeficiente de DMS presenta un valor máximo para el tratamiento tres (encapsulado), existiendo una diferencia significativa con el tratamiento uno, en el cual se añadió la grasa sin procesar, no así para el caso de saponificación, el cual no presentó diferencia estadística en relación al tratamiento testigo. Dicho de otra forma, los tratamientos en los que se incluyó grasa procesada presentan valores por encima del testigo, siendo en el que se añadió la grasa con un recubrimiento comestible, el que presentó una diferencia significativa.

A pesar de que el objetivo principal de esta investigación no fue buscar altos valores de digestibilidad, sino una diferencia significativa entre alimentos en los que se incluía un ingrediente procesado, los valores de digestibilidad son relativamente altos en relación a atribuciones realizadas por otros autores (Church, 1993; Souza y Dos Santos, 2002). Esta situación le puede asignar a los tratamientos de grasa procesada el carácter de productos de alta digestibilidad (figura 4.1).

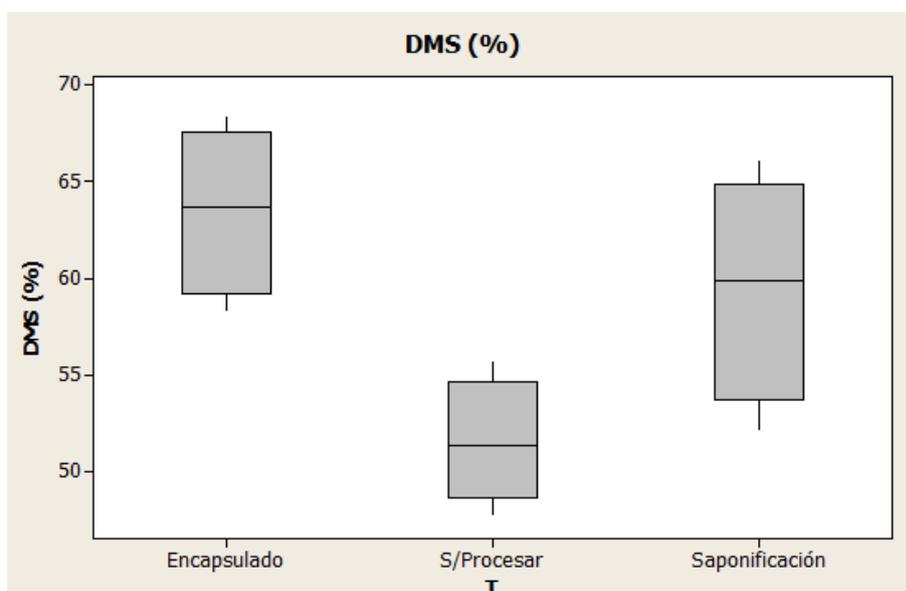


Figura 4.1.- Comportamiento del coeficiente de digestibilidad de la MS en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.

En la figura 4.1, se muestra de forma clara la diferencia que existe entre los tratamientos para el coeficiente de DMS, esta situación era predecible dados los valores presentados para los coeficientes de DPC, DFC

y DEE (los cuales presentaron diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ )).

Relacionando el efecto que tiene el nivel de consumo sobre la DMS, algunos autores (Castellanos *et al.* 1990) recomiendan que al presentar los resultados de una prueba de digestibilidad es de gran importancia dar a conocer los niveles de consumo durante el experimento. Este concepto hace referencia a la cantidad de nutrientes que recibe un animal con relación a los requerimientos establecidos para su mantenimiento. En la figura 4.2 se puede observar el comportamiento del consumo de MS para cada uno de los tratamientos.

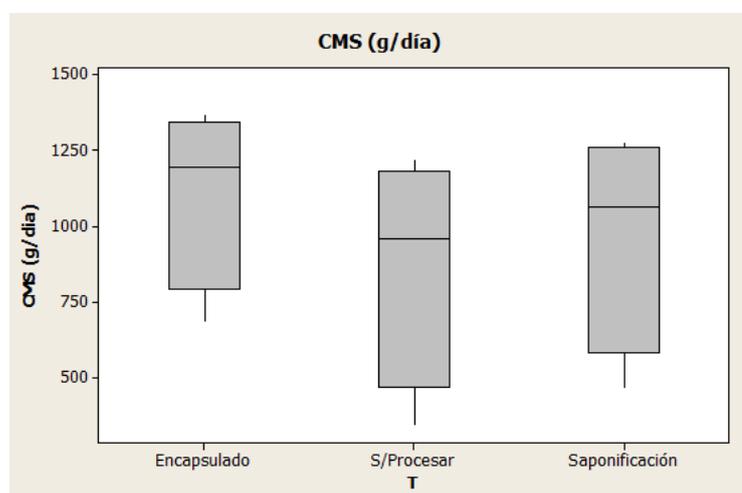


Figura 4.2.- Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.

La figura 4.2 muestra que en relación al nivel de consumo (g/día), no se presentaron variaciones significativas, situación que marca la pauta para enfocar la discusión de los resultados en relación a otros factores tales como, la tasa de pasaje del alimento, la eficiencia metabólica de los animales, la disponibilidad de los nutrientes para los microorganismos del rumen, el sitio de digestión de los nutrientes (Church, 1993; Cochran *et al.*, 1986; Church y Pond, 1994) y especialmente al efecto que nos ocupa: los procesos aplicados a la grasa (saponificación y encapsulado).

Ahora bien, aun y cuando no existen antecedentes claros sobre la utilización de grasas encapsuladas en alimentación de rumiantes, y mucho menos de su comportamiento a nivel metabólico y productivo, en esta investigación se propone un mecanismo de acción que pudiera ocurrir a nivel digestivo con la inclusión del encapsulado de la grasa.

En este contexto y para el caso del comportamiento del coeficiente DEE, la diferencia significativa que presento puede ser atribuible a que por medio del encapsulado se logró proteger la grasa e impedir reacciones químicas en ella, evitando así, su degradación ruminal, pasando a la parte baja del sistema digestivo, siendo asimilada directamente por el animal, favoreciendo una asimilación eficiente del nutriente (figura 4.3).

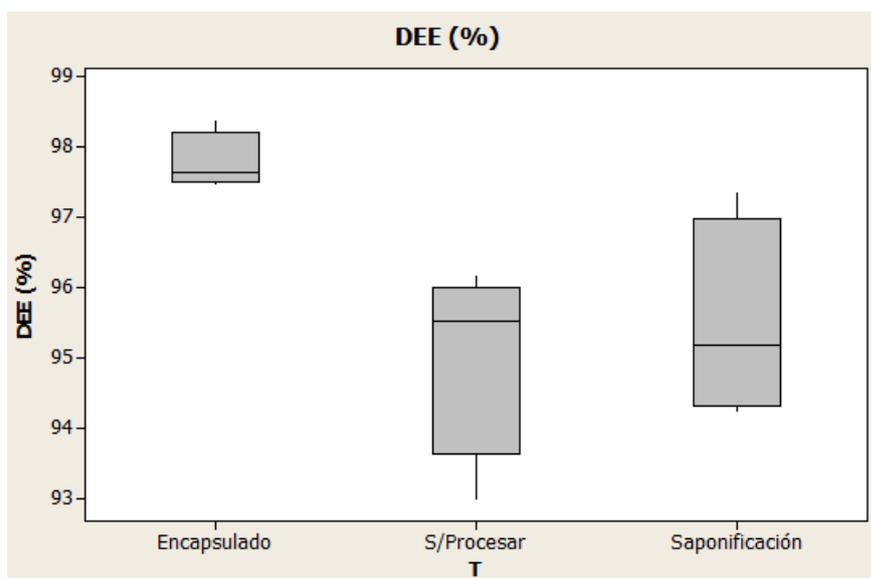


Figura 4.3.- Comportamiento del coeficiente de digetibilidad de EE en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.

En otras palabras, a través del encapsulado, se logró que, después de haber sido ingerido el alimento, este llegara al rumen, en donde las condiciones ahí presentes de temperatura, pH, solubilidad y principalmente la del ataque por parte de microorganismos comenzaran la degradación de la película o recubrimiento comestible, y no así de la sustancia de interés (grasa), permitiéndole a esta abandonar esta parte del tracto digestivo de forma intacta, y pasar al intestino delgado donde es metabolizada y

absorbida de forma directa por el animal. Esta inferencia puede ser respaldada a través de la degradación *in vitro* que se realizó simulando las condiciones ruminales a un tiempo fijo de 96 horas, esto con diferentes niveles de grosor de la capsula comestible, los resultados de esta prueba se presentan en el cuadro 4.2

Cuadro 4.2.- Concentración de ácidos grasos después de la degradación

| <b>Tratamiento</b> | <b>Concentración de AG (mg/l)</b> | <b>Absorbancia (nm<sup>**</sup>)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Grosor 2*          | 0.32                              | 0.061                                |
| Grosor 4*          | 0.10                              | 0.019                                |
| Grosor 6*          | 0.10                              | 0.019                                |
| Grosor 8*          | 0.08                              | 0.016                                |

\*Cada nivel de grosor hace referencia a una inmersión en mucilago.

\*\*Nanómetros.

La información anterior pone de manifiesto una marcada disminución en la concentración de ácidos grasos del grosor 2 al 4, mientras que del grosor 4 al 6 los valores se mantienen de forma similar. Por lo anterior a nivel *in vitro* se sugiere que con un grosor propio de 2 inmersiones no es suficiente con motivo de proteger la grasa de la acción degradativa propia de los microorganismos ruminales, por lo cual, con ese grosor los microorganismos pueden acceder de manera relativamente fácil a ella, degradándola y aumentando la producción de ácidos grasos, mientras que con el grosor 4 y 6 se propicia una mejor defensa de la grasa en contra de las condiciones de degradación, permaneciendo constante la concentración de ácidos grasos entre los dos niveles. Se puede inferir que este mismo efecto se presenta también en condiciones *in vivo*, bajo esta situación, el nivel de grosor que se le dio a la cubierta comestible impactó el nivel de utilización de la grasa a nivel ruminal ya que este componente del alimento pudo soportar el ataque de los microorganismos y las condiciones ruminales cuando fue encapsulada, proporcionándole de esta manera la cualidad de ser inerte a este nivel anatómico (rumen), y poder pasar a la parte baja del sistema digestivo (intestino) siendo así aprovechada de forma directa.

En este contexto, la condición de encapsulado estaría impactando en forma positiva sobre los factores básicos en el comportamiento de la digestibilidad, tales como la eficiencia metabólica, la disponibilidad de los nutrientes y el sitio de digestión de los mismos, ya que como se mencionó anteriormente, algunos autores (Church, 1993; Cochran *et al.*, 1986; Church y Pond, 1994) citan estos aspectos como fundamentales para la digestión.

Otro aspecto que pudo haber impactado sobre el coeficiente de DEE es la densidad de partícula, ya que según Welch (1986) y Kaske y Engelhardt (1990) han demostrado que la densidad de partícula afecta la velocidad con la que esta abandona el rumen, impactando directamente en la digestibilidad, esto es, si el encapsulado presentó una densidad menor a la que se encuentra en el rumen, eventualmente esto favorecería el efecto que se busca obtener con el proceso de encapsulado, ya que las partículas con una densidad mayor que la óptima tenderían, a hundirse en el saco ventral del rumen, disminuyendo su contacto con la zona de escape (Allens y Mertens, 1987),. Esta situación pudiera haberse presentado para este tratamiento, dicho de otra forma, a menor densidad de partícula mayor contacto con la zona de escape, por ende menor acceso al ataque de los microorganismos, pasando directo al intestino siendo aprovechado en forma directa por el animal.

En el sentido de complementar la explicación referente a el efecto de la utilización de la grasa encapsulada es importante describir como se da la asimilación de las moléculas de lípidos a nivel intestinal una vez que estas evaden la degradación ruminal, esto es, al momento que la grasa logra llegar al intestino sin ser degradada (situación condicionada por el nivel de grosor utilizado durante el encapsulado de la grasa), su digestión dependerá de la presencia de secreciones biliares y pancreáticas. En el duodeno, la bilis aporta lecitina (fosfatidil-colina), que se convertirá en lisolecitina. Este compuesto, junto con las sales biliares, actúa como un potente agente emulsionante, porque las sales biliares y la lisolecitina introducen los ácidos grasos libres (AGL) en una micela hidrosoluble que será degradada sobre la superficie de las microvellosidades de la mucosa intestinal, y dichos AGL

serán captados por la célula de la mucosa. La mayor parte de la absorción de los lípidos tiene lugar en la mitad proximal del intestino delgado (Church, 1993). Lo anterior hace aún más determinante el uso de la película en el proceso de encapsulado e impulsa un mayor nivel de atención en el nivel de grosor de la misma.

Por otro lado, pasando al comportamiento de los demás coeficientes de digestibilidad, hay que recordar que para el caso de proteína también se presenta una diferencia significativa entre tratamientos, como se muestra en la figura 4.4.

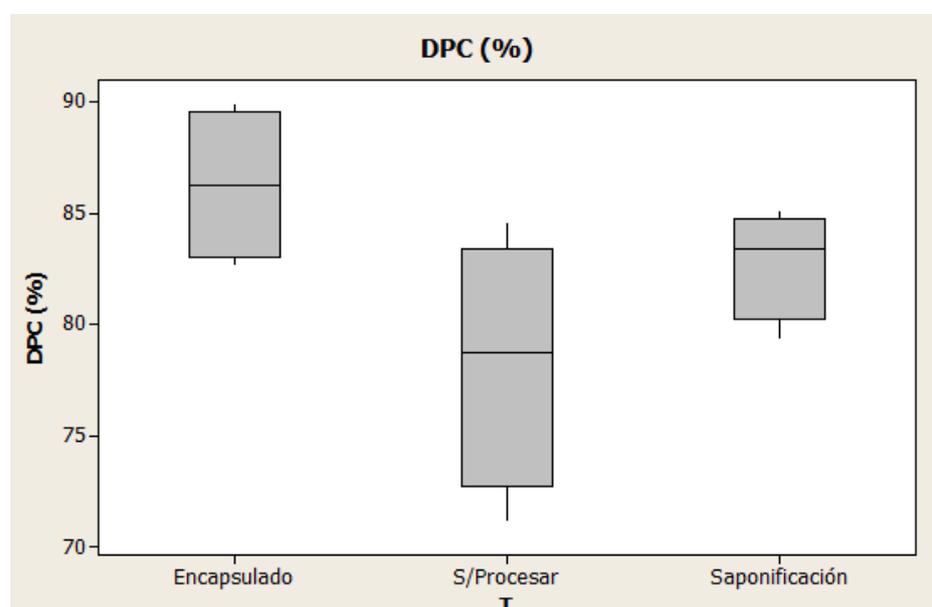


Figura 4.4.- Comportamiento del coeficiente de digestibilidad de PC en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos.

Como se puede observar en la figura 4.4, el tratamiento en donde se aplico el proceso de encapsulado, presenta los valores más elevados para el coeficiente de digestibilidad de PC.

El fenómeno anterior, sugiere que el metabolismo del N está vinculado estrechamente con la disponibilidad de fuentes de energía, dado que las diferencias presentadas anteriormente para el coeficiente de DEE,

se repiten para el caso de PC, pudiendo inferir una estrecha relación entre las necesidades y el metabolismo energético-proteico.

Lo anterior coincide con lo reportado por Niemeyer (1978), ya que él atribuye esta relación (energía-proteína) a que el metabolismo del N está vinculado estrechamente con la disponibilidad de fuentes de energía no solamente por su interacción con la gluconeogénesis si no, además, por su relación con el gasto energético en que se incurre durante la formación de la proteína microbiana.

En otras palabras, la cantidad de proteína microbiana sintetizada por la flora ruminal depende del aporte de la ración en energía (para mantener la actividad de la flora y aportar cadenas carbonatadas para la formación de aminoácidos microbianos) y el aporte en proteína degradable (que aporta grupos amino para la formación de los aminoácidos microbianos) (Broderick, 2006).

Galvis *et al.*, (2003) argumentan la situación anterior al trabajar con ganado lechero. Estos autores remarcan la importancia existente entre el metabolismo energético-proteico, la cual representa la variación en el requerimiento de energía neta de lactancia y proteína cruda entre los periodos de muestreo de su experimento. Los mismos autores hacen notar que el balance de energía y el de proteína fueron positivos para el muestreo preparto. En el día 12 posparto se pudo evidenciar un balance negativo tanto energético como proteico. Al día 35 posparto los balances de proteína fueron cero o superiores mientras que para el balance de energía solo se observaron valores de esta magnitud en el día 100 posparto, lo anterior pone en evidencia el desbalance energía-proteína a que se sometieron los animales

En base a lo anterior, la digestibilidad de la PC, está altamente relacionada con la energía disponible. Para el caso específico del presente experimento, se puede inferir que, aun cuando la diferencia en los coeficientes de digestibilidad de EE no impactaron con diferencias significativas en los parámetros energéticos, dados que estos dependen además de los valores de DEE, también de los valores de DFC, DPC, DELN así como del contenido de cada uno de ellos en la dieta, estas diferencias en la DEE si logro impactar en el metabolismo proteico.

A partir de esto surge la importancia de destacar la armonía y equilibrio que debe de presentarse entre el aporte nutricional y metabolismo de la proteína con los requerimientos y aportes energéticos a los que esté sometido el animal, ya que de lograrse de forma exitosa, se estaría impactando en gran manera en la eficiencia metabólica y potencial productivo.

Ahora bien, en referencia al coeficiente de DFC, se puede observar que dicha variable también presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) obteniendo un coeficiente de digestibilidad mayor (61.6%) para el caso de la utilización de grasa encapsulada. Este comportamiento es de alguna manera predecible, partiendo del hecho que la adición convencional de la grasa en raciones para rumiantes, tiene efectos negativos sobre la digestibilidad de los carbohidratos presentes en la fibra, esto debido principalmente a un recubrimiento físico por parte de la grasa sobre la fracción fibrosa de la dieta, provocando situaciones como: efectos tóxicos directos sobre poblaciones de microorganismos, efecto tensoactivo, problemas con la digestibilidad de la fibra, y una reducción de la disponibilidad de cationes en el medio ruminal (Ojeda y Escobar, 1994). Es importante resaltar, que a través de la inclusión de grasas tratadas en dietas para la alimentación de rumiantes, es posible disminuir estas situaciones adversas que se presentan utilizando grasa de forma natural (figura 4.5).

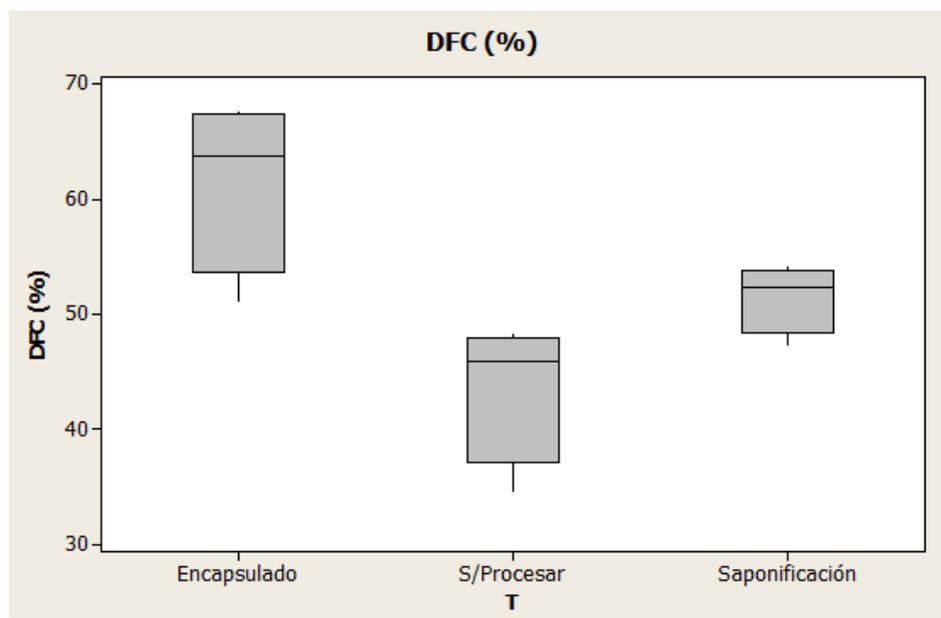


Figura 4.5.- Comportamiento del coeficiente de digestibilidad de FC en raciones para ovinos alimentados con grasa animal (5%) sometida a diferentes procesos

Los resultados mostrados en la gráfica anterior (diferencia significativa entre tratamientos:  $P < 0.05$ ) pueden atribuirse a que por medio del encapsulado se logró evitar ese efecto de recubrimiento por parte de la grasa sobre la fracción fibrosa de la dieta, evitando así efectos negativos sobre la digestibilidad de la misma, lo que a su vez pudo provocar que el tratamiento de encapsulado presentara valores más elevados en la digestibilidad de la FC, lo cual se vio reflejado en el análisis estadístico para esta variable.

## 4.2 Evaluación del contenido energético.

Los distintos procesos aplicados a la grasa, para la alimentación de los rumiantes en esta prueba, no produjo efectos significativos sobre los valores de Nutrientes Digestibles Totales (NDT) ( $P > 0.05$ ) (figura 4.6) en relación a cada uno de los tratamientos. De la misma forma tampoco se presentaron variaciones significativas sobre los demás parámetros de valoración energética: energía digestible (ED) (figura 4.7), energía metabolizable (EM), energía neta de mantenimiento (ENm), y energía neta

de ganancia (ENg) ( $P>0.05$ ). Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con grasa animal tratada con diferentes procesos.

| Variable de respuesta | Tratamiento |                |             | P (0.05) |
|-----------------------|-------------|----------------|-------------|----------|
|                       | S/Procesar  | Saponificación | Encapsulado |          |
| NDT (%)*              | 40.4        | 47.9           | 47.4        | 0.119    |
| ED (Mcal/kg)*         | 1.8         | 2.1            | 2.1         | 0.119    |
| EM (Mcal/kg)*         | 1.5         | 1.7            | 1.7         | 0.119    |
| ENm (Mcal/kg)*        | 0.9         | 1.1            | 1.1         | 0.119    |
| ENg (Mcal/kg)*        | 0.3         | 0.3            | 0.3         | 0.119    |

\* No muestra diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ )

Los resultados mostrados en el cuadro anterior son esperados, aun cuando se presento una diferencia significativa en los coeficientes de digestibilidad para EE, FC y PC, ya que hay que recordar que la obtención del valor de NDT, depende también de otros factores como la digestibilidad de la del ELN así como del porcentaje correspondiente a cada uno de ellos en proporción del total de la dieta. Esta aseveración es respaldada por Hoffman *et al.*, (2007), quienes mencionan que, la influencia de la digestibilidad de los nutrientes en la predicción total de NDT es muy variable, y dependiente de su contenido en base al 100% de la dieta. Con lo cual se puede sugerir que por esta razón, las diferencias en los coeficientes de DPC, DFC y de DEE no lograran impactar sobre el comportamiento de los valores de NDT (figura 4.6), y por consecuencia, los demás parámetros energéticos tampoco presentaron diferencias significativas.

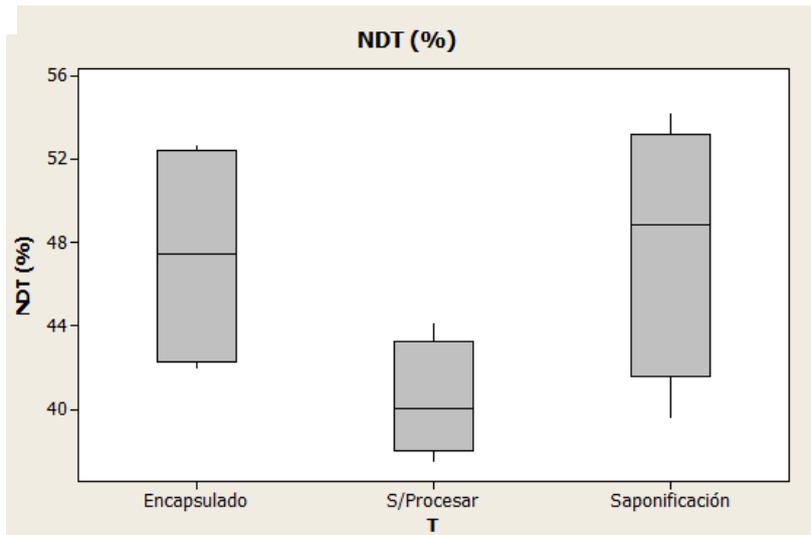


Figura 4.6. Comportamiento de los valores de NDT de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, incluyendo grasa animal, tratada con diferentes procesos.

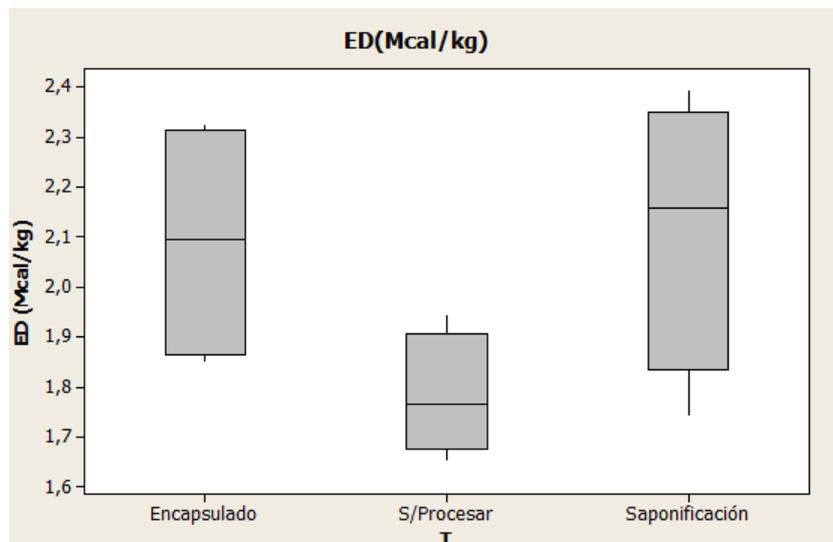


Figura 4.7- Comportamiento de los valores de ED de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, incluyendo grasa animal, tratada con diferentes procesos.

Recordando que, el resto de los parámetros energético (ED, EM, ENm, ENg) fueron obtenidos a través de cálculos basados en el valor de NDT, era de esperarse que no existiera variación significativa ( $P>0.05$ ) para cada uno de ellos, ya que al no haber diferencia en el cálculo matemático para valorar la energía (NDT) el comportamiento de los parámetros del sistema calorimétrico se mantuvieron similares.

### 4.3 Comportamiento de los coeficientes del balance de nitrógeno

Los distintos procesos aplicados a la grasa, para la alimentación de los rumiantes en esta prueba, produjo efectos significativos ( $P>0.05$ ) sobre los coeficientes de balance de nitrógeno (BN), no así para los valores de nitrógeno retenido consumido (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) los cuales no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados se muestran en el cuadro 4.4. Este resultado, con variaciones significativas ( $P>0.05$ ) para el coeficiente de BN es hasta cierto punto predecible, ya que al presentarse fluctuaciones para el parámetro de DPC ( $P>0.05$ ), se esperaría que los valores de nitrógeno dietético que el animal es capaz de retener presentaran variaciones.

Cuadro 4.4. Coeficientes de Balance de Nitrogeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con grasa animal tratada con diferentes procesos.

| Variable de respuesta | Tratamiento       |                    |                   | P (0.05) |
|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------|
|                       | S/Procesar T1     | Saponificación T2  | Encapsulado T3    |          |
| BN (g/d)*             | 15.9 <sup>b</sup> | 19.0 <sup>ab</sup> | 30.5 <sup>a</sup> | 0.043    |
| NRC (%)               | 65.4              | 65.7               | 76.7              | 0.170    |
| NRAA (%)              | 79.1              | 83.4               | 88.8              | 0.299    |

\* Muestra diferencias significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ).

Los datos anteriores pueden ser fundamentados de la siguiente forma: dado que el presente trabajo de investigación no tuvo variación en el contenido nutricional para cada uno de los tratamientos, y en base en que la utilización óptima del N depende de la velocidad y cantidad de N producido y utilizado por los microorganismos según Calsamiglia, (2004), el comportamiento del balance de nitrógeno se enfocó directamente con el coeficiente de DPC, situación que precede perfectamente estos valores, ya que al haber variación significativa entre dichos parámetros de DPC ( $P>0.05$ ), se avala el comportamiento presentado por los coeficientes para BN (figura 4.8).

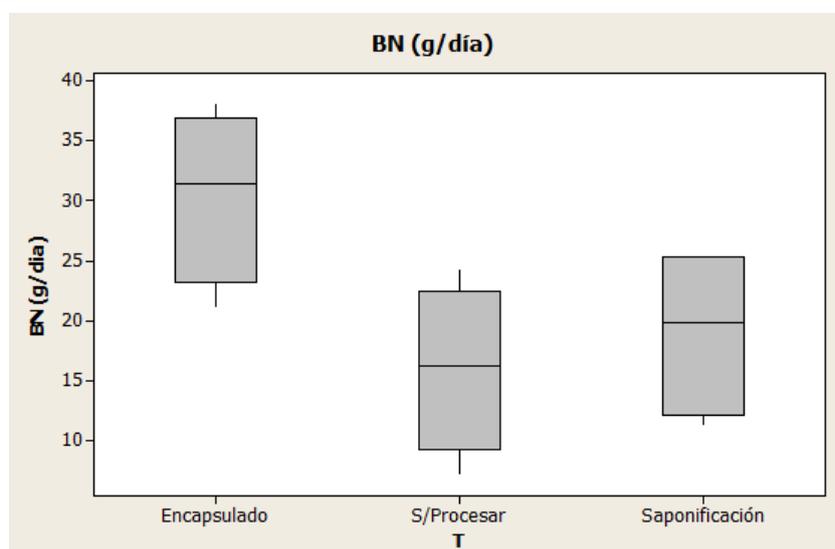


Figura 4.8.- Coeficientes de balance de Nitrogeno en ovinos alimentados con grasa animal tratada con distintos procesos.

Escobar (1994) realiza aseveraciones que confirman el efecto anteriormente explicado. Este autor señala que si se suministran alimentos con alto contenido de proteína, se están suministrando también factores nutricionales (péptidos, aminoácidos, azufre) que estimulan el crecimiento de los microorganismos del rumen con un consecuente aumento en el aprovechamiento del nitrógeno, situación presentada en esta investigación.

De igual forma hay que recordar que dentro de los factores más importantes que intervienen en la degradación de la proteína, se incluye el tipo y calidad de la misma, nivel de asimilación y digestibilidad, así como las interacciones que tiene con otros nutrientes, partiendo de esto, se puede mencionar que cada uno de estos factores se cumplen para esta investigación en específico, ya que, se mostró que la proteína utilizada presenta un elevado valor biológico (de buena calidad y digestible) de acuerdo a los valores obtenidos para los coeficientes correspondientes, sin dejar de lado la marcada relación que existe entre la asimilación de la proteína con la presencia y degradabilidad del extracto etéreo, cumpliéndose así la interacción necesaria para un adecuado balance de N.

En resumen, el comportamiento en el BN, para el cual el tratamiento de encapsulado presentó el valor más alto de asimilación, suena lógico, dado que para la digestibilidad de PC en el mismo tratamiento también mostré los parámetros más elevados, entonces, esta situación impactaría de forma positiva en la asimilación de este elemento.

En relación al nitrógeno retenido del consumido (NRC), y nitrógeno retenido del aparentemente absorbido (NRAA), no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), sin embargo se observa la tendencia a incrementar hacia el tratamiento del encapsulado, posiblemente esto se debe a una disminución en la movilización de aminoácidos en la retención del nitrógeno y mayor síntesis de sustancias orgánicas y tejidos corporales (Clavero *et al.*, 1997).

## V. CONCLUSIONES

El procesado de la grasa animal en base a un encapsulado por medio de un recubrimiento comestible, y su inclusión en una dieta integral para ovinos en relación de un 5% en base al total de la misma, provoca aumentos en los coeficientes de digestibilidad de materia seca, en comparación con su uso convencional. Es importante mencionar que este efecto en la digestibilidad de la materia seca fue provocado a su vez por variaciones tanto en digestibilidad de la proteína cruda como en la de extracto etéreo, así como en el coeficiente para fibra cruda, no habiendo cambios significativos para los demás nutrientes.

En cuanto a valores energéticos, el proceso aplicado a la grasa, no presentó diferencia significativa en el comportamiento para NDT ni para el resto de los parámetros (ED, EM, ENm y ENg), esto es, la diferencia presentada en los coeficientes de digestibilidad para EE, FC y PC, no fue factor de impacto en la determinación del comportamiento energético.

Hay que destacar que para el caso de los valores de balance de nitrógeno si se presentó una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) a favor del tratamiento en que se aplicó el encapsulado a la grasa, situación que era de esperarse, dado a que si se había tenido impacto sobre el coeficiente de DPC, este influenciaría de forma directa la asimilación del N.

En este sentido, el estudio de los nutrientes que evaden la digestión ruminal es un aspecto clave a considerar en cualquier programa de alimentación, el cual deberá tener en cuenta que el proceso digestivo en rumiantes incluye mantener un alto nivel de digestión en la parte baja del sistema digestivo, pero sin dejar a un lado la fermentación y degradación de nutrientes a nivel ruminal.

## VI. RESUMEN

A efecto de probar la hipótesis de que el uso de grasa animal procesada por medio de la saponificación y el encapsulado mejora los coeficientes de digestibilidad en rumiantes, se elaboraron tres dietas integrales basadas en los requerimientos nutricionales de los animales, entre las cuales, la única fuente variación, fue el proceso aplicado a la principal fuente lipídica (sebo de res), la cual se incluyó en un 5% en base al total de la dieta. La distribución de los tratamientos se dio de la siguiente forma: el tratamiento uno (T1) aplicó como testigo y se incluyó la grasa de manera convencional, para el tratamiento dos (T2) la grasa se sometió a un proceso de saponificación (a base de NaOH), y para el tratamiento tres (T3) se aplicó un recubrimiento comestible, elaborado en base a mucilago de chíá (*Salvia hispánica*). Se realizó un experimento de digestibilidad *in vivo* con 5 ovinos machos de la raza charolais. La prueba tuvo una duración total de 36 días, la cual estuvo dividida en tres etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que seis días se destinaban para el periodo de adaptación y seis para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron la misma relación en tipo y cantidad de ingredientes. Los resultados arrojados por esta investigación son los siguientes: los coeficientes de digestibilidad de la PC, FC, y del EE presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), mostrando los valores más elevados para el tratamiento tres (encapsulado). Lo anterior provocó aumentos ( $P < 0.05$ ) sobre la digestión global de la MS, siendo los valores más altos, cuando la grasa se incluyó en la dieta de forma encapsulada. Los parámetros energéticos no fueron alterados con la adición de las grasas procesadas ( $P > 0.05$ ). Para los coeficientes de balance de nitrógeno si se mostro una variación significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, de igual forma, siendo el tratamiento tres el que mostro un balance más eficiente. La inclusión de grasa de sobrepaso en la

alimentación de rumiantes, favorece la eficiencia alimenticia, influye de manera positiva sobre los valores de digestibilidad, en otras palabras, se reduce los efectos negativos en el metabolismo animal en comparación con la inclusión de grasa en forma convencional.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acurero M.M. 1999. Uso de grasas en la alimentación animal. Centro de investigaciones agropecuarias del Estado Zulia. FONAIAP, Venezuela.
- Aguilar, R.A.E. 2013. Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica. Tesis Presentada como requisito parcial para obtener el título de: Ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Allen, M. S., D. R. Mertens. 1987. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. J Nutr 1988; 118:261-270
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analisis. 15 ed. Indiana University. Arlington, VA. U.S.A.
- Bach, A. 2001. La reproducción del vacuno lechero: nutrición y fisiología. VII Curso de Especialización FEDNA la reproducción del vacuno lechero: nutrición y fisiología. Purina, España.
- Bailón, M. R. 2009. El jabón de aceite de oliva y sosa (II). Posted January 30th.
- Brandt RTJr, Anderson SJ (1990) Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. J. Anim. Sci. 68: 2208-2216.
- Brazel, C.S. 1999. Soluciones que ofrece el micro encapsulado para la industria alimentaria. Cereal Food World 44: 338-390, 392-393.
- Broderick G. 2006. Improving Nitrogen utilization in the rumen of the lactating dairy cow. Florida ruminant nutrition symposium, Gainesville FL. USA.
- Byers, F. M., and G. T. Schelling. 1993. Lipids metabolism in ruminant nutrition. Pages 298–312 in The Ruminant Animal: Digestive,

- Physiology, and Nutrition. D. C. Church, ed. Waveland Press Inc., Long Grove, IL.
- Calsamiglia, S. 2004. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 42 pp.
- Castellanos. A. Llamas, G. Shimada A. 1990. Manual de técnicas en investigación en rumiología. Primera edición. Sistema de Educacion Continua en Produccion Animal en Mexico A.C. Mexico, D.F.
- Cebrian, A.G. 2010. Nuevas tecnologías de conservación y su aplicación a la industria alimentaria. Depto. De producción animal y ciencia de los alimentos. Universidad de Zaragoza. España.
- Church, D.C. 1993. El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Tomo II. Ed. Acribia S.A. 4ª Edición. Zaragoza, España: 339-350.
- Church, D. C., W. G. Pond. 1994. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Editorial UTEHA. México.
- Clavero, T., Romero, F., Razz, R. Rodríguez, A. 1997. Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Gliricidia sepium*. Rev. Científica. FCV-LUZ. Vol VII. Nº 2.
- Cochran, R.C., Adams, D.C., Wallace, J.D. y Galyean, M.L. 1986. Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers. J. Anim. Sci. 63: 1476 - 1483.
- Cuvelier C, Cabaraux JF, Dufrasne I, Hornick JL, Istasse L. 2004. Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. Ann. Med. Vet. 148: 133-140.
- Dean, D., N. Parra de S., A. Quintero, S, Meléndez y R, Roman. 1999. Efecto de la adición de harina de carne y sebo animal como fuentes de proteína y energía sobrepasantes en bloques multinutricionales sobre el consumo voluntario y la digestibilidad en ovinos alimentados con heno de baja calidad. Revista Científica FCV-LUZ. Vol. IX Nº 5. 399-404.

- Duan, P.M. 2010. Nuevos procesos de transformación y control de productos alimenticios. CENTA. Centro de nuevas tecnologías y procesos alimentarios. Monells Girona.
- Escobar, A. 1994. Utilización de los residuos agrícolas fibrosos en la alimentación animal. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UCV, Informe Anual 1979, Maracay, Venezuela.
- Esparza, C.I. Iriarte, G.J.M. 2011. El encapsulado como herramienta para la utilización de aditivos. Depto. de farmacia y tecnología farmacéutica. Universidad de Navarra. Pamplona
- Espinoza, P.F.L. 2011. Metabolismo de lípidos. Universidad católica agropecuaria del trópico seco. Medicina veterinaria y zootecnia. Estelí Nicaragua Nicaragua.
- Fernández P.I. y Maté, J.I.C. 2011. Películas y recubrimientos comestibles como herramienta emergente para la industria alimentaria. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad pública de Navarra. Pamplona.
- Galvis, D.R., Correa, J.H., Ramirez, F.N., 2003. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. Rev Col Cienc Pec Vol. 16: 3, 2003. Medellín Colombia.
- Gallardo, M. L. 2000. Los nutrientes by-pass en los sistemas lecheros pastoriles: una moda o una necesidad?. Revista INFOGANADERO. Centroamericano S.A.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook N° 379. ARS, USDA, Washington, D. C
- Gou, P. Arnau, J. Monfort, J.M. 2002. Procedimiento acelerado de secado y madurado de productos alimenticios. España. Universidad Pública de Navarra.

- Grajales y López, 2006. Híbridos del maíz para las regiones cálidas de buena productividad. Revista fitotecnica A.C. Chapingo, México.
- Hermida, L., Dománico, R., Sabés, M., Barnadas, R. 2004. Estudios de absorción de hierro en liposomas mediante cultivos celulares. 5ª Jornada de desarrollo e innovación. INTI. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Argentina.
- Hernández, R. 2010. Efectos de la suplementación con grasa sobrepasante sobre parámetros productivos y reproductivos en vacas Brahman de primer parto a pastoreo. Trabajo de ascenso. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela. pp. 97.
- Hernández, R. y Díaz, T. 2011. Las grasas sobrepasantes y su efecto sobre la actividad productiva y reproductiva en rumiantes. Publicado en: Innovación & Tecnología en la Ganadería Doble Propósito, de la Fundación GIRARZ, C. González-Stagnaro, N. Madrid-Bury y E. Soto Belloso (eds). Ediciones Astro Data S.A. Capítulo XXXIII. Pp: 333-343. 2011. Venezuela.
- Hernández, R., Díaz, T. y Betancourt, R. 2010. El uso de grasa sobrepasante con altos niveles de ácidos grasos poli-insaturados en la respuesta productiva y reproductiva de rumiantes. Venezuela.
- Hoffman. E., Mesa. P.; Cadenazzi, M. 2007. Caracterización de cultivares de trigo Primer ciclo de Baguette 11, Baguette 13, Biointa 1002, Biointa 3000 y segundo ciclo de Biointa 1001. Décima Jornada de la Mesa Nacional del trigo. Mercedes. Uruguay. 2008.
- Jenkins, T. 1993. Lipid metabolism in the rumen. Journal of Animal Science. 76: 3851-3863.
- Jenkins, T. 2004. Challenges of meeting cow demands for omega fatty acids. Florida Ruminant Nutrition Symposium. Argentina.
- Kaske, M. & Engelhardt, W. V. 1990. The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep. British Journal of Nutrition 63, 457-465.

- Krochta, J.M. y De Mulder-Johnson C. 1997. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technol.* 51(2): 61-74
- Mateos, G.G, Rebollar, P.G., Medel, P. 1996. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en alimentación animal: grasas puras y mezclas. Departamento de producción animal. Universidad politécnica de Madrid.
- Mattos, R., Staples, C.R. and Thatcher, W.W. 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Reviews of Reproduction.* 5:38-45.
- Medina, V.J. y Vásquez, M.G. 1992. Análisis experimental del movimiento de partículas en un tubo de lecho fluidizado. Depto. De ingeniería química, I. Tecnológico de Aguascalientes. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 8(2): 41-48
- Monroy, J. M. H. 1999 Uso de la grasa de sobrepaso en la lactación de cabras en lactación avanzada. Tesis Ingeniero Agrónomo, Especialidad en Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Morales. R.M.A. 2011. Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola. Monografía UAAAN. Saltillo Coahuila.
- Nava, C.C. y Díaz, C.A. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de nutrición animal. Facultad de medicina veterinaria y Zootecnia UNAM. 16 Junio 2001. *Nutrición de Rumiantes.* Universidad de los Andes. Mérida.
- Niemeyer H. 1978. *Bioquímica. Volumen II.* 2ª Ed. Intermedica, Buenos Aires Argentina. 270p.
- NRC. 1990. Definition of Pain and Distress and Reporting Requirements for Laboratory Animals: Proceedings of the Workshop Held June 22, 2000. Washington DC: National Academy Press. p 179-198.
- Ojeda, A. y A. Escobar. 1994. Las grasas en la suplementación de bovinos. En: X Cursillo sobre Bovinos de Carne. Facultad de Ciencias

Veterinarias, Universidad Central de Venezuela. Maracay 20-21 de Octubre: 97-117.

Palmquist DL. 1996. Utilización de lípidos en dietas para rumiantes. Department of Animal Sciences. OARDC/OSU, Wooster, OH. En: XII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España.

Palmquist, D. y Jenkins, T. 1980. Fat in lactation rations. J. DairySci. 63: 11.

Pérez, B. y Baez R. 2003. Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. Alimentaria julio-agosto. Revista de tecnología e higiene de los alimentos. Madrid, España.

Preston, T.R. y R.A. Leng. 1990. Principios nutricionales en los sistemas pecuarios del pequeño productor. En: Ajustando los Sistemas de Producción Pecuaria a los Recursos Disponibles: Aspectos Básicos y Aplicados del Nuevo Enfoque sobre la Nutrición de Rumiantes en el Trópico. Preston y Leng Editores. Londres, R.U. 310 pp.

Relling, A. E., y A. G. Mattioli. 2003. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. De "Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes. Ed. Facultades de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de la Plata.

Risch, S. J. y Reineccius, G. A. 1998. Flavor Encapsulation (Amer. Chem. Soc., Washington).

Rivas, E.I.P, Gil, A.M.E., Torres, S.I.A. 2005. Influencia del emulgente en las características de micro capsulas obtenidas por polimerización interfacial. Depto. Farmacia y Tecnología Farmacéutica. Facultad de Farmacéutica. Universidad de Madrid.

Rojas, G.M.A. 2009. Recubrimiento y sustancias de origen natural en manzana: una nueva estrategia de conservación. Tesis de doctorado. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad de Lleida. España.

Ruiz H.F. 2009. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucilago de nopal en fresa (*Fragaria Ananassa*) almacenada en refrigeración. Tesis Profesional. Departamento de ingeniería química y alimentos. Universidad de las Américas Puebla, México.

- Salvador, A. 2009. Efecto de la alimentación con grasa sobrepasante sobre la producción y composición de la leche de cabra en condiciones tropicales. *Zootecnia Tropical*. 27:285-298
- Sosa, C.; Abecia, J.A.; Forcada, F.; Vinales, C.; Tasende, C.; Valares, J.A.; Palacin, I.; Martin, G.B. and Meikle, A. 2006. Effect of undernutrition on uterineprogesterone and oestrogen receptors and on endocrineprofiles during the ovine oestrous cycle.*Reprod. Fertil.Dev.* 18: 447-458
- Soto. P. J. M. 2005. Hidróxido de sodio en la digestibilidad y en los indicadores bioquímicos ruminales. *Revista electrónica de veterinaria REDVET ISS*
- Souza y Dos Santos, 2002 Digestibilidad in vivo, Balance de nitrógeno e ingestión voluntaria en ovinos alimentados con paja de cebada tratada con urea.
- Staples, C.R., Burke, J.M. and Thatcher, W.W. 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *Journal of Dairy Florida Ruminant Nutrition Symposium*.
- Tamminga, S y M. 1993. Doreau, M. Lipids and rumen digestión. In: J.P. Jouany (Ed.). *Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestión*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), París: 151-163.
- Télles SJ. Ramírez JA. Pérez C, Vázquez M, Simal J. 2001. Aplicación de la alta presión hidrostática en alimentos. *Ciencia y tecnología alimentaria* 3:66-80.
- Trejo, M.M.A. 2010. Aplicación de recubrimientos comestibles. Taller multidisciplinario de ingeniería en alimentos-procesos tecnológicos de frutas y hortalizas. Facultad de estudios superiores Cuautitlan. UNAM.
- Valls, P. A. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. I Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes. IX CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Comstock, Cornell University Press. 2<sup>nd</sup> Edition.P.373.

- Wattiaux, M.A. 2005. Fine-tuning test-day MUN records for DHI-related variables, pp 71-85 in: Four-State Dairy Nutrition and Management Conference. June 15-16, Dubuque IA. MidWest Plan service 4SD18
- Welch, J. G. 1986. Physical parameters of fiber affecting passage from the rumen. *J. Dairy Sci.* 69:2750
- Wiseman, 1984. Growth response of corn earworm (*Lep.: Noct.*) larvae on meridic diets containing fresh and lyophilized corn silk. *J. Econ. Ent.* 77: 1159-1162.
- Yáñez, F.J., Salazar, J.A.M., Chaires, M.L., Jiménez, H.J., Márquez, R.M. y Ramos, G.R. 2005. Aplicaciones biotecnológicas del micro encapsulado. 20ª Exposición internacional de la industria del envase y el embalaje. Ciudad de México.
- Zamora, R. 2010. Producción y composición de la leche y queso fresco pasteurizado de cabras suplementadas con grasa sobrepasante con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados. Tesis licenciatura Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, Venezuela
- Zinn RA, Plascencia A (2004b). Future of tallow as an ingredient in livestock diets. 24th Western Nutrition Conference. Saskatoon, Saskatchewan, Canadá. pp. 21-27.

## VIII. APÉNDICE

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD

#### Modelo lineal general: DMS (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DMS (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 294,91  | 294,91    | 147,46    | 7,06 | 0,014 |
| Error  | 9  | 187,89  | 187,89    | 20,88     |      |       |
| Total  | 11 | 482,81  |           |           |      |       |

S = 4,56914    R-cuad. = 61,08%    R-cuad.(ajustado) = 52,43%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 63,5  | A          |
| Saponificación | 5 | 59,5  | A B        |
| S/Procesar     | 5 | 51,5  | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### Estadísticas descriptivas: DMS

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| DMS      | 12 | 0  | 58,16 | 1,91                       | 6,63      | 47,75  | 51,65 | 58,26   | 64,49 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| DMS      | 68,27  |

#### Modelo lineal general: DPC (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DPC (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|--------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 128,66 |      | 128,66    | 64,33     | 3,95 | 0,050 |
| Error  | 9  | 146,72 |      | 146,72    | 16,30     |      |       |
| Total  | 11 | 275,38 |      |           |           |      |       |

S = 4,03760 R-cuad. = 66,72% R-cuad.(ajustado) = 44,88%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 86,3  | A          |
| Saponificación | 5 | 82,8  | A B        |
| S/Procesar     | 5 | 78,3  | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: D PC

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| D PC     | 12 | 0  | 82,46 | 1,44                       | 5,00      | 71,20  | 79,57 | 83,40   | 84,91 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| D PC     | 89,87  |

### Modelo lineal general: DEE (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DEE (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|--------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 17,381 |      | 17,381    | 8,691     | 6,28 | 0,020 |
| Error  | 9  | 12,449 |      | 12,449    | 1,383     |      |       |
| Total  | 11 | 29,830 |      |           |           |      |       |

S = 1,17610 R-cuad. = 58,27% R-cuad.(ajustado) = 48,99%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 97,8  | A          |
| Saponificación | 5 | 95,5  | A B        |
| S/Procesar     | 5 | 95,0  | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## Estadísticas descriptivas: D EE

| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| D EE     | 12 | 0  | 96,111 | 0,475                      | 1,647     | 92,985 | 94,793 | 95,991  | 97,556 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| D EE     | 98,370 |

## Modelo lineal general: DFC (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DFC (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 647,43  | 647,43    | 323,72    | 9,25 | 0,007 |
| Error  | 9  | 314,81  | 314,81    | 34,98     |      |       |
| Total  | 11 | 962,24  |           |           |      |       |

S = 5,91428 R-cuad. = 67,28% R-cuad.(ajustado) = 60,01%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 61,6  | A          |
| Saponificación | 5 | 51,5  | A B        |
| S/Procesar     | 5 | 43,7  | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## Estadísticas descriptivas: D FC

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| D FC     | 12 | 0  | 49,61 | 4,25                       | 14,72     | 12,74  | 47,14 | 51,44   | 59,20 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| D FC     | 67,64  |

## Modelo lineal general: DFDN (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DFND (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|--------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  |        | 5,59 | 5,59      | 2,79      | 0,22 | 0,805 |
| Error  | 9  | 113,08 |      | 113,08    | 12,56     |      |       |
| Total  | 11 | 118,67 |      |           |           |      |       |

S = 3,54466 R-cuad. = 64,71% R-cuad.(ajustado) = 56,38%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Saponificación | 5 | 81,4  | A          |
| Encapsulado    | 5 | 80,5  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 79,7  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: D FDN

| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| D FDN    | 12 | 0  | 80,513 | 0,948                      | 3,285     | 73,525 | 78,396 | 81,930  | 82,139 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| D FDN    | 84,283 |

### Modelo lineal general: DFDA (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para DFDA (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|--------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 427,20 |      | 427,20    | 213,60    | 4,20 | 0,051 |
| Error  | 9  | 457,24 |      | 457,24    | 50,80     |      |       |
| Total  | 11 | 884,44 |      |           |           |      |       |

S = 7,12776 R-cuad. = 68,30% R-cuad.(ajustado) = 56,81%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 65,5  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 53,6  | A          |
| Saponificación | 5 | 52,3  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: D FDA

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| D FDA    | 12 | 0  | 57,14 | 2,59                       | 8,97      | 43,71  | 52,19 | 56,17   | 65,80 |

Variable Máximo  
D FDA 70,81

### Modelo lineal general: DELN (%) vs. T

Factor Tipo Niveles Valores  
T fijo 3 Encapsulado; S/Procesar; Saponificación

Análisis de varianza para DELN (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 85,23   | 85,23     | 42,61     | 0,67 | 0,534 |
| Error  | 9  | 568,86  | 568,86    | 63,21     |      |       |
| Total  | 11 | 654,09  |           |           |      |       |

S = 7,95023 R-cuad. = 63,03% R-cuad.(ajustado) = 51,64%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Saponificación | 5 | 50,4  | A          |
| Encapsulado    | 5 | 45,5  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 44,2  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: D ELN

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| D ELN    | 12 | 0  | 46,71 | 2,23                       | 7,71      | 36,60  | 39,61 | 47,51   | 51,84 |

Variable Máximo  
D ELN 61,68

### Modelo lineal general: BN (g/día) vs. T

Factor Tipo Niveles Valores  
T fijo 3 Encapsulado; S/Procesar; Saponificación

Análisis de varianza para BN (g/día), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|--------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 469,94 |      | 469,94    | 234,97    | 4,57 | 0,043 |
| Error  | 9  | 462,49 |      | 462,49    | 51,39     |      |       |
| Total  | 11 | 932,43 |      |           |           |      |       |

S = 7,16854 R-cuad. = 50,40% R-cuad.(ajustado) = 39,38%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 30,5  | A          |
| Saponificación | 5 | 19,0  | A B        |
| S/Procesar     | 5 | 15,9  | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: B N

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| B N      | 12 | 0  | 21,79 | 2,66                       | 9,21      | 7,17   | 14,50 | 22,67   | 28,03 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| B N      | 38,01  |

### Modelo lineal general: NRC (%) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para NRC (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC      | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 330,12  |      | 330,12    | 165,06    | 2,17 | 0,170 |
| Error  | 9  | 683,96  |      | 683,96    | 76,00     |      |       |
| Total  | 11 | 1014,08 |      |           |           |      |       |

S = 8,71755 R-cuad. = 52,55% R-cuad.(ajustado) = 47,57%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 76,7  | A          |
| Saponificación | 5 | 65,7  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 65,4  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: NRC

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| NRC      | 12 | 0  | 69,26 | 2,77                       | 9,60      | 50,86  | 63,09 | 71,09   | 75,91 |

Variable Máximo  
 NRC 85,02

### Modelo lineal general: NRAA (%) vs. T

Factor Tipo Niveles Valores  
 T fijo 3 Encapsulado; S/Procesar; Saponificación

Análisis de varianza para NRAA (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 189,37  | 189,37    | 94,68     | 1,39 | 0,299 |
| Error  | 9  | 614,74  | 614,74    | 68,30     |      |       |
| Total  | 11 | 804,10  |           |           |      |       |

S = 8,26462 R-cuad. = 63,55% R-cuad.(ajustado) = 56,56%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 88,8  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 83,4  | A          |
| Saponificación | 5 | 79,1  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: NRAA

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| NRAA     | 12 | 0  | 83,79 | 2,47                       | 8,55      | 64,05  | 79,26 | 84,09   | 90,25 |

Variable Máximo  
 NRAA 96,03

### Modelo lineal general: NDT (%) vs. T

Factor Tipo Niveles Valores  
 T fijo 3 Encapsulado; S/Procesar; Saponificación

Análisis de varianza para NDT (%), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 140,29  | 140,29    | 70,15     | 2,72 | 0,119 |
| Error  | 9  | 231,80  | 231,80    | 25,76     |      |       |
| Total  | 11 | 372,09  |           |           |      |       |

S = 5,07498 R-cuad. = 57,70% R-cuad.(ajustado) = 43,86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Saponificación | 5 | 47,9  | A          |
| Encapsulado    | 5 | 47,4  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 40,4  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: NDT

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|-------|
| NDT      | 12 | 0  | 45,25 | 1,68                       | 5,82      | 37,51  | 39,87 | 43,64   | 51,37 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| NDT      | 54,25  |

### Modelo lineal general: ED (Mcal/kg) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para ED (Mcal/kg), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 0,27271 | 0,27271   | 0,13636   | 2,72 | 0,119 |
| Error  | 9  | 0,45060 | 0,45060   | 0,05007   |      |       |
| Total  | 11 | 0,72331 |           |           |      |       |

S = 0,223756 R-cuad. = 67,70% R-cuad.(ajustado) = 53,86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Saponificación | 5 | 2,1   | A          |
| Encapsulado    | 5 | 2,1   | A          |
| S/Procesar     | 5 | 1,8   | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: ED

| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| ED       | 12 | 0  | 1,9950 | 0,0740                     | 0,2564    | 1,6539 | 1,7578 | 1,9240  | 2,2650 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| ED       | 2,3918 |

### Modelo lineal general: EM (Mcal/kg) vs. T

|        |      |         |   |
|--------|------|---------|---|
| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para EM (Mcal/kg), utilizando SC ajustada para pruebas

|        |    |         |      |           |           |      |       |
|--------|----|---------|------|-----------|-----------|------|-------|
| Fuente | GL | SC      | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
| T      | 2  | 0,18337 |      | 0,18337   | 0,09169   | 2,72 | 0,119 |
| Error  | 9  | 0,30298 |      | 0,30298   | 0,03366   |      |       |
| Total  | 11 | 0,48636 |      |           |           |      |       |

S = 0,183480 R-cuad. = 67,70% R-cuad.(ajustado) = 53,86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

|                |  |   |       |            |
|----------------|--|---|-------|------------|
| T              |  | N | Media | Agrupación |
| Saponificación |  | 5 | 1,7   | A          |
| Encapsulado    |  | 5 | 1,7   | A          |
| S/Procesar     |  | 5 | 1,5   | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: EM

|          |    |    |        |                            |           |        |        |         |        |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
| EM       | 12 | 0  | 1,6359 | 0,0607                     | 0,2103    | 1,3562 | 1,4414 | 1,5777  | 1,8573 |

|          |        |
|----------|--------|
| Variable | Máximo |
| EM       | 1,9613 |

### Modelo lineal general: ENm (Mcal/kg) vs. T

|        |      |         |   |
|--------|------|---------|---|
| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para ENm (Mcal/kg), utilizando SC ajustada para pruebas

|        |    |         |      |           |           |      |       |
|--------|----|---------|------|-----------|-----------|------|-------|
| Fuente | GL | SC      | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
| T      | 2  | 0,07374 |      | 0,07374   | 0,03687   | 2,72 | 0,119 |
| Error  | 9  | 0,12184 |      | 0,12184   | 0,01354   |      |       |
| Total  | 11 | 0,19558 |      |           |           |      |       |

S = 0,116353 R-cuad. = 67,70% R-cuad.(ajustado) = 53,86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

|                |  |   |       |            |
|----------------|--|---|-------|------------|
| T              |  | N | Media | Agrupación |
| Saponificación |  | 5 | 1,1   | A          |
| Encapsulado    |  | 5 | 1,1   | A          |
| S/Procesar     |  | 5 | 0,9   | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: EN m

| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| EN m     | 12 | 0  | 1,0374 | 0,0385                     | 0,1333    | 0,8600 | 0,9140 | 1,0005  | 1,1778 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| EN m     | 1,2437 |

### Modelo lineal general: Eng (Mcal/kg) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para Eng (Mcal/kg), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec.  | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|----------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 0,006136 | 0,006136  | 0,003068  | 2,72 | 0,119 |
| Error  | 9  | 0,010139 | 0,010139  | 0,001127  |      |       |
| Total  | 11 | 0,016275 |           |           |      |       |

S = 0,0335634 R-cuad. = 57,70% R-cuad.(ajustado) = 43,86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media | Agrupación |
|----------------|---|-------|------------|
| Saponificación | 5 | 0,3   | A          |
| Encapsulado    | 5 | 0,3   | A          |
| S/Procesar     | 5 | 0,3   | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: Eng

| Variable | N  | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| Eng      | 12 | 0  | 0,2992 | 0,0111                     | 0,0385    | 0,2481 | 0,2637 | 0,2886  | 0,3398 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| Eng      | 0,3588 |

### Modelo lineal general: CMS (g/dia) vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores                                 |
|--------|------|---------|---|
| T      | fijo | 3       | Encapsulado; S/Procesar; Saponificación |

Análisis de varianza para CMS (g/día), utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC      | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    | P     |
|--------|----|---------|------|-----------|-----------|------|-------|
| T      | 2  | 115303  |      | 115303    | 57652     | 0,46 | 0,644 |
| Error  | 9  | 1121302 |      | 1121302   | 124589    |      |       |
| Total  | 11 | 1236605 |      |           |           |      |       |

S = 352,972    R-cuad. = 59,32%    R-cuad.(ajustado) = 50,73%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

| T              | N | Media  | Agrupación |
|----------------|---|--------|------------|
| Encapsulado    | 5 | 1110,4 | A          |
| Saponificación | 5 | 968,6  | A          |
| S/Procesar     | 5 | 871,7  | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Estadísticas descriptivas: CMS

| Variable | N  | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3     |
|----------|----|----|-------|----------------------------|-----------|--------|-------|---------|--------|
| CMS      | 12 | 0  | 983,6 | 96,8                       | 335,3     | 345,6  | 726,8 | 1090,8  | 1262,2 |

| Variable | Máximo |
|----------|--------|
| CMS      | 1365,3 |