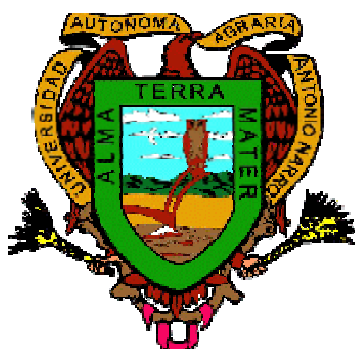


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL**



**Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre los coeficientes de digestibilidad, parámetros energéticos y balance de nitrógeno en ovinos**

**POR:**

**PEDRO GUERRERO RODRÍGUEZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre de 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre los coeficientes de digestibilidad, parámetros energéticos y balance de nitrógeno en ovinos

Tesis

Presentado por:

PEDRO GUERRERO RODRÍGUEZ

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

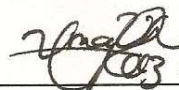
El presente trabajo ha sido evaluado y aprobado por el siguiente comité

Asesor Principal



Dr. Ramón Florencio García Castillo

Asesor



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Asesor



Ing. David Rodríguez Rivero

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Dr. Emiro López Trujillo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta nueva etapa de mi vida y por permitir la presencia de todas esas personas que siempre me han apoyado.

A mis padres: Lucía Imelda Rodríguez Bustos y Alberto Guerrero Hernández, por cada uno de sus sacrificios y apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.

A mi asesor principal el Dr. Ramón García Castillo por su apoyo y principalmente por la confianza depositada en mí para realizar este trabajo.

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 la empresa Fertilizantes Orgánicos Biogenix® S. de R.L. de C.V. y a su representante, el Ing. David Rodríguez, por su valiosa colaboración así como su entrega y confianza para la realización de este proyecto.

Al M.C. Alberto Guerrero Rodríguez, por sus atinados consejos, observaciones y su apoyo en la realización de esta investigación.

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.

AIDr. Jairo Iván Aguilera Soto, de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas por las facilidades prestadas y colaboración en la realización de este proyecto.

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

A Isel García, por brindarme su amistad y su apoyo

## **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 como conducirme por la vida, y por alentarme dándome fortaleza para afrontar los retos de la vida.

### **A mis hermanos:**

Mayra Yaneth, Miriam Berenice, Lucia Guadalupe, Alberto e Imelda Abigail, quienes me han brindado su cariño y comprensión.

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

Por darme la oportunidad de existir y por las personas que ha puesto a mi lado.

La presente investigación se realizó en el marco de las actividades del proyecto **“Formulación, elaboración, caracterización y evaluación de un alimento para ganado ovino empleando subproductos de la industria cervecera”**, con clave **0203-0402.2292**, dicho proyecto financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, contando con la colaboración de:

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Dr. Ramón Florencio García Castillo

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

Dr. Roberto García Elizondo

Dr. Fernando Ruíz Zarate

M.C. Alberto Guerrero Rodríguez

Dra. Diana Jasso Cantú

Ing. David Rodríguez Rivero

AIDr. Jairo Iván Aguilera Soto

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Unidad Metabólica e Investigación y Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se realizó una prueba de digestibilidad en la cual se utilizaron 5 ovinos machos de la raza Dorpeer con un peso promedio de 37 kg. La prueba de alimentación tuvo una duración total de 70 días, la cual estuvo dividida en cinco etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que siete días se destinaban para el periodo de adaptación y siete para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron una relación forraje:concentrado de 30:70. La inclusión de un producto peletizado en base al concentrado fue en niveles de: T<sub>1</sub>, 0; T<sub>2</sub>, 25; T<sub>3</sub>, 50; T<sub>4</sub>, 75; y T<sub>5</sub>, 100%. La inclusión de diferentes niveles de pelet en la ración, 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 del extracto etéreo (DEE) y de la fibra detergente neutro (DFDN) ( $P < 0.05$ ); sin embargo, los coeficientes de digestibilidad para cada uno de los demás nutrientes (DPC, DFC, DFDA y DELN) no presentaron una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ), tampoco se produjeron efectos significativos sobre los valores de Nutrientes Digestibles Totales (NDT) ( $P > 0.05$ ), energía digestible (ED), energíametabolizable (EM), energía neta de mantenimiento (ENm), energía neta de ganancia (ENg), ni en los coeficientes de balance de nitrógeno (BN), nitrógeno retenido consumido (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) ( $P > 0.05$ ). A través de esta investigación se determinó que, la inclusión del concentrado peletizado en dietas integrales para ovinos, aumento la DMS, dicha variación estuvo influenciada por las variaciones en la DFDN y DEE, presentándose un rango óptimo de inclusión alrededor del 60 al 70% en base al concentrado.

## Índice

	Pág.
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Objetivo general.....	2
1.5. Objetivos específicos.....	2
2. Revisión de literatura.....	3
2.1. Definición de alimento.....	3
2.2 Valor nutritivo del alimento.....	3
2.2.1 Composición química.....	4
2.1.1.1 El agua.....	5
2.2.1.2 Los carbohidratos.....	5
2.2.1.2.1 Carbohidratos estructura.....	6
2.2.1.2.1.1 Fibra cruda.....	6
2.2.1.2.1.2 Fibra detergente neutro.....	7
2.2.1.2.1.3. Fibra detergente ácido.....	7
2.2.1.2.2 Carbohidratos no estructurales.....	7
2.2.1.2.2.1Carbohidratos solubles.....	8
2.2.1.2.2.2 Almidón.....	9
2.2.1.3 Componentes nitrogenado.....	10
2.2.1.3.1 Proteína.....	10
2.2.1.3.2 Nitrógeno no proteico.....	11
2.2.1.4 Lípidos.....	11
2.2.1.4.1 Triglicéridos.....	12
2.2.1.4.2 Glicolípidos.....	12
2.2.1.5 Minerales y vitaminas.....	13
2.2.2 Clasificación de alimentos.....	14
2.3 Propiedades del alimento que impactan el consumo.....	16
2.3.1 Sapidéz.....	16
2.3.2 Forma física de la dieta.....	17
2.3.3 Energía.....	18
2.3.4. Proteína.....	19
2.4 Fibra detergente.....	20
2.4.1. Digestión.....	20
2.4.1.1 Digestibilidad.....	21
2.4.1.2 Determinación de la digestibilidad de los alimentos.....	21
2.4.2 Factores que afectan la digestibilidad.....	22
2.4.2 Métodos para determinar digestibilidad.....	23
2.4.2.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	23
2.4.2.2 Digestibilidad <i>in situ</i> .....	24
2.4.2.3 Digestibilidad <i>in vivo</i> .....	25

2.4.2.4 El método de colección total de heces.....	26
2.5 Nivel de alimentación.....	27
2.5.1 Composición del alimento.....	28
2.5.2 Utilización de antibióticos.....	30
2.5.3 Procesado de alimentos.....	30
2.6 Procesado del concentrado en rumiantes.....	32
2.6.1 Peletización.....	34
2.6.2 Proceso de peletización.....	34
2.6.3 Tamaño de partículas en la elaboración de pellets.....	36
2.6.4 Acondicionamiento de la harina en la elaboración de pellets.....	37
2.6.5 Efecto del peletizado sobre la calidad nutricional.....	39
2.7 Efecto del procesado del alimento en el proceso digestivo de los nutrientes.....	40
2.7.1 Mecanismos que regulan la salida de las partículas del rumen.....	40
2.7.1.1 Tamaño de la partícula.....	41
2.7.1.2 Densidad de la partícula.....	41
2.7.1.3 Composición del contenido ruminal y salida de partículas.....	43
2.7.1.4 Procesado de la fibra.....	45
2.7.1.5 Modificaciones de la forma física.....	45
2.7.1.6 Efecto del tamaño de la partícula sobre la ingestión.....	47
2.7.1.7 Efecto del tamaño de la partícula Sobre los parámetros	48
ruminales.....	
2.7.1.8 Efecto del tamaño de la partícula sobre la productividad de rumiantes.....	48
2.7.1.9 Factores que modifican el efecto del molido.....	50
2.8 Efectos del procesado sobre las propiedades de los nutrientes.....	51
2.8.1 Disponibilidad del almidón.....	51
2.8.2 Utilización de la proteína.....	52
2.8.3 Tasa de renovación ruminal (turnover).....	56
2.8.4 Degradación ruminal.....	57
2.8.5 Eficiencia microbiana.....	58
2.8.6 Efecto de la velocidad de paso.....	59
2.9 Valoración energética.....	59
2.9.1 Total de nutrientes digestibles.....	59
2.9.2 Método calorimétrico.....	61
2.9.3 Energía bruta.....	62
2.9.4 Energía digestible.....	62
2.9.5 Energía metabolizable.....	62
2.9.6 Energía neta.....	63
2.10 Balance de nitrógeno.....	64
	67



3. Materiales y métodos.....	67
3.1 Descripción del área de estudio.....	67
3.2 Elaboración del producto peletizado.....	67
3.3 Análisis de muestras.....	68
3.4 Prueba de alimentación.....	68
3.4.1 Tratamientos.....	70
3.5 Instalaciones y equipo.....	70
3.6 Alimentación.....	70
3.7 Recolección de heces y orina.....	71
3.8 Variables determinadas en el experimento.....	71
3.9 Cálculo de las variables.....	72
3.9.1 Cálculos para determinar los coeficientes de digestibilidad.....	72
3.9.2 Valoración energética.....	72
3.9.2.1 Cálculo de nutrientes digestibles totales.....	72
3.9.2.2 Cálculo de ED, EM, ENm y ENg.....	73
3.9.2.3 Cálculo de balance de nitrógeno.....	73
3.10 Análisis estadístico.....	74
4. Resultados y discusión.....	75
4.1 Comportamiento de los coeficientes de digestibilidad.....	75
4.2 Evaluación del contenido energético.....	83
4.3 Comportamiento de los coeficientes del balance de nitrógeno.....	86
5. Conclusión.....	89
6. Literatura citada.....	90
7. Anexo.....	105

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 2.1</b> Biodisponibilidad de los componentes celulares.....	8
<b>Cuadro 2.2</b> Ácidos grasos comunes encontrados en el rumen.....	13
<b>Cuadro 2.3</b> Principales métodos de procesado del concentrado.....	33
<b>Cuadro 2.4</b> Datos del análisis proximal y de la digestibilidad de un alimento hipotético.....	60
<b>Cuadro 3.1</b> Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración del pelet.....	67
<b>Cuadro 3.2</b> Caracterización nutricional de los tres principales componentes de la dieta .....	68
<b>Cuadro 3.3</b> Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la prueba de alimentación.....	69
<b>Cuadro 3.4</b> Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.....	70
<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 diferentes niveles de pelet en base al concentrado.....	75
<b>Cuadro 4.2</b> Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado.....	84
<b>Cuadro 4.3</b> Coeficientes de Balance de Nitrogeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	87

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1</b> Composición general de los alimentos utilizados en la nutrición de rumiantes..... .....	4
<b>Figura 2.2</b> Estructura básica de los triglicéridos. Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena de carbonos de longitud y saturación variable.....	12
<b>Figura 2.3</b> Clasificación básica de los alimentos.....	15
<b>Figura 2.4</b> Representación de una peletizadora simple y el tipo de dado que utiliza.....	36
<b>Figura 2.5</b> Cinética de degradación ruminal de la cebada y del maíz.....	40
<b>Figura 2.6</b> Representación esquemática del rumen y del retículo en un plano vertical. Las flechas indican los movimientos del contenido.....	42
<b>Figura 2.7</b> Cinética de degradación ruminal de la harina de soja y de la soja cruda o extrusionada a 132 y 149°C.....	53
<b>Figura 2.8</b> Proporción de la proteína ingerida que es digerida en el rumen y en el intestino delgado de dietas con harina de soja, soja cruda o extrusionada a 132 y 149°C.....	54
<b>Figura 2.9</b> Influencia del tratamiento térmico sobre la proporción de proteína indegradable en el rumen y digestible en el intestino delgado.....	55
<b>Figura 2.10</b> Distribución energética de los procesos orgánicos.....	64
<b>Figura 4.1</b> Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DMS en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.....	76
<b>Figura 4.2</b> Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	77
<b>Figura 4.3</b> Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DEE en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.....	80

<b>Figura 4.4</b> Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DFDN en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.....	81
<b>Figura 4.5</b> Comportamiento de los valores de NDT de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	85
<b>Figura 4.6</b> Comportamiento de los valores de ED de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	85
<b>Figura 4.7</b> Comportamiento de los valores de EM de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	86
<b>Figura 4.8</b> Coeficientes de balance de Nitrogeno en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T <sub>1</sub> =0%, T <sub>2</sub> =25%, T <sub>3</sub> =50%, T <sub>4</sub> =75%, T <sub>5</sub> =100%).....	88

**Palabras clave:**

**Digestibilidad, peletizado, digestibilidad in vivo, valoración energética, balance de nitrógeno, subproductos agroindustriales.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

Diversos subproductos de origen agroindustrial representan un uso potencial en la alimentación de rumiantes debido primeramente a su bajo costo y a su alto valor nutritivo. Sin embargo, a pesar de la disponibilidad, bajo costo y a las diversas propiedades nutricionales encontradas en estos subproductos, en la actualidad no se están aprovechando de manera óptima debido a que diversos factores restringen su incorporación en dietas integrales para ganado, constituyendo el contenido de humedad la principal limitante al momento de su incorporación en la alimentación de rumiantes (Guerrero, 2009).

### **1.2 Justificación**

Bajo el mismo contexto, el uso de concentrados en la nutrición de rumiantes representa un factor clave en la eficiencia alimenticia y por lo tanto en la eficiencia económica siempre y cuando se considere su valor nutritivo que muchas veces se enfoca sobre la digestibilidad de los nutrientes (Merchen, 1993).

Tenemos entonces, que los subproductos que pueden formar parte del concentrado en las dietas para rumiantes pueden ser aptos a procesar mediante diversos mecanismos, donde el peletizado representa una opción viable ya que su aplicación cuenta con una serie de ventajas en comparación con el típico alimento en polvo, aunque para ello es necesario conservar la calidad e inocuidad del alimento al ser administrado al animal (Rodríguez, 2006)

En consecuencia, el peletizado de ciertos componentes del alimento representa una opción viable para resolver la problemática de incorporación y manejo de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes.

### **1.3 Hipótesis**

El producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales mejora los coeficientes de digestión de los componentes del alimento lo que podrá impactar sobre la eficiencia biológica y económica.

### **1.4 Objetivo General**

Evaluar el valor nutritivo de un producto paletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales.

### **1.5 Objetivos específicos**

- Formular un alimento balanceado para ganado ovino, incorporando subproductos agroindustriales de diversas industrias.
- Elaborar un producto peletizado estable a base de subproductos de distintas industrias.
- Evaluar mediante una prueba *in vivo* los coeficientes de digestibilidad de la materia seca y de los nutrientes propios del pelet
- Valorar las propiedades energéticas del producto peletizado ofrecido a ovinos.
- Evaluar el balance de nitrógeno de ovinos alimentados con diferentes niveles del producto peletizado,

## **2. Revisión de Literatura**

### **2.1 Definición de alimento**

Un alimento puede ser definido como cualquier componente de una dieta o ración que puede aportar o no los nutrientes básicos necesarios para el organismo animal. Los nutrientes son compuestos orgánicos y/o inorgánicos esenciales para los procesos metabólicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y minerales) (Gaggiotti, 2008).

### **2.2 Valor nutritivo de un alimento**

Varios sistemas han sido desarrollados en diversos países para la valoración de alimentos y estimación de las necesidades nutricionales del animal. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas, y debe ser evaluado de acuerdo a los objetivos del mismo y las condiciones en las cuales será aplicado (Church y Pond, 1994).

Los principales factores que se consideran importantes para la valoración nutricional de los alimentos utilizados en la alimentación se basan en cuatro factores principales (Church y Pond, 1994, Merchen, 1993, NRC, 1984).

El valor nutritivo de los alimentos está determinado por:

- ✓ Composición química (concentración de nutrientes).
- ✓ Consumo de dicho alimento por el animal.
- ✓ La digestibilidad de los nutrientes y los productos finales de su digestión.

El valor nutritivo hace referencia a las características del alimento consumido, que determina su concentración de energía digestible y su eficiencia parcial de utilización. La disponibilidad de los nutrientes de un alimento está

esencialmente determinada por su composición química (concentración de nutrientes disponibles y no disponibles y estructuras orgánicas e inhibidores a los que están ligados, que pueden limitar su biodisponibilidad) (Sainz *et al.*, 1994).

### 2.2.1 Composición química

Los constituyentes de los alimentos son el agua y la materia seca. La materia seca incluye compuestos orgánicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos y vitaminas) e inorgánicos (minerales) (Gaggiotti, 2008).

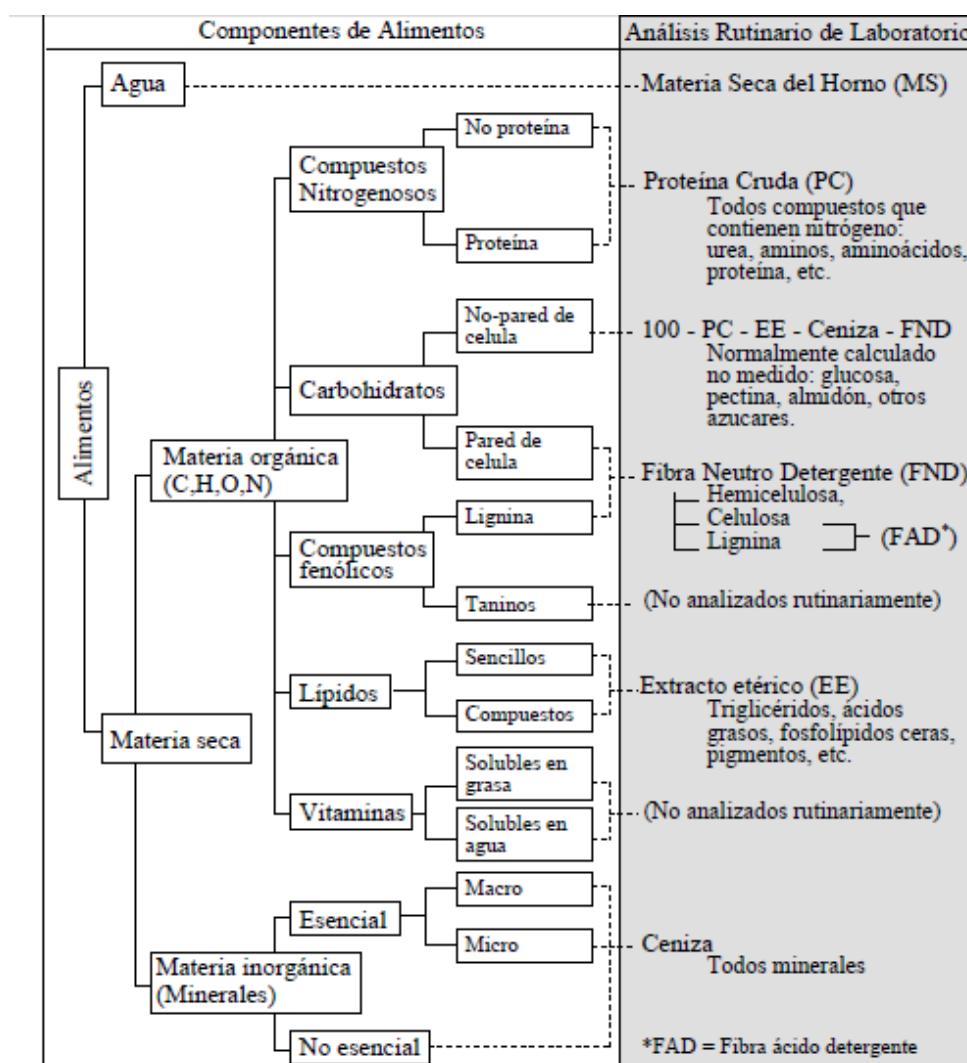


Figura 2.1.- Composición general de los alimentos utilizados en la nutrición de rumiantes (Wattiaux, 2005).



### **2.2.1.1 El agua**

El contenido de agua de los alimentos está sujeto a un amplio rango de variación. Puede oscilar desde un 8 % o menos en los alimentos secos (granos y rastrojos) hasta un 80-90 % en los alimentos succulentos (forrajes muy tiernos, raíces y tubérculos). La proporción de agua de los pastos es de aproximadamente 90 % a comienzo de primavera y de 65 % en verano, de manera que, la densidad de nutrientes se ve aún más disminuida en primavera que en verano (Church, 1993).

En las dietas basadas principalmente en alimentos con alto contenido de humedad, la presencia de agua diluye en forma marcada la concentración de nutrientes. Por otra parte es importante destacar que el agua en los pastos es predominantemente intracelular, contribuyendo al volumen de la dieta. La densidad y el contenido de agua de un forraje están intrínsecamente ligados y ambos pueden tener un gran impacto sobre el consumo voluntario (Church, 1993).

En varios trabajos se ha registrado que el contenido de agua en los alimentos tendría un efecto negativo sobre el consumo total de materia seca (Gaggiotti, 2008).

### **2.2.1.2 Los carbohidratos**

Los alimentos que componen las dietas de los rumiantes son en su mayoría ingredientes de origen vegetal, los cuales están constituidos en buena parte por carbohidratos, ahora bien, el principal objetivo en la alimentación del ganado es sin dudas, la conversión eficiente de estos materiales en proteínas y lípidos (carne/leche), lo cual se logra a través de la población microbiana del rumen que es capaz de metabolizarlos, con beneficios para su huésped (Gaggiotti, 2008). Aun así, es importante recalcar que los carbohidratos pueden incluirse en la dieta de rumiantes de diferente forma.

### **2.2.1.2.1 Carbohidratos estructurales**

Las alimentos para rumiantes contienen carbohidratos en diferentes estados de polimerización, que van desde monosacáridos hasta polímeros de alto peso molecular, como el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y la pectina. Los últimos tres están integrados en la matriz de la pared celular y por lo tanto se los ha denominado carbohidratos estructurales. Son causantes de la fibrosidad del alimento, no están disponibles para el metabolismo energético de la planta, son insolubles en agua y poseen una fermentabilidad potencial lenta y limitada. La pectina constituye una excepción debido a que es completamente fermentable en el rumen (Gaggiotti, 2008).

La degradación y fermentación de los carbohidratos estructurales en el rumen se realiza en tres fases:

- ✓ Colonización por los microorganismos de las partículas vegetales.
- ✓ Disociación de los polisacáridos de la pared celular e hidrólisis de éstos en unidades más pequeñas.
- ✓ Fermentación intracelular de estas unidades de bajo peso molecular (Russell y Hespell, 1981).

#### **2.2.1.2.1.1 Fibra cruda**

En muchos países, el contenido de fibra cruda es la medida oficial para determinar el contenido de fibra en un alimento. Sin embargo, no es un método preciso para medir las paredes de las células. En la actualidad el concepto de fibra cruda está siendo reemplazado por el de fibra ácido detergente, que ofrece un estimación más precisa del total de fibra en el alimento este concepto es la referencia real del contenido de fibra de un alimento. La fibra cruda comprende a la celulosa hemicelulosa, sustancias pécticas y a la lignina (NRC 1989).

#### **2.2.1.2.1.2 Fibra detergente neutro**

El total de la fibra de un alimento está contenido en la fibra detergente neutro (FDN) o “paredes celulares”. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa, y lignina. La FDN suministra la mejor estimación del contenido total en fibra del alimento y está estrechamente relacionado con el consumo de alimento. Al aumentar los valores de FDN, el consumo total de alimento disminuye. Por lo general se asume que los rumiantes van a consumir un máximo de FDN cercano al 1.2 por ciento de su peso corporal. Las gramíneas contienen más FDN que las leguminosas comparadas a un estado similar de madurez (NRC 1989).

#### **2.2.1.2.1.3 Fibra detergente ácido**

La fibra detergente ácido (FDA) consiste primariamente de celulosa, lignina, y una porción de proteína contenida en la FDA. Está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del alimento y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento. Cuanto mayor es el contenido en FDA menor es la digestibilidad del alimento y la energía que contendrá (NRC 1989).

#### **2.2.1.2.2 Carbohidratos no estructurales**

Los restantes carbohidratos, que no forman parte de la pared celular se denominan carbohidratos no estructurales\_(CNE). Son compuestos activos en el metabolismo de la planta, se almacenan en órganos de reserva y están constituidos principalmente por azúcares libres, almidón y fructosanos.

Este grupo de carbohidratos posee un potencial de fermentación rápida y total en el rumen (Gaggiotti, 2008). Los componentes del contenido y de la pared celular se pueden clasificar de acuerdo a su biodisponibilidad en tres clases (cuadro 2.2):

Cuadro 2.1.- Biodisponibilidad de los componentes celulares.

Componente	Digestibilidad (%)	Factor limitante
Clase 1:		
- Carbohidratos solubles	100	Consumo
- Almidón	+ 90	Pérdida fecal
- Ácidos orgánicos	100	Consumo/toxicidad
- Proteínas	+ 90	Fermentación
- Pectina	100	Fermentación
Clase 2 (pared celular)		
- Celulosa	variable	Lignificación, silificación y cutinificación
- Hemicelulosa	variable	
Clase 3:		
- Lignina	indigestible	Limitan la utilización de la pared celular.
- Cutina	indigestible	
- Sílice	indigestible	
-Taninos, aceites esenciales y polifenoles		Inhibidores de proteasas y celulasas

Fuente: (Gaggiotti, 2008).

Los alimentos que poseen un alto contenido de pared celular (voluminosos) limitan el consumo en los rumiantes pero las dietas deben contener un mínimo de fibra de adecuada calidad y propiedades físicas para mantener las condiciones normales de fermentación y evitar desórdenes metabólicos (Church, 1993).

Con alimentos demasiados fibrosos, el consumo puede incrementarse a través del procesado (picado, peletizado, reducción del tamaño de partícula y ruptura de la estructura de la pared celular) dando como resultado un incremento en la densidad de la dieta y una disminución en el trabajo de digestión y ruminación. Las ventajas de estos tratamientos dependerán de la naturaleza del alimento. En términos generales los voluminosos menos beneficiados son los de mayor digestibilidad (Gaggiotti, 2008).

#### 2.2.1.2.2.1 Carbohidratos solubles

Los carbohidratos contenidos en el protoplasma celular son llamados carbohidratos solubles o no estructurales y comprenden: azúcares, almidones, y pectinas. Los azúcares son energía instantánea. Los almidones y las pectinas son carbohidratos de almacenamiento que se fermentan más lentamente que los azúcares, representando energía instantánea para las bacterias del rumen. Las

raciones deben incluir de 30 a 45% de carbohidratos solubles en la materia seca total (Merchen, 1993).

#### **2.2.1.2.2.2 Almidón**

Entre los carbohidratos no estructurales, el almidón contenido en el endosperma del grano de los cereales, es uno de los compuestos relevantes en los sistemas de alimentación intensiva de rumiantes (Merchen, 1993).

El balance de los nutrientes contenidos en los alimentos es esencial a los fines de obtener la mayor eficiencia de conversión del alimento en producto. La velocidad y la proporción en la que son fermentados en rumen, son aspectos a tener en cuenta en el momento de seleccionar los componentes de la ración. Los carbohidratos poseen diferentes tasas de fermentación relativa. Los azúcares solubles tienen una tasa de fermentación que duplica o triplica a la de los almidones de los granos de cereales y a su vez entre estos últimos existen diferencias marcadas (avena, cebada, maíz, en orden decreciente de tasa de fermentación) (Church y Pond, 1994).

Químicamente el almidón está formado por dos tipos de polímeros, la amilosa y amilopectina. La primera constituye un 20-30 % del almidón de los cereales, caracterizándose por tener una estructura amorfa, sin restricciones al paso del agua y a la amilasa, mientras que la amilopectina, constituye el 70-80 % del almidón de los granos (Kloster y Santini, 1995). El almidón puede ser degradado tanto a nivel ruminal transformándolo en AGV o en el intestino delgado por acción de las enzimas del animal, siendo el producto absorbido, glucosa. El sitio de digestión del almidón varía en función del tipo de almidón, proporción en la dieta, nivel de consumo, edad del animal, etc. (Armstrong y Smithard, 1979).

### **2.2.1.3 Componentes nitrogenados**

El nitrógeno (N) de los alimentos puede dividirse en dos grupos principales: proteína verdadera (PV) y nitrógeno no proteico (NNP) soluble, obviando los ácidos nucleicos y otras formas de NNP. En los forrajes el contenido de ácidos nucleicos es insignificante pero los productos fermentados, ricos en microorganismos, pueden tener una cantidad apreciable de estos componentes (Owens y Goetsch, 1986).

#### **2.2.1.3.1 Proteína**

La proteína cruda es denominada “cruda” ya que no es una medición directa de la proteína sino una estimación de la proteína total basada en el contenido en nitrógeno del alimento (Nitrógeno x 6.25 = proteína cruda). La proteína cruda incluye la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico (NPN) tales como el nitrógeno ureico y el amoniacal (Owens, 1982).

El valor de proteína cruda no suministra información acerca de la composición en aminoácidos, la digestibilidad intestinal de la proteína o cuan aprovechable es en el rumen (NRC 1989) por lo que los actuales sistemas de evaluación de proteína para el ganado (ARC, NRC, INRA) separan la proteína del alimento en proteína que se degrada en el rumen (proteína degradable) de la proteína que se escapa de la degradación ruminal y pasa al intestino delgado (proteína no degradable). La proteína soluble se encuentra dentro de la fracción de proteína degradable. La proteína que se fermentará en el tracto digestivo posterior y la insoluble que está ligada a la fibra, se encuentran dentro de la fracción de proteína no degradable (NRC 1989).

La competencia entre pasaje y digestión ruminal para el sustrato potencialmente digestible define la proporción de alimento fermentado que pasará al omaso y abomaso. Este pasaje es importante debido existen diferencias

marcadas (avena, cebada, maíz, en orden decreciente de tasa de fermentación) (Owens y Goetsch, 1986).

Es importante señalar que en la reducción de la solubilidad de las proteínas están involucrados dos tipos fundamentales de reacciones químicas: a) la desnaturalización y b) la formación de uniones conjugadas con otras sustancias (Gaggiotti, 2008).

#### **2.2.1.3.2 Nitrógeno no proteico**

En la mayoría de las gramíneas y otros forrajes verdes únicamente una parte del nitrógeno procede de las proteínas, mientras que el resto consiste en sales inorgánicas de nitrógeno, nitrógeno amino etc. Esto, sin embargo, no impacta en el metabolismo del rumiante ya que puede utilizar tanto el nitrógeno inorgánico como el nitrógeno proteico, mediante la actividad microbiana del rumen, donde las bacterias medran en el nitrógeno no proteico y lo incorporan en sus propias proteínas (Orskov, 1982).

La proteína que hay en los cuerpos de los microorganismos se digiere seguidamente en el tubo intestinal del rumiante y se absorbe. Por ello, en lugar de que el animal consuma proteína pura, que es costosa, es posible aprovechar fuentes más baratas de nitrógeno, que pueden ser de igual eficacia. Las fuentes más importantes de nitrógeno empleadas en la nutrición de rumiantes son: amoníaco, urea, biuret, fosfato diamónico y polifosfato amónico (Orskov, 1982).

#### **2.2.1.4 Lípidos**

Típicamente los lípidos son extraídos de las semillas oleaginosas pero pueden estos ser incorporadas en forma entera en las dietas de las rumiantes. Los lípidos son insolubles en agua pero son solubles en solventes orgánicos (éter, cloroformo, hexano etcétera) (Wiseman, 1984).

### 2.2.1.4.1 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 2.2) (Wattiaux, 2005).

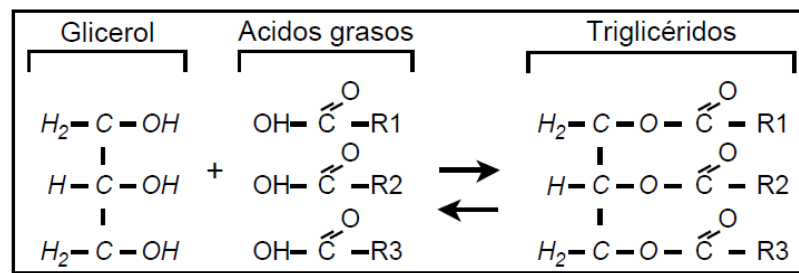


Figura 2.2- Estructura básica de los triglicéridos. Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena de carbonos de longitud y saturación variable (Wattiaux, 2005).

### 2.2.1.4.2. Glicolípidos

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

Los ácidos grasos encontrados en los lípidos de las plantas varían de 14 a 18 carbonos (cuadro 2.2). El punto de fusión determina si el lípido estará en forma líquida o sólida a temperaturas normales. 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 2.2- Ácidos grasos comunes encontrados en el rumen.

Nombre común	Estructura	Abreviación*	Punto de fusión (°C)
..... Ácidos 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
..... Ácidos 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

(Wattiaux, 2005).\* 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, si interfieren o no con la fermentación de carbohidratos en el rumen (Wattiaux 2000).

### 2.2.1.5 Minerales y vitaminas

Los minerales (solos, asociados entre sí o combinados con grupos orgánicos) forman parte de los alimentos y cumplen importantes funciones en el organismo animal, por lo que estos elementos químicos deben estar presentes en la dieta de los animales, en cantidades adecuadas. Su déficit (o eventual exceso) puede ocasionar cuantiosas pérdidas (Underwood, 1984).

Se han identificado, como mínimo 15 minerales esenciales para los rumiantes. De ellos, hay 7 macro minerales: calcio(Ca), fósforo(P), potasio(K),

sodio(Na), cloro(Cl), magnesio (Mg) y azufre(S), y 8 micro minerales: cobalto (Co), cobre(Cu), iodo(I), hierro(Fe), manganeso(Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se) y zinc (Zn) (Underwood, 1984).

En los sistemas pastoriles, los proveedores naturales de minerales son las pasturas y el agua de bebida. Los pastos, a su vez, los obtienen de los compuestos asimilables presentes en el suelo donde crecen, y generalmente existe déficit más o menos intenso de alguno de ellos (Church y Pond, 1994). Esta puede ser una de las principales razones por las que la respuesta productiva a una abundante disponibilidad de cierto alimento no sea la esperada.

El contenido de vitaminas en un alimento no está determinado rutinariamente pero son esenciales en pequeñas cantidades para mantener la salud. Las vitaminas son clasificadas como solubles en agua (9 vitaminas del complejo B y vitamina C) y solubles en grasa ( $\beta$ -carotena, o provitamina A, vitaminas D2, D3, E y K (Church, 1993).

## **2.2.2 Clasificación de alimentos**

Los alimentos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: forrajes y concentrados. El criterio para la caracterización de ambos grupos es el contenido de fibra bruta (FB); en general los forrajes contienen más del 18 % de FB y los concentrados menos del 18 %. Sin embargo, ésta clasificación es imperfecta y arbitraria. La FB no incluye totalmente a la lignina y a la hemicelulosa. Por ejemplo, la pulpa de remolacha que tiene un 17 % de FB y 47 % de pared celular (FDN), es considerada, de acuerdo a esta clasificación, como un concentrado, mientras que la alfalfa inmadura con 24 % de FB y 36 % de FDN es clasificada como un forraje (Church y Pond, 1994, Gaggiotti, 2008).

Los alimentos dentro de cada grupo varían considerablemente. Algunos forrajes frescos, como gramíneas y leguminosas en estado temprano de

crecimiento, pertenecerían al grupo de los concentrados, pero se los clasifica como forrajes debido a que su alto contenido de humedad disminuye la concentración de nutrientes por unidad de peso. Esto también se aplica a otros forrajes cuando su contenido de humedad es mayor al 40 %. Los criterios de clasificación se muestran en la figura 2.3.

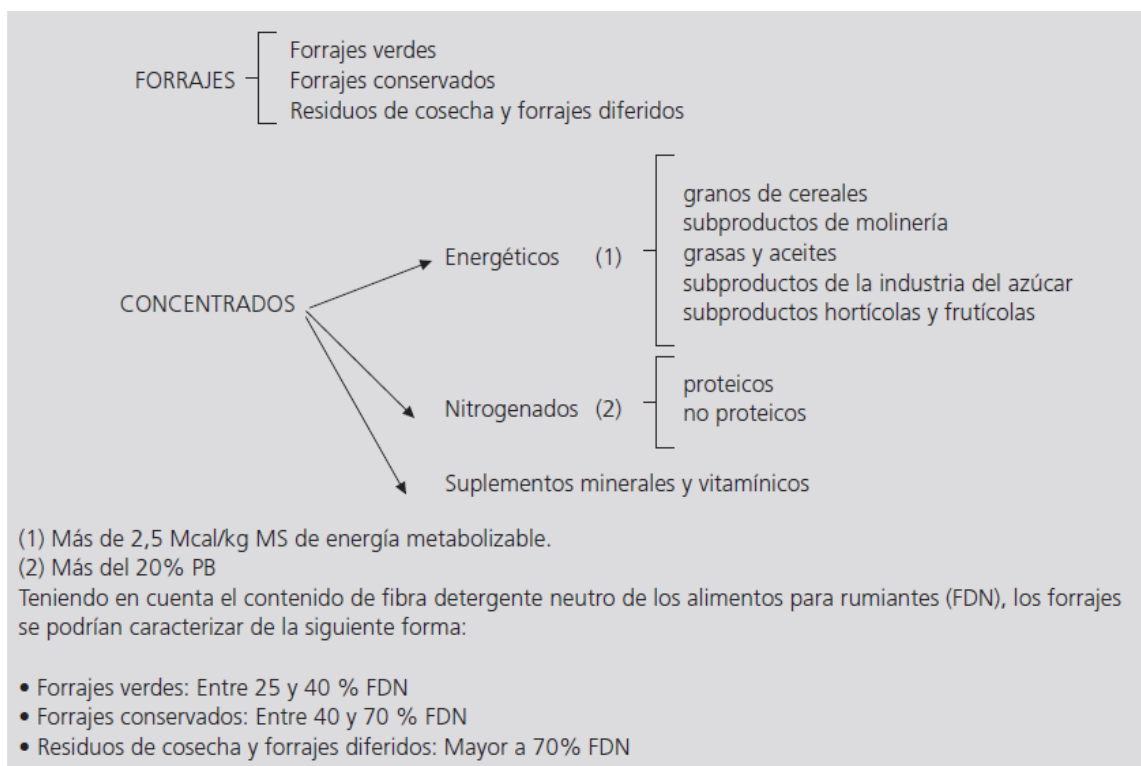


Figura 2.3.- Clasificación básica de los alimentos (Gaggiotti, 2008).

Con alimentos demasiados fibrosos, el consumo puede incrementarse a través del procesado (picado, peletizado, reducción del tamaño de partícula y ruptura de la estructura de la pared celular) dando como resultado un incremento en la densidad de la dieta y una disminución en el trabajo de digestión y ruminación. Las ventajas de estos tratamientos dependerán de la naturaleza del alimento. En términos generales los voluminosos menos beneficiados son los de mayor digestibilidad (Gaggiotti, 2008).

## **2.3 Propiedades del alimento que impactan su consumo**

Primeramente es importante hacer algunas referencias al término consumo. Minson (1990) define el consumo voluntario como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando los animales se les ofrece en exceso.

La producción animal puede ser mejorada mediante el aumento del consumo de alimento o logrando que sean más eficientes la digestión y el metabolismo. En este sentido la sapidéz y presentación tanto física como química desempeñan un papel fundamental sobre el consumo voluntario del ingrediente alimenticio (Church, 1993).

### **2.3.1 Sapidéz**

La atención prestada a la sapidéz resulta escasa si se considera su importancia en la producción animal. La sapidéz ha sido definida como la respuesta hedonista de un animal frente a su alimento dependiendo del sabor, olor y textura (Campling, 1991) y como la atracción que muestra un animal a ingerir un determinado alimento o ración (Church, 1971).

Resulta claro que la productividad y los beneficios descenderán si los animales rechazan los alimentos total o parcialmente como resultado de la presencia de polvo, enranciamiento, sabores olores o textura. Church (1993) menciona importante la investigación para encontrar productos que estimulen el consumo, ya que tales productos resultarían útiles para acortar los periodos de adaptación a nuevos alimentos o al mismo alimento con otra presentación. También pueden resultar útiles para enmascarar olores o sabores menos agradables derivados de aditivos o concentrados tales como gérmenes de malta o granos secos de destilería.

La sapidez por lo tanto, es un determinante importante en el consumo de alimentos. Sin embargo suponiendo que la sapidez no limita el consumo, entonces el consumo de la mayoría de las dietas es limitado probablemente por una mezcla de factores físicos, hormonales y químicos (Church, 1993).

### **2.3.2 Forma física de la dieta**

La forma y las propiedades físicas del alimento van a influenciar las cantidades comidas y los métodos de consumo (Baile y McLaughlin, 1987). El tamaño de la partícula en la dieta y el consumo de materia seca (MS) parecen estar asociados (Burns *et al.*, 1991). Se estima que los granos (alta densidad) son consumidos probablemente en grandes cantidades con poca frecuencia de comidas, mientras que el heno (baja densidad) es consumido más frecuentemente en pocas cantidades (Baile y McLaughlin, 1987).

Los forrajes molidos o peletizados son consumidos en mayor cantidad y esto se explica porque hay un incremento en la velocidad de pasaje (Ruiz y Vázquez, 1983), aun cuando las concentraciones cíclicas bifásicas del rumen se presentan más débiles (Forbes, 1982) debido a que las partículas cercanas a 1 mm predominan en la digesta que pasa por el orificio retículo-omasal (Burns *et al.*, 1991). El comer aumenta la frecuencia de las contracciones, aumenta la motilidad, incrementa la salida de la digesta y potencialmente aumenta el consumo voluntario (Forbes, 1982).

La tasa de degradación de las partículas en el rumen es uno de los factores fundamentales en determinar el consumo voluntario en los rumiantes alimentados en base a forrajes (Preston y Leng, 1989).

### 2.3.3 Energía

El factor más importante en determinar la ingestión total de energía por los rumiantes es el consumo voluntario y el animal debe poseer un mecanismo que regule el consumo en función del balance energético (Burns *et al.*, 1991).

Cuando los animales reciben alimentos de baja calidad (digestibilidad) en los cuales no existen desequilibrios nutricionales, la distensión ruminal y la fatiga son probablemente los mayores estímulos que interaccionan para reducir el consumo (Preston y Leng, 1989). Si un rumiante, de mediana a buena producción, sus requerimientos serán mayores y por lo tanto llegará un momento en que llena el rumen pero no reúne sus requerimientos de producción, hablamos entonces de un control físico del consumo (Montgomery y Baumgardt, 1965).

En segundo lugar podríamos considerar que a esta situación le añadimos concentrado para completar los requerimientos del animal, entonces observamos que el consumo total de MS se disminuye y la digestibilidad se aumenta, y el animal con seguridad aumenta la producción. Esto sugiere que el animal ajusta su consumo voluntario en relación a su demanda fisiológica más que al llenado del rumen (Montgomery y Baumgardt, 1965). Un mecanismo quimiostático o termostático puede ser el responsable por disminuir el consumo.

En animales a pastoreo, la principal fuente de energía metabolizable son los ácidos grasos volátiles (AGV) provenientes de la fermentación ruminal, pero el estrés térmico reduce la cantidad de AGV producidos en el rumen (McDowell, 1985). El desequilibrio de los nutrientes presentes en el alimento es, en general, lo que limita su consumo (Preston y Leng, 1989). La influencia de la baja digestibilidad se hace patente cuando los nutrientes han sido balanceados (Preston y Leng, 1989).

### 2.3.4 Proteína

El consumo normalmente se ve disminuido con dietas de baja concentración proteica (Forbes, 1982). En los rumiantes el nivel crítico de N es más bajo que en otros animales debido a que ellos pueden reciclarlo a través de la saliva en forma de urea (Forbes, 1986). Se ha postulado que los bajos niveles de N en la dieta es un factor que disminuye el consumo porque limita la fermentación ruminal y la velocidad de pasaje de la digesta (Ruiz y Vázquez, 1983) y la tasa de degradación de la celulosa (Forbes, 1986).

Una dieta baja en proteína puede ser suplementada con concentrado alto en proteína, con nitrógeno no proteico o con follaje de leguminosas. También se ha utilizado más recientemente la preparación de bloques multinutricionales los cuales resultan ser una manera práctica de suplementación en condiciones de pastoreo, observándose un incremento en el consumo de la materia seca, y aumento de la digestibilidad aparente del pasto, mejorando la retención de nitrógeno (Araujo-Febres *et al.*, 2001).

La suplementación de la dieta con proteína sobrepasante muchas veces incrementa el consumo (Preston y Leng, 1989; Forbes, 1998). Se ha señalado que es posible que los follajes de leguminosas ricas en taninos sean mejores fuentes de proteína sobrepasante que aquellos con contenidos bajos. Esto se debe a que los taninos enlazan las proteínas durante el proceso de masticación y al parecer reducen la tasa de degradación ruminal. Es poco probable, que cuando se utilicen plantas con contenidos altos en taninos como suplementos alimentarios, en concentraciones menores del 25 % de la MS de la dieta, existan problemas serios nutricionales. La suplementación de una dieta deficiente en N con una fuente adecuada incrementa el consumo al disminuir el desequilibrio de los nutrientes (Preston y Leng, 1989).

### **2.3.5 Fibra detergente neutro**

Por otro lado, la densidad de los alimentos influirá probablemente en el consumo como consecuencia de la importancia de la distensión como señal de saciedad. Existen asociaciones inversas entre los consumos de materia seca así como también entre los consumos de forrajes (gramíneas y leguminosas) y su fibra detergente neutro (FDN) o contenido de membranas celulares (Mertens, 1980).

Los niveles de FDN están a su vez asociados negativamente con la digestibilidad y positivamente con el tiempo dedicado a la rumia (Mertens, 1980). Esto se consideró como indicativo de que las membranas celulares influían sobre el consumo a través de la influencia en el retículo-rumen (Van Soest, 1982). Mertens (1980) señaló la existencia de FDN con densidad alta y baja, aunque con cualquiera de ambas clases de fibra, el consumo de alimentos mantiene una relación negativa con el contenido de FDN de los mismos ya que se ha demostrado que el contenido de FDN está relacionado positivamente con el llenado del rumen y en consecuencia relacionado negativamente con el consumo de materia seca (Mertens, 1980).

## **2.4 Digestión**

La digestión puede definirse en términos generales por la suma de procesos por las que las macromoléculas de los alimentos son degradados hasta compuestos mas sencillos que son absorbidos en el conducto gastrointestinal. Virtualmente en todas las especies de mamíferos la digestión se realiza por mediación de un metabolismo fermentativo de los componentes de la dieta efectuada por microorganismos ubicados en diferentes partes del conducto gastrointestinal como por descomposición hidrólica enzimática de nutrientes



complejos apoyados por secreciones gástricas y al intestino delgado (Palma y Díaz, 2001).

### **2.4.1 Digestibilidad**

Una de las medidas más útiles del valor nutricional de los alimentos es la digestibilidad aparente de la materia seca, pero debido a que su determinación “in vivo” es laboriosa y consume grandes cantidades de alimentos, se han propuestos varios métodos de laboratorio (biológicos y químicos) para su estimación (Sánchez, 2000).

#### **2.4.1.1 Determinación de la digestibilidad de los alimentos**

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal, no siendo suficiente con los análisis químicos, hay que considerar los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal (Bondi, 1989). Las pruebas de digestibilidad permiten estimar la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo quedando disponibles para el animal (Church y Pond, 1994).

La digestibilidad depende mayormente de la composición nutritiva de la ración en estudio, siendo a su vez afectada por el hecho de que las heces contienen cantidades importantes de materiales de origen no dietético (Merchen, 1993). Éstas, constituyen una importante vía de excreción de compuestos nitrogenados, grasos, minerales y glúcidos no fibrosos de origen endógeno (Church y Pond, 1994), encontrándose reportes que indican que no hay secreción de carbohidratos a nivel intestinal (Bondi, 1989). A esto se debe que los coeficientes de digestibilidad determinados por diferentes métodos se denominan “aparentes”. Es difícil cuantificar con exactitud las cantidades de origen endógeno de un determinado elemento presente en las heces, ocasionando la subestimación de su digestibilidad verdadera (Bondi 1989).

Los valores estimados de digestibilidad aparente de las fracciones correspondientes a proteínas y lípidos, sin incluir los aportes de compuestos endógenos de la misma naturaleza, son siempre menores a los coeficientes de digestibilidad verdadera. Por lo que un dato de gran utilidad al trabajar con rumiantes es que el aporte de nitrógeno endógeno se encuentra alrededor de 0,5 a 0,6 g por 100 g de materia seca consumida (aproximadamente un 4% de la proteína de la ración), por lo que los coeficientes de digestibilidad aparente en raciones con un contenido de proteína inferior al 4%, son negativos (Bondi, 1989).

En dietas basadas en el consumo de forrajes, la digestibilidad *in vivo* es afectada por aquellos elementos que tienen efecto sobre el consumo, como la capacidad de selección del animal en función de la oferta de material, la disponibilidad de agua, la tasa de pasaje del alimento, la eficiencia metabólica de los animales y hasta las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa), lo que trae como consecuencia, que difícilmente la técnica *in vitro* pueda reproducir las transformaciones ocurridas en la digestibilidad *in vivo* (Cochran *et al.*, 1986); aun cuando la digestibilidad aparente, constituye una expresión muy simplificada del valor nutritivo, los datos que se generan de esta determinación son de gran utilidad (Merchen, 1993).

Para la determinación *in vivo*, del coeficiente de digestibilidad de raciones completas o de determinados nutrientes dentro de una ración, se han empleado diversos métodos, entre los cuales destacan, el de colección total de heces y el método de las proporciones usando marcadores (Merchen, 1993).

#### **2.4.1.2. Factores que afectan la digestibilidad**

Son muchos los factores que pueden afectar la digestibilidad de una dieta o de un ingrediente; pueden ser intrínsecos del alimento y de su procesamiento o bien relacionados con los sujetos experimentales o con particularidades propias

del experimento. Anotaremos aquí algunos de los más sobresalientes (Castellanos *et al.*, 1990).

## **2.4.2 Métodos para determinar de la digestibilidad**

### **2.4.2.1 Digestibilidad *in vitro***

Los métodos de digestibilidad “*in vitro*” simulan los procesos digestivos de los rumiantes. El método en dos etapas, basado en el uso de licor ruminal y seguido por un tratamiento con pepsina, para completar la degradación de los componentes proteicos del alimento y de las bacterias adheridas al mismo, es el que está más difundido. Este método propuesto por Tilley y Terry (1963) es confiable, exacto y preciso para la predicción de la digestibilidad “*in vivo*” de una amplia variedad de forrajes (Velasco, 1996).

Los sistemas “*in vitro*” tienen el potencial de ser más exactos que los químicos, debido a que los microorganismos y las enzimas son sensibles a factores indeterminados que afectan la tasa y el porcentaje de digestibilidad. El inconveniente de este método es la necesidad y el costo de mantener animales donantes fistulados y a que puede existir gran variabilidad entre distintas tandas de licor ruminal (especie donante, dieta suministrada, cambios en el manejo de la alimentación, momento en que se recolecta el licor ruminal) (Palma y Díaz, 2001).

Para evitar la dependencia de animales fistulados se desarrollaron las técnicas enzimáticas. Estas consisten en digerir los alimentos con celulasas fúngicas con pretratamientos con pepsina o solución detergente neutro (Velasco, 1996).

### 2.4.2.2 Digestibilidad *in situ*

Otro método, actualmente utilizado, es el de digestibilidad “*in situ*”, en el cual la digestibilidad es medida colocando el alimento en bolsas especiales e incubarlo en las mismas dentro del rumen del animal.

Quin *et al.*, (1938). Iniciaron el ejemplo de la técnica *in situ*, también llamada técnica *in sacco* o técnica de la bolsa artificial para estudiar la digestibilidad o desaparición de los alimentos en el rumen. Desde entonces, este método ganó gran aceptación como una forma de medir la digestibilidad aparente de la materia seca, fibra, nitrógeno, etcétera, predecir la digestibilidad de los nutrimentos en el tracto digestivo, y la digestibilidad de varios sistemas de alimentación debido principalmente a que es una manera rápida de medir la proporción en que los constituyentes del alimento son susceptibles a la degradación ruminal (Merchen, 2000).

Sin embargo, la utilidad y confiabilidad de esta técnica dependen de varios factores, como el tamaño de poro de la bolsa utilizada, cantidad de muestra, tamaño de la bolsa y tamaño de partícula de la muestra, entre otros.

Al determinar la digestibilidad *in situ* de un alimento éste no ha sido previamente masticado o sometido al proceso de rumia. Por tanto, debe molerse antes de someterlo a la incubación en el rumen (Mertens y Loften, 2000). Aun así, no existen resultados concluyentes sobre el grado en que el tamaño de partícula influye sobre la digestibilidad *in situ* del alimento. Al moler el alimento (5 mm) aumenta la desaparición de nitrógeno y materia seca, en comparación con el alimento tal como lo consume el animal. También el molido puede hacer variar el grado en que el nitrógeno y la materia seca son digeridos, ya que aumenta el área de superficie por unidad de peso de la muestra, haciéndola más accesible al ataque microbiano; además, partículas más pequeñas y uniformes dan como resultado una muestra menos variable y más uniforme (Basurto y Tejada, 1992).

La dieta es el principal factor que determina la cantidad y tipo de microorganismos que se encuentran en el rumen y, por lo tanto, el grado de digestión de los nutrimentos dietarios. Por ejemplo, la alimentación de dietas altas en concentrados con un elevado contenido de carbohidratos fermentables, reduce el pH ruminal y causa un cambio en la población microbiana aumentando los organismos amilolíticos y disminuyendo los celolíticos (Mertens y Loften, 2000).

Debido a que las muestras de alimento que se someten a pruebas de digestibilidad *in situ* están en íntimo contacto con los microorganismos ruminales, es muy importante que se encuentren en el rumen aquéllos capaces de digerir el tipo de alimento estudiado, por lo cual es necesario proporcionar una dieta adecuada para favorecer su crecimiento (Mertens y Loften, 2000).

#### **2.4.2.3 Digestibilidad *in vivo***

La meta de una prueba de digestión consiste en medir exactamente la cantidad de alimento consumido y de heces excretadas durante un determinado periodo de tiempo. En las pruebas convencionales de digestión los animales experimentales son alimentados con las dietas que se van a estudiar durante un periodo preliminar de dos semanas, para asegurar que los residuos de los alimentos consumidos antes de la prueba han sido eliminados del aparato digestivo (Merchen, 2000).

Durante el periodo preliminar se establecen niveles constantes de consumo, para evitar fluctuaciones drásticas en la excreción. El periodo preliminar va seguida de un periodo de recogida de 7 a 10 días de duración, las heces y la orina se recogen diariamente y se preparan muestras compuestas que sean representativas del periodo de recogida para su posterior análisis en el laboratorio.

La recogida de heces puede realizarse alojando a los animales en jaulas diseñadas para permitir la separación y recogida cuantitativa de heces y de orina .

Otra alternativa consiste en colocar a los animales arneses y bolsas especiales que faciliten la recolección de heces (Merchen, 2000).

#### **2.4.2.4 El Método de colección total de heces**

La colección total de heces (CTH) es el método más confiable para medir digestibilidad, ya que involucra directamente factores tanto del alimento como del animal (Basurto y Tejada, 1992).

Este método incluye la medición de la ingestión de una determinada ración de composición conocida y la colecta total de la excreción fecal correspondiente al alimento consumido. Las muestras del material ofrecido, al igual que las del rechazado, cuando se proporciona alimento *ad libitum*, muestras de orina y las heces, son analizadas en el laboratorio, para controlar el balance de nutrientes ingeridos y excretados, como base de la determinación de la digestibilidad de los nutrientes en estudio (Bondi, 1989).

Esta es normalmente representada por un coeficiente de digestibilidad, expresado en forma porcentual que se calcula mediante la siguiente fórmula (Bondi, 1989):

$$\text{Coeficiente de digestibilidad (\%)} = [(NI - NH) / NI] \times 100$$

Dónde:

NI = Nutriente ingerido

NH = Nutriente en heces

El trabajo operativo del método de CTH, implica la medición diaria de consumo, la colección de heces una o dos veces al día, sin contaminarlas con la orina, mantener los arneses en su sitio y la colección de la orina (Laredo *et al.*, 1988).

## 2.5 Nivel de alimentación

Este concepto indica la cantidad comparativa de nutrimentos que recibe un animal con referencia a los requerimientos establecidos para su mantenimiento. Por ejemplo: un nivel de 1.5X significa que el animal está recibiendo un 50% de los nutrimentos para su mantenimiento (Castellanos *et al.*, 1990).

Un gran número de determinaciones de coeficiente de digestibilidad se han realizado a niveles muy bajos de nutrición, lo que en muchos casos tiende a subestimar la calidad nutritiva de algunos productos y esto ha motivado la repetición de muchas determinaciones y la modificación de tablas de contenidos y valor nutritivo de ingredientes (Castellanos *et al.*, 1990).

La revisión de un gran número de experimentos ha permitido observar que cuando el nivel de alimentación es de 1 (mantenimiento), se obtienen valores de digestibilidad más elevados que cuando se realizan las pruebas a niveles de 2X a 3X (producción) (Castellanos *et al.*, 1990). En el caso contrario, como ya se mencionó, a niveles muy bajos de alimentación, las sustancias de origen endógeno arrastradas con las heces propician la obtención de valores muy bajos de digestibilidad (Castellanos *et al.*, 1990).

Se recomienda que al informar los resultados de una prueba de digestibilidad se especifique el nivel de alimentación de los animales durante el experimento y que este nivel sea siempre superior a 1 (mantenimiento). En general, es cada vez más común determinar la digestibilidad a niveles de alimentación *at libitum*, y aunque esta práctica tiende a aumentar el coeficiente de variación de la prueba tiene la ventaja que los valores son aplicables a directamente a las condiciones en que se alimenta normalmente el ganado (a libre acceso) (Castellanos *et al.*, 1990).

### 2.5.1 Composición del alimento

La composición química de cada alimento es desde luego, uno de los factores que más afecta su digestibilidad. La cantidad y calidad de nutrimentos específicos y la relación que entre ellos guardan en un alimento dado, determinan de hecho, la digestibilidad. Apuntaremos en forma muy resumida el efecto de algunos de los nutrimentos o fracciones químico nutritivas específicas más importantes (Castellanos *et al.*, 1990).

Cuando una dieta para rumiantes, baja en proteína, se le adiciona nitrógeno, ya sea de forma de proteína convencional o como nitrógeno no proteico, se observa un aumento de la digestibilidad de la materia seca y de otras fracciones, especialmente de las fibras (Castellanos *et al.*, 1990).

Al aumentar en forma desproporcionada la cantidad de carbohidratos altamente disponibles en la dieta, disminuye la digestibilidad de la proteína. Esto parece deberse a la excreción de una mayor cantidad de nitrógeno de origen microbiano en las heces. Por otra parte, esto tiene también un efecto marcado en la digestibilidad de las fracciones fibrosas de la dieta. La razón de este fenómeno sigue siendo sujeto de controversia; aparentemente parte de este efecto se debe a una disminución del pH ruminal por debajo de 6 ya que se ha observado que bajo condiciones más ácidas, la celulolisis microbiana se disminuye sensiblemente. Otros investigadores opinan que además, existe una competencia de diferentes grupos de bacterias por los sustratos disponibles en el rumen. De esta manera, las bacterias amilolíticas y sacarolíticas desplazarían a las bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas, que en general tienen un ciclo de vida más lento. En apoyo de esta última observación, se encuentra lo antes mencionado, en el sentido que la suplementación de nitrógeno ayuda a la digestión de la fibra (Castellanos *et al.*, 1990).

Cuando las fracciones fibrosas (celulosa, lignina, etcétera) alcanzan niveles altos, se observa una reducción en la digestibilidad tanto de la materia seca como



de otras fracciones nutritivas. Las paredes celulares de los forrajes maduros (alto contenido en lignina) tiene mayor efecto reductor de la digestibilidad que las paredes celulares de los forrajes tiernos (bajo contenido en lignina) (Castellanos *et al.*, 1990).

Los alimentos para rumiantes, normalmente tienen contenidos bajos en grasa y difícilmente producirán efectos importantes en la digestibilidad. El suministro de algunos granos con alto contenido en aceite o grasa y la adición de pequeñas cantidades de grasa en la dieta, mejoran la digestibilidad del extracto etéreo sin modificar substancialmente la digestibilidad de otras fracciones alimenticias (Castellanos *et al.*, 1990).

Cuando la grasa de la dieta alcanza niveles altos (>6% base seca), se nota una disminución de la digestibilidad de los demás nutrimentos de la ración y en consecuencia, también de la materia seca; estos casos se observan principalmente en ganado lechero de alta producción y engorda intensiva de bovinos donde se utilizan grasa para incrementar la concentración de energía en la dieta (Castellanos *et al.*, 1990).

La adición de cantidades normales de minerales a las dietas experimentales compuestas de forrajes y granos no produce ningún efecto importante en la digestibilidad a menos que la ración sea marcadamente deficiente en alguno o algunos de los elementos que se suministran en la mezcla mineral. Cantidades altas de minerales de cualquier tipo, tienden a reducir la digestibilidad de la materia seca y de las fracciones nutritivas. Este fenómeno es frecuente cuando se trabaja con niveles crecientes de ingredientes con alto contenido de cenizas (melaza, gallinaza, etcétera) (Castellanos *et al.*, 1990).

### **2.5.2 Utilización de antibióticos**

Los antibióticos en general no tienen efectos importantes en la digestibilidad de los alimentos. El tipo de las tetraciclinas han demostrado una ligera reducción

en los valores de la digestibilidad de la materia seca cuando se suministran a bajos niveles. El efecto promotor de desarrollo que se atribuye a estos antibióticos no está relacionado con la digestibilidad de los alimentos en forma directa (Castellanos *et al.*, 1990).

Recientemente se ha estado estudiando un antibiótico ionóforo (monoensina) que tiene efecto en la digestión, básicamente en la modificación de productos derivados de los procesos digestivos en el rumen (ácidos grasos volátiles), pero su efecto en la digestibilidad de la dieta total no ha sido aclarado satisfactoriamente (Castellanos *et al.*, 1990).

### **2.5.3 Procesado de alimentos**

Algunos procesos de acondicionamiento que sufren los alimentos modifican su grado de utilización por parte de los animales que los consumen, algunos de los más importantes son: El secado al sol (henificado de forrajes) o por otros métodos en los que se utilicen temperaturas inferiores a los 50°C, no causa efectos aparentes en la digestibilidad. Temperaturas mayores en el secado tienden a disminuirla. Es frecuente observar una disminución en la digestibilidad de forrajes secos debido al desprendimiento de hojas y porciones de alta calidad nutritiva, incrementándose en estos casos la proporción de tallos en las partes fibrosas que presentan una mayor cantidad de paredes celulares de pobre digestibilidad (Castellanos *et al.*, 1990).

El proceso de molienda de granos no aumenta su digestibilidad potencial, pero cuando no se muelen y escapan a la masticación frecuentemente son excretados sin digerir, reduciéndose en esta forma su disponibilidad (Camps y Gonzalez, 2003). Se recomienda que el maíz, el sorgo y otros granos se muelan al tamaño de partícula conocida como “grano quebrado o mortajado”. La pulverización puede afectar la digestibilidad de los granos (Castellanos *et al.*, 1990).

El picado de los forrajes tampoco aumenta la digestibilidad potencial de los mismos; sin embargo cuando el picado es muy fino, la tendencia es a que disminuya debido a una reducida permanencia en el tubo digestivo (Castellanos *et al.*, 1990).

El peletizado, al igual que la molienda de forrajes y otros alimentos, tiende a aumentar el consumo voluntario pero no mejoran y en algunos casos reduce la digestibilidad de las raciones (Camps y Gonzalez, 2003). La digestibilidad de los forrajes frescos y de los nutrimentos que contienen es mayor cuando se suministran ensilados. La excepción parece ser la fibra cruda, que en muchos informes experimentales mostró mayor digestibilidad en ensilados que en forrajes verdes. El efecto de humedad y temperatura parecen tener un efecto benéfico sobre algunas fracciones de las paredes celulares (Camps y Gonzalez, 2003).

En cuanto al tratamiento químico, se ha estudiado el efecto de ácidos y álcalis fuertes sobre la digestibilidad de los forrajes, principalmente de aquéllos con alto contenido de fibra. Los resultados más prácticos y promisorios se han encontrado adicionando sosa cáustica y amoníaco den niveles del 2 al 4% en base seca, no solo porque se observa un incremento considerable en la digestibilidad, sino porque también los costos del tratamiento son relativamente bajos, especialmente con amoníaco (Castellanos *et al.*, 1990).

En lo que se refiere a tratamientos con amoníaco y amoníaco derivado de la hidrólisis de la urea, se observa un incremento en la digestibilidad, debido también al rompimiento de ligaduras lignocelulósicas, especialmente en el caso de pajas de gramíneas y desde luego, el nitrógeno que se adiciona con los agentes químicos entra a formar parte de los compuestos nitrogenados aprovechables por la microbiota ruminal (Camps y Gonzalez, 2003).

Por último, en lo que se refiere a los tratamientos físicos el calor seco y el calor húmedo (vapor) a temperaturas menores de 70°C no tienen efectos importantes en la digestibilidad, a temperaturas mayores, en el caso de calor seco, se puede esperar una disminución de la misma (Castellanos *et al.*, 1990).

Otras formas de tratamiento físico pueden tener algún efecto en la digestibilidad, pero la información disponible nos revela que son en mayoría imprácticos o demasiado costosos y no serán revisados (Castellanos *et al.*, 1990).

## **2.6 Procesado del concentrado en rumiantes**

Diferentes tratamientos físicos se aplican a los alimentos con el objetivo de mejorar su valor nutritivo, elevar la digestibilidad de sus componentes y aumentar su palatabilidad como consecuencia de una mejor textura de la dieta (Camps y Gonzalez, 2003).

El procesamiento del concentrado, puede afectar:

1. Su digestibilidad (cantidad que es aprovechada por el animal),
2. Su degradabilidad (cantidad que es digerida en el rumen).
3. El sitio de digestión (Camps y Gonzalez, 2003).

El procesado físico incluye diferentes tipos de tratamientos. Puede implicar la compactación física (por ejemplo el granulado) y la aplicación de calor. Ambos procesos pueden estar acompañados por el tratamiento con agua (a menudo en forma de vapor) (Wiseman, 1993).

Los objetivos perseguidos con los diferentes procesamientos de granos, son muy variados, siendo el principal, incrementar su digestibilidad en todo el compartimento del tracto digestivo del animal consumidor, lo que permite incrementar su productividad, además de facilitar el adecuado mezclado del concentrado con los restantes ingredientes de la dieta o ración (Egaña, 2000).

En el cuadro 2.3 se relacionan los principales métodos de procesado del concentrado, se han agrupado siguiendo la clasificación de Tait y Beames (1988), en función de las condiciones de temperatura y humedad, aunque generalmente, en la práctica, se utilizan combinaciones de varios métodos.

Cuadro 2.3.- Principales métodos de procesado del concentrado.

	<b>Tratamiento</b>	
	Seco	Húmedo
<b>En Frio</b>	Quebrado	Maceración
	Molido	Reconstitución
	Rolado	Tratamiento químico
		Ensilado
<b>Térmicos</b>	Expandido	Aplastado al vapor
	Micronizado	Granulado
	Torrefactado	Cocción a presión
	Extrusionado	Peletizado

Fuente: (Guada, 1993).

En todo caso, los diferentes tipos de procesamientos utilizados, tienen como objetivo primario romper, en intensidad variable, la estructura original del grano, a la vez que aumentar su superficie expuesta a la acción de las enzimas digestivas, tanto a las de origen microbiano, como a las secretadas por el propio animal, lo que producirá el incremento de su digestibilidad (Egaña, 2000).

### **2.6.1 Peletización**

Consiste en la aglomeración de las pequeñas partículas de una mezcla en unidades largas o comprimidos densos mediante un proceso mecánico combinado con la humedad, el calor y la presión; todo ello determina un mejoramiento de las características en los alimentos (Behnke, 2001).

El alimento peletizado representa una buena alternativa en la producción animal, ya que su proceso cuenta con una serie de ventajas en comparación con el típico alimento en polvo, para ello es necesario conservar la calidad e inocuidad del alimento al ser administrado al animal (Rodríguez, 2006).

Nutricionalmente, la peletización posibilita un aumento natural de la energía líquida en las dietas, debido a la gelatinización de los carbohidratos, reduce el gasto energético en la aprehensión de los alimentos, e incrementa considerablemente la digestibilidad del contenido proteico y por ende de los aminoácidos y demás nutrientes de la ración (McKinney y Teeter, 2004).

### **2.6.2 Proceso de peletización**

Para comprender de mejor manera las ventajas del producto, es importante conocer las seis fases que comprenden el mecanismo del peletizado (Rodríguez, 2006).

- Molienda

El objetivo de esta fase es homogenizar el tamaño de partículas de los macroingredientes, con el fin de obtener una mezcla viable para la peletización.

- Mezclado

Consiste en la homogenización de los ingredientes de la ración, para lo que es importante un buen funcionamiento de la maquinaria tiempo de mezclado y monitoreo del proceso.

- Alimentación

Mediante un transportador el producto homogenizado va al acondicionador, entre estos dos elementos está un sellador que evita que el vapor suministrado al acondicionador escape por la vía de menor resistencia.

- Acondicionamiento

Esta fase define la estabilidad del pellet debido a la cocción que sufre la mezcla gracias a la inyección de vapor proveniente del caldero, el producto alcanza temperaturas entre 60° a 90°C, por intervalos de tiempo de 0.5 hasta 5 minutos. El acondicionamiento incrementa la gelatinización de los almidones, regula la carga bacteriana de la mezcla; en consecuencia aporta las propiedades funcionales y la estabilidad del pellet.

- Peletización

Finalmente, se da un fenómeno de comprensión a través de una matriz denominada dado, el mismo que según el milimetraje de sus orificios genera pellets de un determinado diámetro, mientras que el largo dependerá de la calibración de la cuchilla que realiza el corte de las partículas largas.

- Complemento

Complementa el sistema de peletización con un enfriador y secador que estandariza el pellet, al cual le puede seguir o no los rodillos trituradores o “crumbler” y obtener como resultado alimento tipo migaja (pellet triturado).

El proceso finaliza con un tamizador de polvos con la finalidad de estandarizar la presentación seguida del envasado del producto terminado.

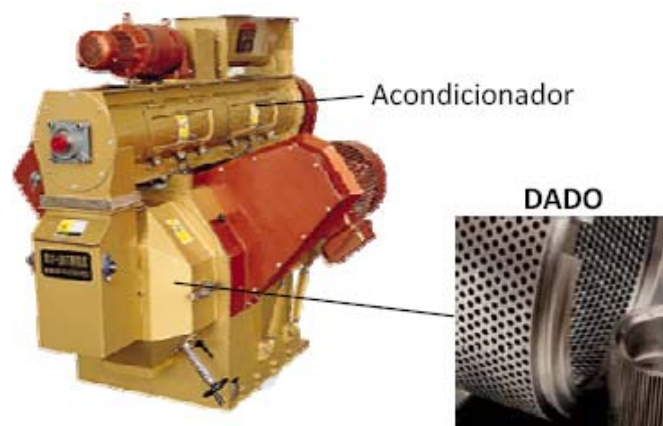


Figura 2.4.- Representación de una peletizadora simple y el tipo de dado que utiliza (Rodríguez, 2006).

### 2.6.3 Tamaño de partícula para la elaboración de pellets

El tamaño de partícula óptimo para los mejores resultados de peletización ha sido materia de controversia casi desde que se empezaron a peletizar los alimentos. Young (1960) no encontró diferencias significativas en la durabilidad del pélet cuando experimentó con alimentos que contenían 40, 60 y 70 por ciento de maíz o sorgo molidos, cuando dichas porciones de granos se molieron gruesas, medianas o finas.

Martin (1984) comparó las eficiencias y durabilidades del peletizado de un molino de martillos y uno de rodillos al moler la porción de maíz (59.5%) de un



alimento peletizado. No encontró ninguna diferencia ( $P < 0.05$ ) entre los diversos tratamientos. El tamaño de partícula promedio de maíz molido en molino de martillos (mallas de 3.2 mm y 6.4 mm) abarcó de 595 a 876 micrones, mientras que en el molido en molino de rodillos (fino y grueso) comprendió entre 916 a 1460 micrones.

Aunque las investigaciones citadas pudieran parecer que dan resultados contradictorios, hay pruebas abrumadoras de que el tamaño de partícula promedio de la porción de granos molidos de un alimento o del alimento total (harina) afecta el proceso de peletización, ya sea la producción o la calidad del pélet. Los efectos sencillamente no son los mismos bajo todas las condiciones o para todos los alimentos.

#### **2.6.4 Acondicionamiento de la harina en la elaboración de pellets**

Muchos investigadores y profesionales han probado una y otra vez que la durabilidad del pelet y la eficiencia del peletizado puede mejorarse sustancialmente mediante el acondicionamiento adecuado de la harina con vapor. El vapor saca a la superficie de las partículas de la harina del pelet los aceites naturales más comunes en la mayoría de los granos que proporcionan lubricación al dado de salida de los pellets, lo que reduce el desgaste del dado mismo y del ensamblaje de rodillos, y aumenta las tasas de producción (Behnke, 1990).

En algunos casos, desde el punto de vista de la durabilidad del pelet el acondicionamiento completo puede ser contraproducente. Si el material se desliza por el dado de salida demasiado fácilmente, se reduce el tiempo de residencia en el orificio del dado, lo que causa que el pelet sea menos durable, además de que se puede reducir la gelatinización del almidón causada por el calor y fricción en el mismo (Behnke, 1990).

Stevens (1987) realizó amplias investigaciones sobre el fenómeno de la gelatinización del almidón durante el proceso de peletización del alimento al peletizar maíz molido en molino de martillos y pasado por una malla de 1/8". Como control se usó maíz molido antes de la peletización. Dicho autor reportó una correlación negativa entre la temperatura de la harina acondicionada y el grado de gelatinización. Conforme aumentaba la temperatura de la harina acondicionada, disminuía el grado de gelatinización (Behnke, 2001).

El alto grado de gelatinización que se dio en la porción externa del pélet una temperatura de acondicionamiento de 23 °C indicó que el calor y el corte mecánico junto a la superficie del orificio del dado de salida causó una porción sustancial de gelatinización en todas las temperaturas, pero especialmente, cuando hubo mayores diferenciales de temperatura entre la harina acondicionada y el pelet. Existe una relación entre esa diferencia de temperatura y el grado de gelatinización que se observa. Conforme disminuyó el diferencial de temperatura, disminuyó también el grado de gelatinización (Behnke, 2001).

Stevens indicó que la temperatura de acondicionamiento de 80 °C fue la adecuada para gelatinizar el almidón de maíz, sin embargo, el tiempo en el acondicionador de la peletizadora a esa temperatura probablemente no fue adecuado para una cantidad sustancial de gelatinización. Parecería de esas investigaciones, que la mayor parte de la gelatinización del almidón sucedió conforme el alimento pasaba por el dado de salida (**Behnke, 2010**).

La temperatura del acondicionamiento de la harina ha sido por mucho tiempo un criterio de la peletización y una indicación de un acondicionamiento esmerado, que puede o no ser un indicador totalmente viable ya que el tiempo a una temperatura dada de la harina va a afectar el grado de gelatinización, y desde luego va a afectar la capacidad de peletizar de una harina (**Behnke, 2010**).

Los procesos mecánicos a los que se somete el cereal molido para la granulación, rompen las estructuras fibrosas de las membranas celulares y liberan

los elementos nutritivos que contienen (Mateos y Grobas, 1993). El proceso de peletizado requiere un molido previo del pienso, de tal manera que la aglomeración de partículas de pequeño tamaño forme gránulos más largos. En este tipo de procesado se utiliza la acción combinada de humedad, calor y presión (Falk, 1985).

### **2.6.5 Efecto del peletizado sobre la calidad nutricional**

La peletización produce un gran incremento en el consumo voluntario de forrajes de pobre calidad, pero tiene un efecto pequeño en forrajes inmaduros de alta calidad (Minson, 1963; Greenhalt y Weinman, 1972; citado por Da Cunda, 1995).

Cuando el consumo voluntario de forrajes fue limitado por un bajo nivel de proteína, el peletizado tuvo poco efecto en el consumo. No obstante, cuando la deficiencia en proteína fue corregida por suplementación con urea o concentrado proteico, o por una aplicación de urea al forraje antes de ser cosechado, el peletizado aumenta el consumo (Da Cunda, 1995).

La mayor parte de los tratamientos a que son sometidos los concentrados modifican su velocidad de degradación en el rumen (Kd) y con ello la proporción de almidón o proteína que es digerida en éste u otros tramos posteriores del tracto digestivo. Ello puede tener una importante incidencia en la eficiencia de utilización de la dieta y en la respuesta productiva del animal, dada la influencia que el lugar de digestión tiene sobre el tipo de nutrientes absorbidos (Thomas y Rook, 1981).

No obstante, estas variaciones en el ritmo de degradación pueden verse compensadas por variaciones en el tiempo de retención, provocadas simultáneamente por el tratamiento. Por ejemplo, la molturación del maíz incrementa su ritmo de degradación al aumentar la superficie expuesta a la acción bacteriana (Galyean y *et al.*, 1981), pero también el menor tamaño de partícula

puede facilitar su salida del rumen, disminuyendo el tiempo de retención, lo que compensaría, en parte, la mayor velocidad de degradación.

Otros factores, como el nivel de alimentación (Owens y Goetch, 1986) o la proporción de forraje en el caso de dietas mixtas (Colucci *et al.*, 1989), pueden hacer variar el tiempo de retención y por consiguiente la digestibilidad ruminal (Galyean *et al.*, 1979).

No obstante, es de notar que la influencia del tiempo de retención varía dependiendo del ritmo de fermentación. Esta diferencia se puede apreciar en la figura 2.5 en la que se representan las curvas típicas de degradación ruminal del maíz (M) y la cebada (C). Ya que ésta última fermenta muy rápidamente, es de esperar que las variaciones en el tiempo de retención tengan un efecto más acusado sobre la degradabilidad del maíz que sobre la de la cebada.

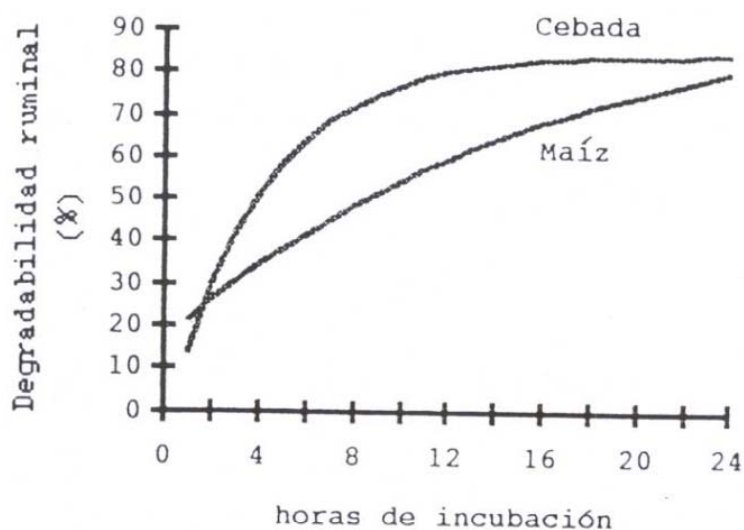


Figura 2.5.- Cinética de degradación ruminal de la cebada y del maíz (Guada, 1993).

## **2.7 Efecto del procesado del alimento en el proceso digestivo de los rumiantes**

### **2.7.1 Mecanismos que regulan la salida de las partículas del rumen**

Los mecanismos que controlan la salida, y, por lo tanto, el tiempo de permanencia de las partículas alimenticias en el rumen condicionan, junto con la eficacia de los procesos fermentativos, la importancia cuantitativa de la degradación microbiana (Mertens 1987).

#### **2.7.1.1 Tamaño de la partícula**

La salida de partículas del rumen está inicialmente condicionada por su tamaño. En este sentido, Poppi *et al.* (1981) establecieron la teoría del tamaño crítico, basada en la observación del bajo porcentaje (1-3%) de partículas de tamaño superior a 1,2 mm que atravesaba el orificio retículo-omasal en ganado ovino. Estudios posteriores sitúan el tamaño de partícula umbral entre 1-2 mm en ovino y 2-4 mm in vacuno (Ulyatt *et al.*, 1986).

De acuerdo con ello, el factor principal que determinaría el tiempo de permanencia de las partículas en el rumen, estaría ligado a su tamaño inicial y a la eficacia de los procesos de reducción de ese tamaño a través de la masticación, sobre todo durante la rumiación; la actividad degradativa de los microorganismos también podría contribuir a este proceso, al debilitar los tejidos vegetales estructurales e incrementar su fragilidad (Murphy y Nicoletti, 1984), aumentando la eficacia de la rumiación en la conminución de las partículas.

#### **2.7.1.2 Densidad de la partícula**

Diversos autores (Welch, 1986 y Kaske y Engelhardt, 1990) han demostrado que además del tamaño, la densidad de las partículas afecta

igualmente a la velocidad con la que abandonan el rumen. Según estos trabajos, las partículas con una densidad comprendida entre 1.1 y 1.4 g/ml, tendrían la máxima probabilidad de escapar del retículo-rumen hacia el omaso.

Las partículas con una densidad menor (igual o inferior a la del fluido ruminal) tenderían a flotar o a quedar atrapadas en la masa de digesta, y sus posibilidades de salida del rumen serían muy bajas, al estar situado el orificio retículo-omasal en la zona del retículo proximal al saco craneal del rumen ventral (figura 2.6).

Las partículas con una densidad mayor que la óptima tenderían, en cambio, a hundirse en el saco ventral del rumen, disminuyendo su contacto con la zona de escape potencial (Allens y Mertens, 1988). La densidad de estas partículas aumenta debido a su hidratación con el líquido ruminal y a la destrucción de los espacios intercelulares por la rumiación y la degradación microbiana (Hooper y Welch, 1984) y, en general cuando disminuye su tamaño, al aumentar la relación superficie/volumen (Faichney, 1986; Sutherland, 1987).

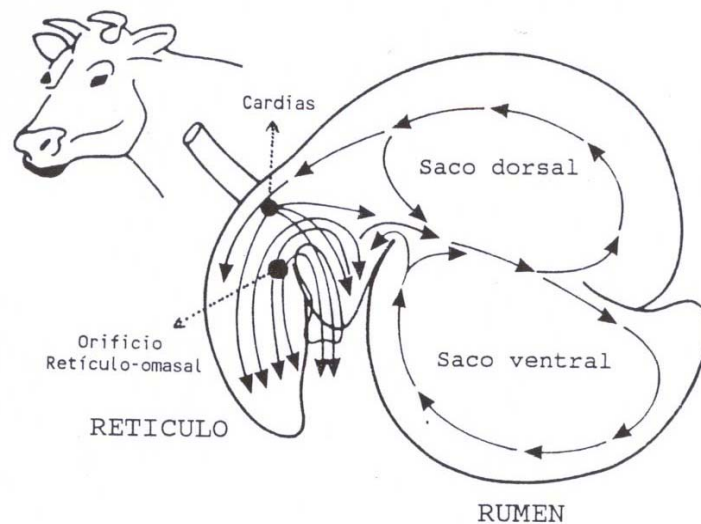


Figura 2.6.- Representación esquemática del rumen y del retículo en un plano vertical. Las flechas indican los movimientos del contenido (Jarrige, 1988).

De acuerdo con lo anterior, cabría pensar que la molienda del forraje debería acelerar su tránsito digestivo en el rumen. Sin embargo, debe también tenerse en cuenta que, como se mencionó anteriormente, la molienda destruye la estructura tridimensional de las partículas, lo que afecta negativamente a su degradación por los microorganismos y, por tanto, podría retrasar el tiempo necesario para que alcancen la densidad óptima (Kennedy y Murphy, 1988).

### **2.7.1.3 Composición del contenido ruminal y salida de partículas**

Otro factor que debe tenerse en cuenta es que la estructura de los contenidos ruminales no es homogénea. La digesta ruminal se encuentra estratificada en capas, en función principalmente de la densidad de los materiales (Van Soest, 1982).

Así, en la parte inferior se sitúa la fase líquida junto con las partículas más densas, en la capa inmediatamente superior se encuentra una masa flotante compuesta de las partículas fibrosas de mayor tamaño y menor densidad además del alimento recientemente ingerido, y por último se sitúa una capa gaseosa (Van Soest, 1982).

A la segunda capa se le ha atribuido un papel de filtro o tamiz que dificultaría que las partículas pequeñas se hundiesen rápidamente en el saco ventral, retrasando, por tanto, su salida hacia el omaso (Sutherland, 1987); este efecto recibe el nombre de "embalsamiento" (Blas y García, 1993).

La estructura y composición de los contenidos ruminales está muy influenciada por el tipo de dieta. Así, la digesta ruminal de animales alimentados con dietas concentradas o de forrajes molidos y granulados tiende a ser más viscosa y más homogénea desapareciendo la separación en capas antes mencionada.

En estas condiciones, cabría esperar que el "embalsamiento" de las partículas pequeñas se viera reducido (Van Soest, 1982). Sin embargo, Faichney (1986) describe un resultado contrario para una dieta de heno de alfalfa molida y granulada; de acuerdo con este autor y con Kennedy y Murphy (1988), el mayor contenido en materia seca de la digesta y la menor motilidad ruminal ligada a estas dietas, podrían explicar el mayor "embalsamiento" de partículas observado.

Los movimientos de la digesta en el rumen han sido descritos con detalle por Wyburn (1980) utilizando técnicas radiográficas. Estos movimientos responden a la distensión de las paredes ruminales y a estímulos táctiles y químicos y en ellos se distinguen dos corrientes: una que circula en el saco dorsal sobre la balsa de partículas flotantes, y otra con una circulación en sentido opuesto, operando en el saco ventral. Las contracciones de las paredes ruminales mezclan su contenido, potencian su evacuación y promueven la accesibilidad de la capa flotante de partículas de mayor tamaño a la rumiación.

Wyburn (1980) ha sugerido que la rumiación, además de su papel en la conminución de partículas, facilitaría el tránsito de la digesta, porque el flujo del bolo regurgitado, junto con las partículas más pequeñas, son depositados durante la rumiación en el retículo y en el saco craneal del rumen ventral. Dada su proximidad al orificio retículo-omasal, las partículas presentes en esta zona tienen una elevada probabilidad de escape cuando el retículo se contrae y el orificio retículo-omasal se abre (Allens y Mertens, 1988).

Finalmente, la evacuación de la digesta a través del orificio retículo-omasal está afectada por la frecuencia y amplitud de las contracciones del rumen, por la presión diferencial entre el retículo y el omaso y por la presencia de espacio libre en éste (Reid, 1988). Estos factores están condicionados por el grado de estimulación táctil realizado por las partículas de la digesta sobre los receptores situados en la pared del epitelio ruminal, lo que a su vez está relacionado con propiedades físicas de la dieta, como la proporción y tamaño de las partículas de forraje (Weston y Kennedy, 1984).



De lo expuesto hasta aquí puede concluirse que la molienda del forraje tiene efectos contrarios sobre su tiempo de permanencia en el rumen, ya que por un lado, da lugar a la ingestión de partículas de un tamaño y densidad más próximos a los óptimos requeridos para que abandonen el rumen, pero por otro, disminuye la salivación, reduce la motilidad ruminal y supone una mayor viscosidad del contenido ruminal y un posible mayor "embalsamiento" de las partículas en la fase sólida.

El resultado final de este factor sobre el tiempo de permanencia del forraje en el rumen no está claro, habiéndose encontrado en la bibliografía autores que observaron menores velocidades de tránsito en el rumen con el forraje molido (Castrillo *et al.*, 1987; García, 1991) y otros que obtuvieron el resultado contrario (Dixon y Milligan, 1985; Fadlalla *et al.*, 1987).

#### **2.7.1.4 Procesado de la fibra**

La fracción fibrosa de los forrajes tiene unas funciones digestivas que exceden su simple valor energético o proteico. Las más importantes están relacionadas con efectos físicos sobre el tránsito digestivo y pueden ser alteradas por la molienda y/otros procesados. Como consecuencia, en algunas especies animales, principalmente en rumiantes, existen requerimientos mínimos de fibra, y en muchos casos de fibra larga, en la dieta (Blas y García, 1993).

Por otra parte, la molienda de los forrajes puede suponer ventajas en determinadas circunstancias (forrajes de baja calidad) sobre parámetros productivos importantes (capacidad de ingestión). Por ello, en algunos sistemas de alimentación, podría tener sentido reducir el tamaño de las partículas de forraje para conseguir incrementos de productividad.) (Blas y García, 1993).

### **2.7.1.5 Modificaciones de la forma física**

El efecto de la modificación de la forma física de los alimentos fibrosos por medio del molido y/o densificación sobre el valor nutritivo, ha sido revisado por varios investigadores (Greenhaigh y Wainman, 1972; More, 1964).

Con el molido se reduce el tamaño de las partículas del alimento, se aumenta la superficie específica y se incrementa la densidad. Asociado con estos cambios físicos, se incrementa el consumo voluntario y se reduce la digestibilidad como consecuencia de una mayor tasa de pasaje tanto de las fracciones digeribles como parcialmente digeribles (Escobar y Parra, 1980).

La reducción de la digestibilidad de la materia orgánica se explica, en gran parte por la disminución de la digestibilidad de la fracción fibrosa (Robertson y Van Soest, 1975). Beardsley (1964) determinó con datos de la literatura, que al moler el alimento se producían aumentos promedios de 25 % en el consumo voluntario, 98% de incremento en la ganancia diaria de peso vivo y 36% de reducción en la conversión alimenticia.

La mayor ingestión de los substratos molidos está relacionada con una reducida rumia y salivación y una alta tasa de fermentación inmediatamente después se alimenta al animal (Minson, 1963).

A pesar de la alta tasa de fermentación del material molido, debido en parte a un aumento de la superficie específica, la mayor tasa relativa de pasaje, debida a la reducción en el tamaño de partícula causa en forma neta que la digestión de la fracción fibrosa en el rumen sea reducida. Esta reducción de la digestión ruminal, se compensa parcialmente por un aumento en la digestión de la fibra en el tracto digestivo posterior (Thomson, 1972).

Otro efecto resaltante de la modificación de la forma física, es el aumento en la eficiencia de utilización de la energía digerida. Se han dado varias

explicaciones: menor incremento calórico (Blaxter y Graham, 1956); menores gastos energéticos en comer y rumiar (Ward, 1978) y cambios en los patrones de fermentación y de digestión (Wainman y Blaxter, 1972).

Las altas tasas de fermentación y crecimiento microbiano que se observa en los periodos inmediatamente post-alimentarios, al usar dietas molidas, aunado a una rápida tasa de pasaje a sobrepaso ruminal, puede conducir a una mayor eficiencia de síntesis de proteínas (Thomson, 1972) y un mayor flujo de aminoácidos al intestino delgado (Wainman y Blaxter, 1972).

#### **2.7.1.6 Efecto del tamaño de partícula sobre la ingestión**

La ingestión voluntaria de forrajes en rumiantes está controlada principalmente por la velocidad de vaciado del rumen. Se considera en general que el suministro del heno en forma de cubos mejora la ingestión de materia seca respecto al heno en pacas (Bath *et al.*, 1980), ya que el picado del heno favorece la colonización microbiana de las partículas y facilita también su salida física del rumen.

El efecto es más claro cuando el heno es de baja calidad (40% FAD; +27%,  $P < 0,001$ ; Anderson *et al.*, 1974) que en henos de buena calidad (32% FAD; +10%,  $P < 0,001$ ; Klusmeyer *et al.*, 1990), como consecuencia de su mayor contenido en fibra lignificada y de su mayor dependencia de la eficacia de los procesos degradativos de la pared celular. Cuando el heno es de alta calidad (27% FAD), no hay influencia del grado de picado sobre el consumo (Shaver *et al.*, 1986).

Análogamente, la molienda del heno (especialmente los de baja calidad) supone en general un incremento apreciable del consumo voluntario (Greenhalgh y Reid, 1973). Sin embargo, un suministro excesivo de forraje granulado da lugar a una reducción del consumo, al afectar negativamente a la motilidad del rumen y al

destruir la estructura tridimensional de las partículas. Así, Woodford y Murphy (1988), estudiando dietas con un 40% de silo de alfalfa prehenificado en rumiantes, observaron un descenso de la ingestión de materia seca de un 20% cuando un 70% del forraje se sustituía por gránulos de alfalfa, pero no cuando la sustitución era sólo de un 30%.

#### **2.7.1.7 Efecto del tamaño de partícula sobre los parámetros ruminales**

El suministro de una dieta completa en forma de cubos supone una alteración importante de los parámetros ruminales con respecto a una dieta normal. De acuerdo con los resultados de Klusmeyer *et al.*, (1974), el pH del contenido ruminal se reduce significativamente ( $P < 0.01$ ) desde 6,02 hasta 5,59 en la dieta presentada en forma de cubos. Este descenso se explica por una mayor velocidad de ingestión, un menor tiempo de masticación (con la consiguiente reducción de la producción de saliva), y por una mayor velocidad de fermentación que se tradujo en una mayor concentración de AGV (+23%,  $P < 0.05$ ). Paralelamente se produjo una disminución en la proporción relativa de ácido acético (C2) y un aumento en la de propiónico (C3), de modo que la relación C2/C3 disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) desde 2.52 hasta 2.17.

Efectos similares sobre la fermentación ruminal se han observado cuando la alfalfa se pica excesivamente antes de ensilar (<1 cm de longitud teórica de corte; Grant *et al.*, 1990 b), o después de henificarse (<0,64 cm de tamaño medio de partículas; Woodford *et al.*, 1986, o menos de 7,6 cm de diámetro de malla de la picadora de forraje; Grant *et al.*, 1990 a). Una mayor acidez ruminal y un descenso de la relación C2/C3 se han observado también en dietas con una elevada proporción de heno granulado (70% del forraje total; Woodford y Murphy, 1988; 100% del forraje; Shaver *et al.*, 1986).

### **2.7.1.8 Efecto del tamaño de partícula sobre la productividad de rumiantes**

La alteración del tamaño de las partículas de forraje no se tradujo en general en cambios significativos de la producción diaria de leche en los trabajos consultados, excepto (8%,  $P < 0,05$ ) cuando el suministro de una alta proporción de alfalfa granulada (70% del forraje total) redujo la ingestión de materia seca (Woodford y Murphy, 1988).

La consecuencia más importante de una excesiva reducción en el tamaño de partícula es la disminución del contenido en grasa de la leche. Este efecto es paralelo a la caída del pH ruminal y al descenso de la relación C2/C3, y se explica por el incremento en los niveles de glucosa e insulina en sangre inducidos por la mayor formación de propiónico en dietas con forrajes excesivamente molidos (Grant *et al.*, 1990); la insulina reduce la lipólisis en el tejido adiposo y por tanto la disponibilidad de AG en sangre, precursores de parte de la grasa de la leche.

El efecto del tamaño de partícula del forraje sobre el contenido en grasa en la leche es cuantitativamente importante: -13% ( $P < 0,001$ ), cuando la dieta se suministra en cubos (Klusmeyer *et al.*, 1990); -27% (3,0 vs 3,8%,  $P < 0,001$ ) cuando la alfalfa se pica antes de ensilar a 0,5 en lugar de a 1 cm (Grant *et al.*, 1990); -11% (3,2 vs 3,6%) cuando el heno se pica a 2,6 frente a 6,4 cm de tamaño medio de partícula (Woodford *et al.*, 1986) ó -16% (3,2 vs 3,8%) cuando se pica por un tamiz de 0,6 en lugar de 7,6 cm (Grant *et al.*, 1990). Análogamente, la sustitución de un 30% de alfalfa ensilada prehenificada por alfalfa granulada no alteró el contenido en grasa de la leche, que se redujo en cambio un 16% cuando la sustitución fue del 70% (Woodford y Murphy, 1988).

En ningún trabajo se observó influencia significativa del tamaño de partícula sobre el contenido en proteína de la leche. Finalmente, la digestibilidad de los nutrientes en el conjunto del aparato digestivo, no fue afectada apreciablemente por el tamaño de partícula en rumiantes de alto nivel de producción (Belyea *et al.*,

1989; Woodford *et al.*, 1986). Sólo en el caso de dietas con alto porcentaje de alfalfa granulada (Shaver *et al.*, 1986; Woodford y Murphy, 1988) se observa un descenso en la digestibilidad total de la MS (5-8%) y, sobre todo, de la FND (11-28%).

De acuerdo con la revisión de Martz y Belyea (1986) sobre 26 trabajos experimentales, la reducción del tamaño de partícula de los forrajes tiende a disminuir la digestión ruminal de los componentes de la pared celular, y en menor grado de la materia orgánica, pero este efecto se ve parcial o totalmente compensado posteriormente por una mayor digestibilidad intestinal, especialmente en el ciego.

#### **2.7.1.9 Factores que modifican el efecto del molido**

El carácter polvoriento del material fibroso, seco y molido puede deprimir el consumo. El humedecimiento a la densificación permite eliminar dicho carácter (Meyer *et al.*, 1959).

En la medida que sea mayor la calidad original del forraje, menor será el incremento relativo del consumo y de la ganancia de peso que se alcanzará con la molienda (Greenhaigh y Wainman, 1972). En comparación, mayores cambios en el consumo se observan al usar bajos niveles de concentrado en las dietas (Thomas *et al.*, 1960).

Los ovinos muestran respuestas superiores cuando consumen alimentos molidos que los bovinos; de igual manera, los animales jóvenes comparados con animales adultos; y animales alimentados por periodos cortos comparados con periodos largos (Greenhalg *et al.*, 1976, Andrews y Orskov, 1970). Según Greenhaigh y Reid (Greenhalgh y Reid, 1973) las diferencias en las respuestas al molido entre especies y edades de los animales, está probablemente determinado por el tamaño de la partícula que puede escapar rápidamente del rumen (Balch y Campling, 1991) que, a su vez está correlacionado con el tamaño del animal.

Se ha encontrado que la reducción en la finura de molido trae como consecuencia un mayor consumo voluntario, una reducción en el tiempo de masticación y rumia, y menor digestibilidad (Alwash y Thomas, 1974).

La modificación de la forma física por medio del molido es un método frecuentemente utilizado para mejorar el valor alimenticio de los forrajes. Es de esperar, que aun cuando el mejoramiento relativo del valor nutritivo de los forrajes sea significativamente alto, los cambios absolutos en la respuesta animal sean bajos, motivados por los bajos consumos y digestibilidades típicas de estos materiales no procesados (Escobar y Parra, 1980).

Sin embargo, el molido y la densificación ofrecen, al menos, las siguientes ventajas adicionales (Escobar y Parra, 1980):

Facilita la adición y mezcla de nutrientes limitantes tales como nitrógeno, minerales y vitaminas. Reduce costos de manipulación, transporte y almacenamiento, propios de los materiales voluminosos o de baja densidad. Minimiza las pérdidas de material por selección o rechazo por parte de los animales.

## **2.8 Efectos del procesado sobre las propiedades de los nutrientes**

### **2.8.1 Disponibilidad del almidón**

En distintos procesados del alimento es imprescindible el uso de agua en alguna de las etapas del mismo. Por ejemplo durante el acondicionamiento de los granos en el proceso de laminado al vapor, el agua al penetra al endospermo solubilizando al almidón. Esto ocurre debido a que la matriz de la proteína la cual mantenía la estructura globular del almidón se rompe ocasionando una desorganización de las estructuras moleculares del almidón de manera irreversible. A este proceso se le conoce como la gelatinización del almidón (Kahl *et al.*, 2000)

El objetivo primordial en la mayoría de las aplicaciones de la laminación al vapor, es obtener altos niveles de gelatinización de almidones. La gelatinización es la pérdida de la cristalinidad del gránulo de almidón. Cualquier proceso térmico o mecánico que se lleve a cabo con cereales produce un grado de gelatinización de almidones difícil de controlar, produciendo un material que varía considerablemente. Los procesos de extrusión, expansión, laminación y tratamiento con reactor hidrotérmico dan como resultado la gelatinización de almidones (Kahl *et al.*, 2000).

La gelatinización del almidón hará que el alimento sea más digestible, lo que conlleva a una alimentación más eficiente. El grado de gelatinización de los almidones debe ser fijado de acuerdo a las necesidades específicas. Los bovinos y ovinos tienen un sistema digestivo relativamente largo y complejo y no necesitan, generalmente, de un alimento con alto grado de proceso; de hecho, el sobreproceso de alimentos para animales (grado de gelatinización demasiado alto) puede afectar adversamente la digestión (Kahl *et al.*, 2000).

El nivel de gelatinización del almidón del grano se ha utilizado para medir los cambios que se producen durante el procesamiento del grano. La interpretación es que el cambio en el almidón debido a la gelatinización hace más disponible al almidón para los microorganismos del rumen y / o animal, y este cambio responde a las mejoras observadas con bovinos de engorda. Trei (1966) con un sistema de producción de gas *in vitro* no encontró mejoría en la utilización del grano de sorgo una vez la gelatinización excedió el 50%. Si la porción de almidón del grano se gelatiniza por completo, el rendimiento por parte del animal se reduce (Pope *et al.*, 1963; Debie y Woods, 1964).

Sin embargo, en el caso del peletizado solo por presión la gelatinización del almidón no se produce, aun así, la utilización del almidón es similar a la de otros métodos de procesamiento (McNeill *et al.*, 1971).



## 2.8.2 Utilización de la proteína

El incremento de temperatura que experimentan algunos granos como la cebada (elaboración de la cerveza), las harinas de semillas oleaginosas o las de carne y pescado, durante su preparación, desnatura las proteínas rompiendo los puentes de hidrógeno y enlaces disulfuro responsables de su estructura secundaria, de forma similar a lo que ocurre en la gelatinización del almidón (Focant *et al.*, 1990).

Como resultado de la desnaturación, la solubilidad de la proteína se reduce y disminuye su susceptibilidad a la degradación ruminal (Chalmers y Synge, 1954), como se muestra en la figura 2.7 que ilustra el efecto del procesado de la soja sobre su ritmo de degradación en el rumen (Stern *et al.*, 1985).

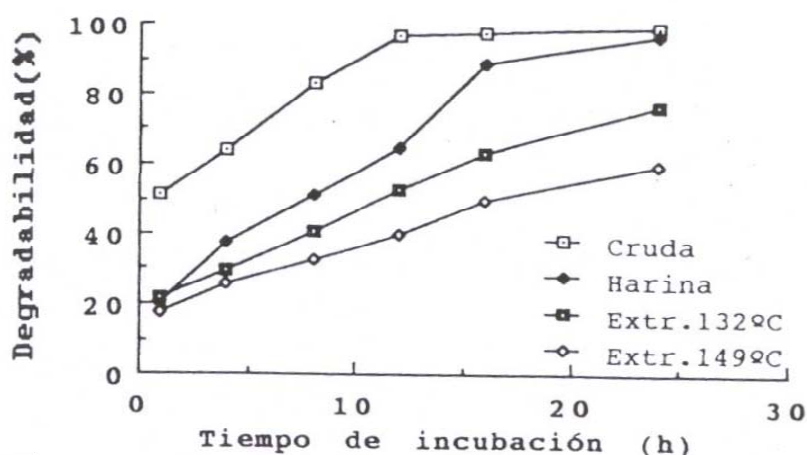


Figura 2.7.- Cinética de degradación ruminal de la harina de soja y de la soja cruda o extrusionada a 132 y 149°C (Stern *et al.*, 1985).

Las consecuencias de este efecto sobre la proporción de proteína digerida en el rumen y en el intestino delgado de rumiantes que recibían dietas idénticas pero formuladas con distintos tipos de soja se muestran en la figura 2.8.

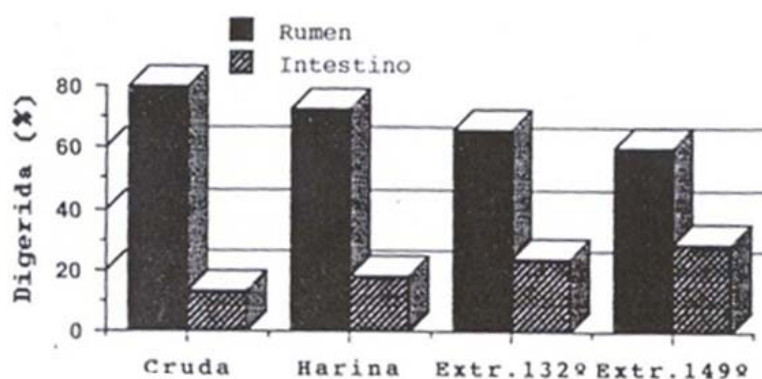


Figura 2.8.- Proporción de la proteína ingerida que es digerida en el rumen y en el intestino delgado de dietas con harina de soja, soja cruda o extrusionada a 132 y 149°C (Stern *et al.*, 1985).

Generalmente, la baja degradabilidad ruminal de la proteína constituye una característica deseable en los suplementos proteicos para rumiantes, ya que implica desviar su digestión del rumen al intestino delgado, donde puede ser utilizada como fuente complementaria de la proteína microbiana (Hagemeister *et al.*, 1981; Ørskov, 1982).

En el rumen, la proteína sería degradada a amoníaco cuya utilidad es nula, una vez se han cubierto las necesidades de N para la síntesis microbiana. Ello resulta de especial importancia a la hora de cubrir las elevadas necesidades de los animales de alta producción, especialmente cuando se encuentran en balance energético negativo, circunstancias en las que el aporte de proteína microbiana suele ser limitante (Hagemeister *et al.*, 1981; Ørskov, 1982).

El principal mecanismo responsable de la resistencia a la proteólisis microbiana es el desencadenamiento de la reacción de Maillard entre el grupo amino de la lisina y los grupos carbonilo de los azúcares reductores.

En esta secuencia de reacciones, la etapa inicial, que supone una simple adición para formar la base de Schiff, es reversible, por lo que, si el tratamiento es lo suficientemente moderado, se puede reducir la degradación ruminal sin afectar negativamente a la digestibilidad intestinal (Stern *et al.*, 1985). Es sabido que la

simple desnaturalización de la proteína no reduce su digestibilidad y puede incluso mejorar su susceptibilidad a los enzimas proteolíticos (Focant *et al.*, 1990).

La resistencia a la proteólisis aumenta con la intensidad del tratamiento térmico (Kung *et al.*, 1991; Tagari 1986), siendo superior en las harinas de extracción a presión que con solventes (Broderick, 1991) o en el tratamiento por extrusión que en el aplastado al vapor (Focant *et al.*, 1990), aunque pueden existir variaciones importantes entre semillas oleaginosas (Ferlay *et al.*, 1992).

Sin embargo, un excesivo calentamiento da lugar a la formación irreversible de nuevos compuestos de la reacción de Maillard, así como a enlaces entre residuos aminoácidos (aspártico, glutamina, treonina) que restringen el acceso enzimático al resto de la molécula proteica, pudiendo llegarse, en último término, a la oxidación y destrucción total de ciertos aminoácidos (Erbersdobler, 1976). No obstante, a las temperaturas más usuales, la reacción entre la proteína y los carbohidratos es el principal factor responsable de su resistencia a la proteólisis enzimática.

Al aumentar la intensidad del tratamiento también lo hace la proporción de proteína no degradada que fluye al intestino delgado, pero simultáneamente disminuye su disponibilidad, como se muestra esquemáticamente en la figura 2.9.

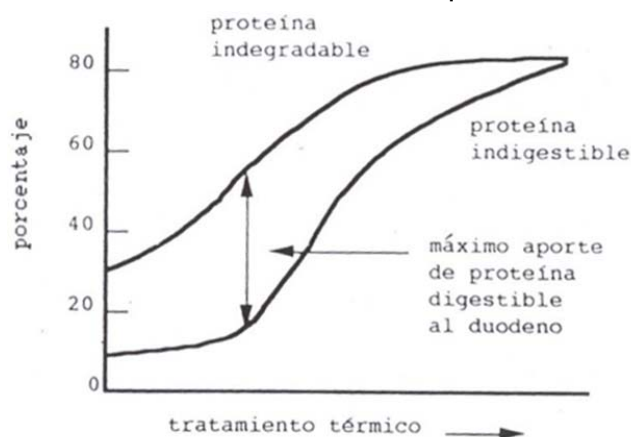


Figura 2.9.- Influencia del tratamiento térmico sobre la proporción de proteína indegradada en el rumen y digestible en el intestino delgado (Guada, 1993).

La eficacia del tratamiento depende de que la degradabilidad ruminal se vea más afectada que la digestibilidad intestinal, existiendo un rango de condiciones óptimas de temperatura y tiempo de aplicación para lograr la máxima protección ruminal sin detrimento de su digestibilidad intestinal (Sherrod y Tillman, 1964).

Así por ejemplo, se ha estimado que la duración óptima del tratamiento en autoclave de la harina de algodón es de 60 min (Broderick y Craig, 1980), ya que el progresivo deterioro de la digestibilidad, estimada tanto en ratas como a partir de la lisina reactiva con fluoro dinitrobenzeno, anula las ventajas de la mayor protección que se puede conseguir aumentando la duración del tratamiento.

Sin embargo, a la hora de definir las condiciones óptimas del procesado, es preciso tener en cuenta que los efectos de la temperatura y el tiempo de tratamiento no son proporcionales. Los resultados de Faldet *et al.*, (1988) muestran que se consigue una óptima protección de la soja calentándola en seco a 160°C durante 30 min, pero es posible alcanzar un nivel de protección equivalente con 140°C durante 120 min, lo que supone doblar el tiempo de tratamiento por cada 10°C de diferencia de temperatura, siempre que se supere un nivel mínimo para garantizar una protección significativa.

Gran parte de esta variabilidad es debida a las condiciones del procesado que, según Mehrez y Orskov. (1978), puede hacer variar en más de un 50% la degradabilidad ruminal. En el estudio aludido, el período de almacenamiento del pescado, antes de su procesado, fue el factor que, aisladamente, tuvo mayor influencia sobre la degradación ruminal de la harina de pescado, como consecuencia de la intensa proteólisis durante este período. La adición de formaldehído durante períodos cortos de almacenamiento y el secado al vapor tuvieron un ligero efecto protector de la degradabilidad, pero en todo caso inferior al observado tratando el pescado en fresco ( Mehrez y Orskov. 1978).

### **2.8.3 La tasa de renovación ruminal (turnover)**

El volumen del rumen, la tasa de fermentación, el turnover ruminal y el tiempo de digestión impactan significativamente la eficiencia de utilización del alimento (Kamande. 2006).

Para lograr una alta degradación de forraje se requieren largos períodos de retención ruminal, esto se asocia a bajo turnover y gran llenado del rumen. En condiciones de pastoreo un mayor turnover ruminal puede ser ventajoso ya que la menor digestibilidad se compensa con el mayor consumo de forraje. Esto es así porque luego de las primeras 6 horas post ingestión la tasa degradación ruminal cae en forma sostenida (Kamande. 2006).

La tasa de fermentación se incrementa con el turnover hasta el punto en que la capacidad de degradación ruminal se satura. La capacidad del animal de consumir alimento, secretar saliva y eliminar material no digerible es superada y se produce un lavado de la flora ruminal con la consecuente disminución de la digestibilidad (Kamande 2006).

En este punto un incremento en la ingesta de materia seca se asocia a una menor eficiencia de conversión. Por lo tanto una buena comprensión de la tasa de pasaje de los distintos alimentos es importante en la formulación de raciones que permitan sincronizar la liberación de nutrientes, la degradación de la materia orgánica y optimizar la síntesis microbiana (Kamande 2006).

### **2.8.4 Degradación ruminal**

Existe una relación inversa entre la tasa de pasaje y la degradación ruminal efectiva. El agregado de heno de alfalfa a la dieta de animales que consumían paja de trigo, aumentó el consumo de materia seca y mejoró la digestibilidad,

disminuyendo el % de fibra no degradada en aquellos animales que tenían acceso ad libitum de alimento (Kamande 2006).

Los animales alimentados en forma restringida no aumentaron la tasa de pasaje ni la digestibilidad de la materia seca. Esto indica que la presencia adecuada de proteína degradable es esencial en la síntesis de bacterias ruminales y la consecuente adecuada fermentación ruminal (Kamande 2006).

Cuando las bacterias ruminales tienen una menor tasa de crecimiento, la energía de mantenimiento se incrementa. En términos generales el mayor consumo reduce los costos de mantenimiento y aumenta la eficiencia de las bacterias ruminales (Kamande 2006).

No obstante en situaciones donde altos contenidos de almidón es consumido se produce una caída del pH ruminal (menos de 6) y se produce un menor desarrollo bacteriano. Dietas con alto contenido de fibra aumenta el crecimiento bacteriano como consecuencia de una mayor producción de saliva rica en minerales y bicarbonato que actúan como tampones (Kamande 2006).

### **2.8.5 Eficiencia microbiana**

El objetivo de formular una dieta balanceada es generar un ambiente ruminal que maximice la síntesis microbiana y cubra las necesidades del animal. La flora microbiana consiste de bacterias, protozoos y hongos que pueden clasificarse de diferentes formas (Kamande 2006).

El 25 % de las bacterias se encuentran en la fase líquida del rumen, el 70% adherida a las partículas en suspensión y un 5% adherida a los protozoos o a la pared ruminal (Kamande. 2006).

A los efectos de que la concentración bacteriana se mantenga es necesario que su tiempo de generación sea menor al "giro" de la ingesta (Kamande 2006).

Dado que la tasa de pasaje de las partículas es menor al del líquido ruminal, las bacterias de menor crecimiento suelen adherirse a éstas.

Cuando se hacen cambios de dieta es importante se tenga en cuenta los tiempos de reproducción bacteriana. Los cambios de ración deben hacerse en forma paulatina. Aditivos como cultivos de *Saccharomyces cerevisiae* (levaduras) adicionados en estos períodos promueve el crecimiento de algunas cepas de bacterias y estabilizan el rumen (Kamande 2006).

La cantidad de bacterias celulolíticas como así también la producción de AGV tienden a ser más estables en presencia de cultivos de levaduras (Kamande. 2006).

### **2.8.6 Efecto de la velocidad de paso**

La ingesta de distintas especies de gramíneas y leguminosas y su estado vegetativo condicionan su degradabilidad, su consumo y su tasa de pasaje ruminal. Las leguminosas tienden a contener más lignina que los pastos, mientras que éstos suelen tener más FDA y parte de FDN. Las legumbres son más rápidamente degradadas que el raigrás, aún cuando éste es más rápidamente degradado que los otros pastos (Kamande 2006).

Cuanto más baja es la ingesta de materia seca, aún el silo de raigrás tiene más lenta tasa de pasaje, como consecuencia de la más alta digestibilidad pero menor producción de leche. En alfalfa, por el contrario, tiene mayor fragilidad de partículas que produce más rápida rotura, reduce el tiempo de retención ruminal y favorece el consumo. Además del mayor contenido en proteínas mayor cantidad de alimento escapa del rumen para ser digerido en el intestino. Las gramíneas

suelen también tener diferencias naturales que afectan los puntos de rotura de las fibras e interfieren la fermentación microbiana (Kamande 2006).

## **2.9 Valoración energética**

### **2.9.1 Total de nutrientes digestibles**

Total de nutrientes digestibles (TND) es un método matemático para el cálculo aproximado de la energía liberada por un ingrediente dado. Este método además de valorar energéticamente a un alimento partiendo de ensayos de digestibilidad, puede valorar la energía existente en % o en Kg. El método consiste en tomar los valores de los componentes orgánicos del análisis proximal, o sea las proteínas crudas, el extracto etéreo, la fibra cruda y el extracto libre de nitrógeno (pero no la materia mineral por ser considerada como inorgánica) y multiplicados por su digestibilidad (NRC 1990).

El producto de la multiplicación del extracto etéreo por su digestibilidad se multiplica a la vez, por 2.25, pues se considera que las grasas liberan 2.25 veces más energía que las proteínas y que los carbohidratos. Los resultados parciales se suman y el total se divide entre 100 con el objeto de expresar el TND como porcentaje del ingrediente analizado (NRC 1990).

1 Kg NDT = 4409 Kcal o 4.409 Mcal Energía Digestible

1 Kg NDT = 3560 Kcal Energía Metabolizable

$$\text{NDT} = \text{Proteína cruda digestible} + \text{Extracto libre de nitrógeno digestible} + \text{Fibra cruda digestible} + (\text{Grasa cruda digestible} * 2.25)$$

Ventajas de este método:

- Es de fácil aplicación por qué no necesita de análisis sofisticados.
- Todos los valores se pueden obtener para cualquier muestra y el margen de error es el mismo (NRC 1990).



Como ejemplo tenemos a continuación los datos del análisis proximal y de la digestibilidad de un alimento hipotético, para el cálculo de su contenido en TND.

Cuadro 2.4. Datos del análisis proximal y de la digestibilidad de un alimento hipotético

Componente analítico	Contenido Nutricional (%)	Digestibilidad (%)
Proteína cruda	9	80
Extracto etéreo	4	90
Fibra cruda	6	50
Extracto libre de nitrógeno	77	90

Efectuando las multiplicaciones:

$$PC = 9 \times 80 = 720$$

$$E.E. = 4 \times 90 = 360 \times 2.25 = 810$$

$$FC = 6 \times 50 = 300$$

$$ELN = 77 \times 90 = 6930$$

Se suman los totales y se dividen entre 100:

$$NDT = \frac{720+810+300+6930}{100} = 87.16 \%$$

O sea que el total de nutrientes digestibles de un alimento (que en el caso del ejemplo fue de 87.6%), es una medida aproximada de la digestibilidad del mismo, por lo que un valor mayor de TND, teóricamente indicara un mayor valor nutritivo para dicho alimento (Hoffman *et al* 2007).

Desafortunadamente, el parámetro de TND se basa en el análisis proximal, que como se mencionó antes es poco exacto. Sin embargo en la actualidad los

valores energéticos de la mayoría de los ingredientes utilizados en alimentación animal todavía se expresan como TND (Hoffman *et al* 2007).

### **2.9.2 Método calorimétrico**

El método tradicional para expresar el valor energético es el que emplea calorías tanto para denotar el contenido energético de un ingrediente (que se expresa como kilocalorías por gramos (Kcal/g) o como mega calorías por quilogramos (Mcal/Kg), como para expresar los requerimientos por parte de los animales (Kilocalorías o megacalorías por animal por día) (NRC 1990).

La unidad básica que se expresa para determinar los métodos energéticos es la caloría (cal) y se define como la unidad de calor que es necesaria para incrementar la temperatura de un gramo de agua, de 14.5 a 15.5 grados centígrados (NRC 1990).

Una Kcal equivalente a 1000 calorías y la Mcal equivale a 1000 Kcal o a un millón de calorías. En el sistema métrico decimal se utiliza el joule, el kilojoule, y el megajoule. (J, KJ, MJ respectivamente) como unidades energéticas. Un joule equivale a 0.239 calorías o una caloría es igual a 4.184 Jules (NRC 1990).

### **2.9.3 Energía Bruta**

Energía Bruta (EB) se define como la energía que desprende un alimento al ser quemado en una bomba calorimétrica. En general, se estima, que en promedio las proteínas y carbohidratos, y los lípidos liberan 5.8, 4.2 y 9.5 Kcal/g, respectivamente, al ser oxidado en las bombas (Castellanos 1990).

### **2.9.4 Energía digestible**

Una vez que el alimento es consumido y sufre los procesos de degradación gastrointestinal, se elimina el residuo en las heces. Si al valor de energía bruta se

le resta la energía contenida en las heces, se obtiene el valor de energía digestible (ED), que es un mejor indicador de la energía disponible para el animal. Se puede considerar que la ED y el TND de un alimento son equivalentes. La interconversión de ED a TND se hace considerando 4.4 Kcal de ED por gramo de TND (Calsamiglia, 2004).

### **2.9.5 Energía metabolizable**

Una parte de la energía digerida y absorbida en el tubo gastrointestinal, no es aprovechada y se elimina por la orina en forma de compuestos nitrogenados. Para obtener el valor de al EM, se resta la energía de la orina al valor de energía digestible calculado anteriormente. Por lo tanto: (Castellanos, 1990).

$EM = ED - \text{energía urinaria}$

Además también se elimina energía a través de gases como el metano, expulsados por los rumiantes por medio del eructo. Obviamente, en el caso de aves, al ser expulsadas heces y orina en forma conjunta, se hace el cálculo directo de la EM, efectuando solamente una resta:

$EM = EB - \text{energía de deyecciones.}$

Los valores de energía de mayor parte de los alimentos para aves se expresan en términos de EM. La energía perdida en forma de gases es de importancia solamente en el caso de los rumiantes. Sin embargo su cuantificación es difícil, y en general se estima en un 8% de la energía bruta consumida por el animal (Calsamiglia, 2004).

Se ha observado que para los rumiantes, el valor de energía metabolizable representa al alrededor del 82% del valor de la energía digestible, por lo que en ocasiones se puede estimar la EM tan solo con multiplicar  $ED \times 0.82$ . Con los

cerdos y aves la relación es más variable, pero gira al alrededor del 92%, o sea que  $ED \times 0.92\% = EM$  (Castellanos 1990).

### 2.9.6 Energía neta

El metabolismo o utilización de la energía contenida en un alimento causa un incremento calórico el cual es desaprovechado por el animal. La resta de este valor del dato de EM, nos representa la energía neta (EN). Este parámetro es en el caso de la ENg, el nivel alimenticio es más alto. Además el valor difiere de acuerdo al producto que el animal proporciona (Castellanos 1990).

A forma de resumen tenemos el siguiente esquema:

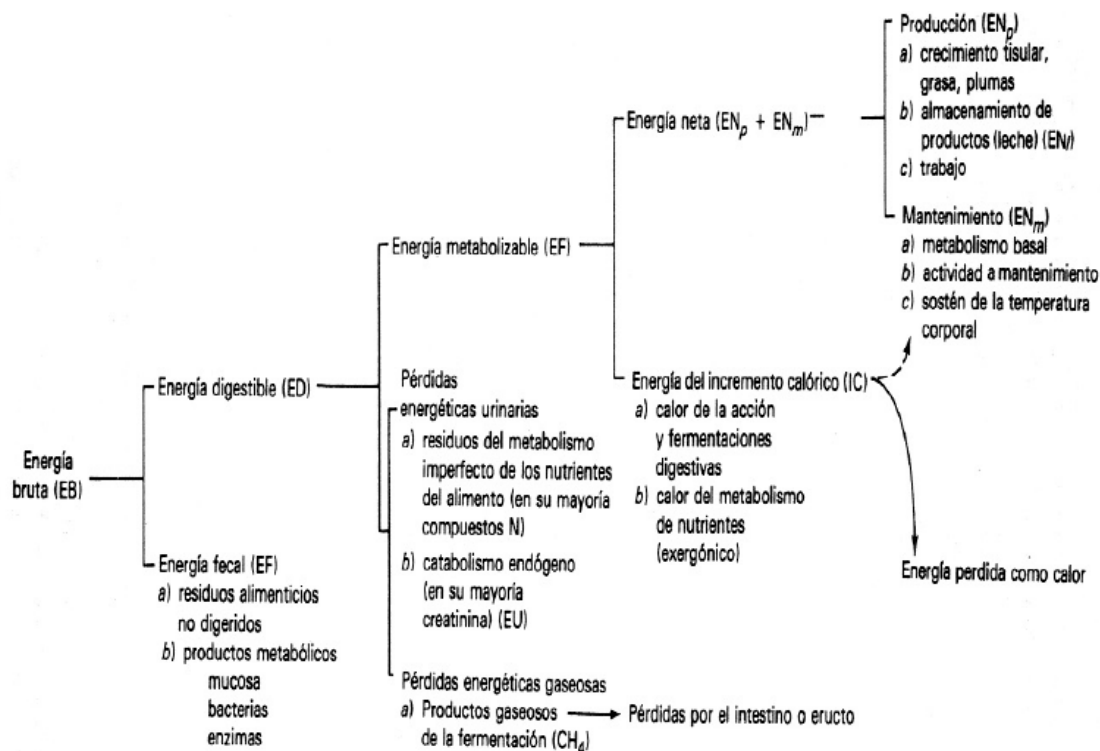


Figura 2.10.- Distribución energética de los procesos orgánicos (Kamande, 2006).

## 2.10 Balance de nitrógeno

La utilización óptima del N depende de la velocidad y cantidad de N producido y utilizado por los microorganismos (Clavero *et al.*, 1997).

Las estrategias actuales de alimentación en rumiantes resultan con frecuencia en un aporte excesivo de N degradable en el rumen.

Los trabajos de investigación sobre el control de la disponibilidad de N en el rumen se han centrado tradicionalmente en el procesado de los alimentos para reducir su degradación, en parte porque la manipulación de la actividad proteolítica del rumen es difícil (Broderick *et al.*, 1991).

Sin embargo, la modificación de la peptidólisis y la desaminación pueden ser puntos de control igualmente efectivos. Aunque algunas bacterias (*Megaesphaera elsdenii*, *Prevotella ruminicola*, *Selenomonas ruminatum* y *Bacteroides fibrisolvens*) se encuentran en una proporción elevada en el rumen y tienen una capacidad desaminadora importante (Bladen *et al.*, 1961; Wallace y Cotta, 1988), Russell *et al.* (1988) identificaron a un pequeño grupo de bacterias que tienen una actividad desaminadora inusualmente elevada (20 veces mayor que las otras bacterias; por ejemplo: *Peptostreptococcus* y *Clostridium spp.*), y que aparentemente contribuyen de forma sustancial a la producción de N amoniacal en el rumen.

Estas bacterias utilizan los aminoácidos como fuente principal de energía, y liberan el N al medio ruminal. La inhibición de este pequeño grupo de bacterias puede permitir controlar la producción de N amoniacal (Wallace, 1996; Weimer, 1998).

Balance de nitrógeno se le conoce al método utilizado para estimar la cantidad de nitrógeno dietético que un animal es capaz de retener. Esta

estimación, tiene básicamente las mismas limitantes e inconvenientes de la determinación de la digestibilidad aparente y se ve afectada por muchos de los factores que influyen en la misma (Castellanos, 1990).

Generalmente, la estimación se realiza al mismo tiempo que se efectúa una prueba de digestibilidad aparente. El coeficiente de retención de nitrógeno puede ser positivo, o negativo, lo que da una idea del nivel de alimentación de los sujetos experimentales. (Castellanos, 1990).

La información de balance de nitrógeno se puede hacer en gramos, por día o como porcentaje del consumo (Castellanos, 1990).

La retención de nitrógeno es una de las muchas formas para estimar la calidad de la proteína en animales. Esta determinación complementada con otras de laboratorio se utiliza para determinar o evaluar la proteína en distintos alimentos (Castellanos, 1990).

Además de la información del contenido de nitrógeno en heces, se requiere de la determinación del nitrógeno en la orina, esta se colecta en recipientes de plástico conectados al separador de la jaula metabólica o de la sonda de Folley (Castellanos, 1990).

Debe de advertirse de la determinación rutinaria del balance de N en rumiantes no es recomendable debido a que presenta una variabilidad muy grande en los rumiantes.

Además debido a la particularidad del metabolismo nitrogenado de estos, la utilidad de esta medición es limitada, por lo que su determinación se inclina más a la evaluación de fuentes proteicas (Clavero *et al.*, 1997).

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

BALANCE N = N consumido - N excretado

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

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

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio.

El presente trabajo se realizó en la Unidad Metabólica e Investigación y Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Su localización geográfica 25° 22' de latitud Norte, longitud 101° 00' oeste, a una altitud de 1742 msnm.

#### 3.2 Elaboración del producto peletizado.

Se establecieron las mejores condiciones para la elaboración de un producto peletizado considerando principalmente el contenido de humedad, contenido de nutrientes y nivel de aglutinante (zeolita) empleando diversos subproductos agroindustriales (cuadro 3.1). El producto peletizado fue elaborado por Alberto Guerrero-Rodríguez en la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAZ.

Cuadro 3.1.- Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración del pelet.

<b>Ingrediente</b>	<b>% en dieta</b>
Maíz (molido)	36.13
Salvadillo (trigo)	29.41
Bagazo de papa (sabritas)	4.2
Residuos de frituras (papa, trigo y maíz)	8.4
Zeolita	4.2
Melaza	8.7
Levadura de cerveza	8.97



### 3.3 Análisis de muestras

Los componentes proximales del producto peletizado 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 estimaron 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):  $CNE (\%) = MS - [PC + EE + cenizas + FDN]$ . La información del contenido nutricional del alimento peletizado (Cuadro 3.2), se incluye en el mismo la composición química de los otros dos componentes que conformaron los tratamientos (forraje y concentrado sin peletizar).

Cuadro 3.2.- Caracterización nutricional de los tres principales componentes de la dieta.

	MS	MO	PC	EE	FC	FDN	FDA	Cenizas	ELN
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Forraje	87.48	89.06	12.3	0.48	30.50	61.94	42.67	10.94	45.78
Concentrado	84.82	92.07	9.08	4.62	4.20	63.84	6.66	7.93	74.17
Pelet	88.58	83.49	9.08	6.03	4.59	55.32	7.57	16.51	63.79

MS= Materia seca, MO= Materia Orgánica, EE=Extracto etéreo, FC= Fibra Cruda, FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, ELN= Extracto libre de nitrógeno.

### 3.4 Prueba de alimentación

Se utilizaron 5 ovinos machos de la raza Dorpeer con un peso promedio de 37 kg facilitados por un productor particular de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

La prueba de alimentación tuvo una duración total de 70 días, la cual estuvo dividida en cinco etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que siete días se destinaban para el periodo de adaptación y siete para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron una relación forraje:concentrado de 30:70. La inclusión del alimento en pelet fue: T<sub>1</sub>, 0; T<sub>2</sub>, 25; T<sub>3</sub>, 50; T<sub>4</sub>, 75; y T<sub>5</sub>, 100%. Estas proporciones fueron sustituir el concentrado en polvo por concentrado peletizado. La caracterización nutricional para los cinco tratamientos se presenta en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3.- Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la prueba de alimentación.

Determinaciones (%)	Pelet (%)				
	0	25	50	75	100
Materia seca	85.62	86.28	86.93	87.59	88.25
Materia orgánica	78.04	77.31	76.59	75.86	75.14
Proteína cruda	8.62	8.68	8.74	8.8	8.86
Extracto etéreo	2.87	3.12	3.37	3.61	3.86
Fibra cruda	10.5	10.59	10.67	10.76	10.85
Fibra en detergente neutro	54.16	53.26	52.36	51.46	50.56
Fibra en detergente ácido	15.15	15.34	15.52	15.71	15.89
CHO's no estructurales	12.39	12.26	12.12	11.99	11.86
Cenizas	7.58	8.96	10.34	11.73	13.11
Extracto libre de nitrógeno	56.05	54.93	53.81	52.69	51.57
Total de nutrientes digestibles	59.0	61.3	63	62.2	60.4
Energía digestible (Mcal/kg)	2.6	2.7	2.8	2.7	2.66
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2.1	2.2	2.3	2.25	2.18
Energía neta (Mcal/kg)	1.3	1.3	1.34	1.33	1.29
Energía neta ganancia (Mcal/kg)	0.3	0.332	0.342	0.338	0.327

CHO's = Carbohidratos; Mcal/kg = Megacalorías por kilogramos

### 3.4.1 Tratamientos

Se evaluarán 5 tratamientos con 5 repeticiones. En todos los tratamientos se utilizó 30% de heno de sorgo molturado como forraje. Los tratamientos fueron los siguientes:

Cuadro 3.4.- Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.

Tratamiento	Forraje %	Concentrado 70 %	
		Sin peletizar %	Peletizado %
1	30	100	0
2	30	75	25
3	30	50	50
4	30	25	75
5	30	0	100

### 3.5 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. . Las jaulas están ubicadas en la Unidad Metabólica e Investigación en el área de pruebas metabólicas para rumiantes.

### 3.6 Alimentación

El alimento se sirvió a las 7:00 a.m. y a las 3:00 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.

### 3.7 Recolección de heces y orina

La recolección de heces se dividió en 2 periodos, uno a las 7:00 a.m. y otro a las 3:00 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 (7:00 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.

### 3.8 Variables determinadas en el experimento.

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

Coefficientes 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):

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

#### 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):

$$NDT = ((\%PC \cdot DPC) + (\%FC \cdot DFC) + (\%ELN \cdot DELN) + ((\%EE \cdot DEE) \cdot 2.25)) / 100$$

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):

$$ED = (NDT \cdot 4.409) / 100$$

$$EM = (ED \cdot 0.82)$$

$$ENm = (EM \cdot 0.52)$$

$$ENg = (EM \cdot 0.15)$$

### 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):

BALANCE N = N consumido - N excretado

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

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

### 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 fue 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. Con el objeto de determinar el momento en que las diferencias entre concentrado peletizado y sin peletizar comenzaron a ser significativa: comparación de medias post-ANOVA se realizó mediante polinomios ortogonales.

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Comportamiento de los coeficientes de digestibilidad

La inclusión de diferentes niveles de pelet en la ración para ovinos, 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 del extracto etéreo (DEE) y de la fibra detergente neutro (DFDN) ( $P < 0.05$ ); sin embargo, los coeficientes de digestibilidad para cada uno de los demás nutrientes (DPC, DFC, DFDA 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 diferentes niveles de pelet en base al concentrado.

Variable Respuesta	Nivel de pelet (%)					P (0.05)
	0	25	50	75	100	
CMS (g/d)	932.9	1058.7	980.6	1022.3	904.6	0.450
Coeficientes de digestibilidad						
D MS (%)*	59.06 <sup>a</sup>	66.25 <sup>b</sup>	68.3 <sup>b</sup>	68.72 <sup>b</sup>	66.5 <sup>b</sup>	0.000
D PC (%)	85.1	85.2	85.8	85.2	88	0.480
D EE (%)*	79.9 <sup>a</sup>	84.6 <sup>ab</sup>	88.0 <sup>b</sup>	87.1 <sup>b</sup>	88.8 <sup>b</sup>	0.000
D FC (%)	44.6	48.0	49.1	47.7	42.7	0.936
D FDN (%)*	61.2 <sup>ab</sup>	63.6 <sup>bc</sup>	66.9 <sup>c</sup>	64.8 <sup>bc</sup>	57.8 <sup>a</sup>	0.000
D FDA (%)	32.2	37.9	39.2	35.8	33.3	0.482
D ELN (%)	73.2	76.3	79.3	79.1	76.3	0.111

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

En el cuadro 4.1 se observa que conforme se adiciona el producto peletizado en la ración para ovinos el coeficiente de DMS se incrementa alcanzando un valor



mayor para la inclusión de 75% de pelet en base al concentrado (68.72%), sin embargo este valor disminuyó al adicionar el 100 % de pelet. De cualquier forma para cualquier nivel de inclusión del producto la DMS fue mayor al testigo. También se puede expresar en base a lo señalado por otros autores que los coeficientes de DMS encuentran por encima de los valores promedios reportados para ovinos (Church, 1993; Souza y Dos Santos, 2002).

Ahora bien, aun cuando el coeficiente de DMS parece mejorar en cualquier nivel de inclusión del pelet en relación al testigo, la línea ajustada, cuyo análisis presentó un efecto significativo para ajuste cuadrático ( $P=0.000$ ) permite un mejor análisis y la obtención de un rango para establecer el nivel óptimo de inclusión del producto peletizado en base al concentrado (figura 4.1).

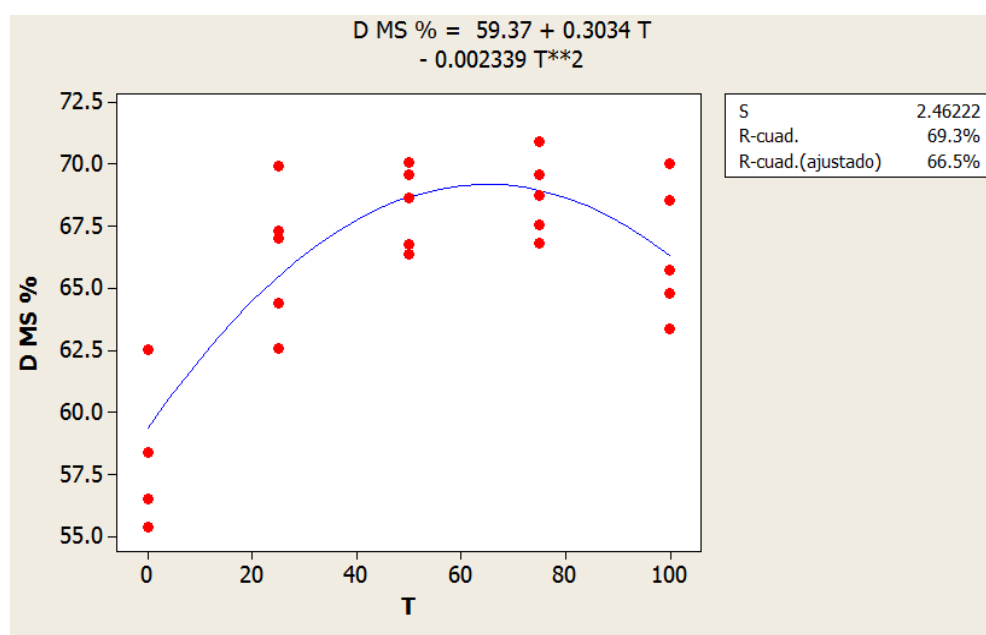


Figura 4.1.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DMS en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

La ecuación de predicción de la gráfica anterior ( $Y = 59.37 + 0.3034 x - 0.002339 x^2$ ) permite establecer un rango como nivel óptimo de inclusión de pelet, en

base a lo anterior podemos señalar que la mayor digestión de la materia seca se presenta con niveles de 60 a 70 % del pelet en base al concentrado.

Los principales factores a considerar para el análisis de los coeficientes de la DMS en el presente estudio se enfocan sobre aquellos elementos que tienen efecto sobre el consumo animal o nivel de alimentación, la tasa de pasaje del alimento, la eficiencia metabólica de los animales, la disponibilidad de los nutrientes para los microorganismos del rumen y el sitio de digestión de los nutrientes (Church, 1993; Cochran *et al.*, 1986; Church y Pond, 1994).

En relación al efecto de los niveles de alimentación sobre la DMS Castellanos *et al.*, (1990) recomienda que al informar de los resultados de una prueba de digestibilidad se reporten 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.

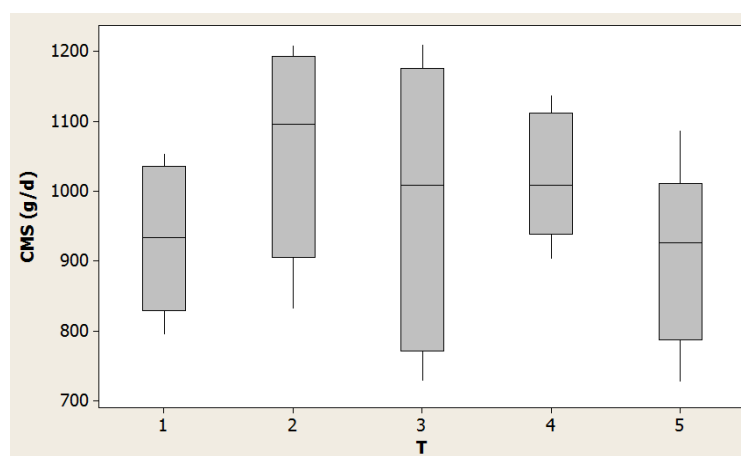


Figura 4.2.- Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T1=0%, T2=25%, T3=50%, T4=75%, T5=100%).

La figura 4.2 muestra que en relación al nivel de alimentación no se presentaron fluctuaciones significativas, situación que permite discutir los resultados

en relación a otros factores tales como composición química de las dietas experimentales y principalmente al efecto que nos ocupa, en este caso al efecto del peletizado sobre los procesos metabólicos y digestivos.

Castellanos *et al* (1990) menciona que el peletizado de algún alimento puede no mejorar su digestibilidad incluso puede llegar a disminuirla debido a sus efectos sobre el consumo, ya que si el peletizado de la dieta o componentes de la misma llega a incrementar la ingestión de alimentos dicho aumento puede incrementar a su vez el paso de la digesta a través de todo el tracto digestivo disminuyendo los coeficientes de digestibilidad. Sin embargo, Judkins (1990) y Church (1993) señalan que la digestión ruminal es un proceso dinámico que no solo involucra el consumo, sino que en realidad incluye factores como la ingestión y rumia, el pasaje de líquidos, microorganismos y alimentos no digeridos a través del abomaso hacia el tracto digestivo, por lo que el peletizado del concentrado pudo interactuar con diversos factores ocasionando en lugar de efectos negativos beneficios sobre la DMS y si además tenemos en cuenta que no hubo alteraciones en los consumos podremos enfocarnos más en el efecto positivo causado por la adición del pelet.

En este sentido al peletizar el concentrado se aumenta el tamaño de partícula situación que eventualmente influye sobre la masticación de los alimentos. Blas y García (1993) señalan que los mecanismos que controlan la salida, y, por lo tanto, el tiempo de permanencia de las partículas alimenticias en el rumen condicionan, junto con la eficacia de los procesos fermentativos, la degradación microbiana, por lo que la salida de partículas del rumen está inicialmente condicionada por su tamaño. Por su parte Ulyatt *et al.*, (1986) señalan que el proceso de masticación en rumiantes es de importancia cuantitativa para la digestión al contribuir a la liberación de sus componentes solubles (alrededor del 20-30% de la materia seca de forrajes secos es solubilizada por la masticación), a dañar la superficie de los componentes del alimento en base a una mayor retención (facilitando la exposición del material a una invasión efectiva por los microorganismos ruminales), tal situación pudo influir para que al adicionar el producto peletizado en el presente mejorará el coeficiente de

digestibilidad de alguno de los nutrientes y por ende mejorar el coeficiente de DMS en relación al testigo.

Bajo el mismo contexto Komande (2006) señala que el volumen del rumen, la tasa de fermentación, el flujo continuo del contenido ruminal y el tiempo de digestión impactan significativamente la eficiencia de utilización del alimento, por lo que para lograr una alta degradación de alimentos se requieren largos períodos de retención ruminal, esto se asocia a un gran llenado del rumen pero a un bajo turn-over (lento vaciado del contenido ruminal) situación que pudo cumplirse con la adición del pelet.

Por otro lado diversos autores (Welch, 1986 y Kaske y Engelhardt, 1990) han demostrado que además del tamaño, la densidad de las partículas en forrajes afecta igualmente a la velocidad con la que abandonan el rumen. Allens y Mertens, en 1987 señalan 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. Esta situación pudiera haberse presentado de igual forma con el concentrado: al aumentar el nivel de peletizado se incrementaba la densidad del alimento situación que pudo influir sobre la retención de partículas impactando eventualmente el coeficiente de DMS.

Sin embargo, los valores de la línea de ajuste permiten señalar que el comportamiento de la DMS fue creciente hasta un nivel de 65% de pelet en base al concentrado y a partir de este nivel tendió a disminuir, situación que vendría a contradecir las aseveraciones expuestas anteriormente. En el sentido de dar una explicación Kamande (2006) señala que la tasa de fermentación puede verse incrementada hasta el punto en que la capacidad de degradación ruminal se satura. La capacidad del animal de consumir alimento, secretar saliva y eliminar material no digerible es superada y se produce un lavado de la flora ruminal con la consecuente disminución de la digestibilidad. En este punto un incremento en el efecto provocado por la adición del producto peletizado pudo haber empezado a impactar de forma negativa conforme se acercaba al 100% del producto peletizado, situación que puede

no ser conveniente debido a que el costo extra por concepto de peletizado pudiera no justificar el uso del pelet en niveles mayores al 75 % en base al concentrado.

Por otra parte se puede observar que los coeficientes de DEE aumentan de forma significativa ( $P < 0.05$ ) conforme se incrementan los niveles del pelet en el concentrado. Sin embargo al igual que para el coeficiente de DMS se presentó un efecto significativo para ajuste de línea cuadrática ( $P = 0.031$ ). El ajuste de datos para esta variable se presenta en la figura 4.3.

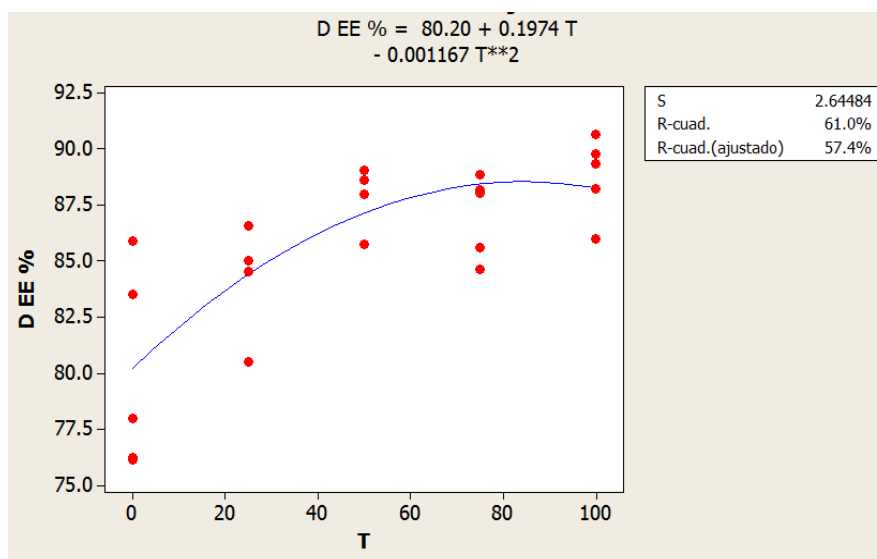


Figura 4.3.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DEE en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

La ecuación de predicción de la gráfica anterior ( $Y = 80.2 + 0.1974 x - 0.001167 x^2$ ) permite determinar que el nivel óptimo para el coeficiente de DEE fluctúa entre el 80 y 85% de inclusión de pelet en base al concentrado.

Un dato importante a mencionar durante la presente prueba es que en los tratamientos en los que se presentan mayores valores en el contenido de EE ( $T_3 = 3.37$ ;  $T_4 = 3.61\%$ ;  $T_5 = 3.86\%$ ) la tendencia en la digestibilidad de la FDN (figura 4.4) es creciente en comparación con los tratamientos en los que el EE es menor ( $T_1 =$

2.87;  $T_2 = 3.12\%$ ). Lo anterior se contrapone a lo reportado por Palmquist, (1980). Dicho autor menciona que la digestión de la fibra se ve afectada de manera negativa por la presencia de EE en el rumen. Sin embargo, es importante hacer una distinción: para evaluar el efecto de las grasas sobre la digestión de otros componentes del alimento no solo debe considerarse la cantidad, sino que además es importante analizar la capacidad que presenten dichas grasas para ser metabolizadas ya que de aquí dependerá el efecto positivo o negativo que pudieran generar sobre la digestión de otros componentes del alimento. En este sentido Wattiaux (2005) señala que los ácidos grasos libres en el rumen tienden a ligarse a partículas de alimentos y microbios y reducir la fermentación, especialmente de los carbohidratos fibrosos, por lo tanto para evaluar la digestión de las fracciones de fibra no solo es necesario la cantidad de grasa presente en la dieta sino que además es importante considerar su disponibilidad y digestión la cual puede variar con el peletizado de componentes de la dieta.

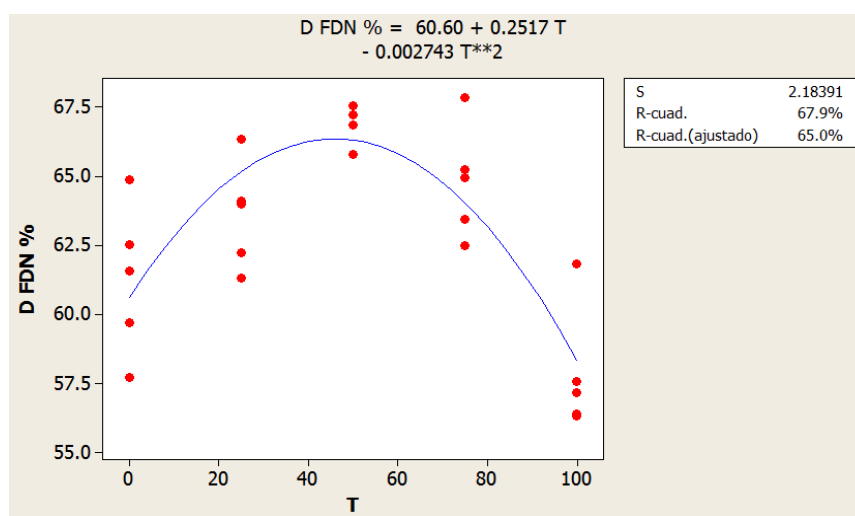


Figura 4.4.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DFDN en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

Por lo anterior, los valores ajustados más elevados de DFDN y DEE supone de forma general un efecto relacionado a la tasa de degradación y fermentación ruminal ya que lo anterior se asocia con el tamaño y exposición de la partícula a los

microorganismos del rumen (Russell Huespell, 1981), por lo cual, a cierto nivel de inclusión del pelet en la dieta (hasta un 45 % en base al concentrado para DFDN y un 85% para DEE) la modificación del tamaño y exposición de la partícula repercute de forma positiva para obtener mayores niveles de digestibilidad de ciertos componentes del alimento y a partir de dichos niveles la digestibilidad comienza a descender cuando se adicionan altos niveles del producto peletizado por un efecto explicado anteriormente para el coeficiente de DMS

En el mismo sentido Hess *et al.*, (2008) determinó que la capacidad que poseen los microorganismos del rumen para digerir los lípidos es muy limitada provocando una fermentación lenta de los carbohidratos, desencadenando una serie de efectos negativos como la reducción de ingesta de los alimentos, pérdida de peso, desbalance metabólico del animal, etc. Lo que repercute a su vez de manera directa sobre los aspectos proactivos; fenómeno que no ocurrió durante la realización de esta prueba ya que si bien existió la tendencia creciente en los contenidos de EE conforme se adicionó el pelet los valores de dicho componente del alimento fueron muy cercanos entre tratamientos y todos se mantuvieron bajos (< 3.9%) por lo que quizá el efecto de la variación en el contenido de EE no impactó de manera importante los elementos anteriormente mencionados.

Por otro lado es importante discutir sobre los elementos que influyeron para no encontrar diferencias significativas en los coeficientes de digestibilidad de los demás componentes que aportan energía tales como ELN y de los principales compuestos nitrogenados como lo es la PC. Generalmente cuando se habla del procesado de alimentos se toma en cuenta dos impactos principales sobre el valor nutricional. En primer lugar, cuando se aplican procesados térmicos (extrusionado, aplastado al vapor, cocción a presión, granulado, expandido, micronizado, torrefactado y peletizado al vapor) se puede alcanzar un nivel donde las proteínas se desnaturalizan, como resultado de la desnaturalización, la solubilidad de la proteína se reduce y disminuye su susceptibilidad a la degradación ruminal y aumenta probablemente la digestión en la parte baja del sistema digestivo (Chalmers y Synge,

1954) , en este caso al no afectar las propiedades de la proteína mediante un peletizado solo a presión la calidad de la proteína tanto del concentrado sin peletizar como el peletizado se mantuvo prácticamente, lo cual impacto sobre el coeficiente de DPC ya que no se encontraron diferencias significativas.

De forma similar con los procesados que utilizan humedad y temperatura (secado al vapor) se puede generar la gelatinización de los almidones (Kahl y *et al.*, 2000). El nivel de gelatinización del almidón del grano se ha utilizado para medir los cambios que se producen durante el procesamiento del grano. La interpretación es que el cambio en el almidón debido a la gelatinización hace más disponible al almidón para los microorganismos del rumen y/o del animal, y este cambio responde a las mejoras observadas en los coeficientes de digestibilidad (Trei, 1966). Otros autores señalan que la digestión del almidón y sustancias solubles *in vitro* por los microorganismos del rumen (Trei *et al.*, 1970) o por enzimas pancreáticas (Osman *et al.*, 1970) puede incrementarse aproximadamente el triple mientras la aplicación del laminado al vapor o cocido bajo presión contra el molido en seco del grano de sorgo, por lo que nuevamente al no considerar el efecto como el grado de gelatinización de los almidones con el peletizado se esperaría no encontrar efecto sobre los coeficientes de digestibilidad principalmente del ELN.

#### **4.2 Evaluación del contenido energético.**

La inclusión de diferentes niveles de pelet en la ración para ovinos, no produjo efectos significativos sobre los valores de Nutrientes Digestibles Totales (NDT) ( $P > 0.05$ ) 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 4.6), energía metabolizable (EM) (figura 4.7), energía neta de mantenimiento (ENm), y energía neta de ganancia (ENg) ( $P > 0.05$ ). Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 4.2.



Cuadro 4.2. Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado.

Variable de respuesta	Nivel de pelet (%)					P (0.05)
	0	25	50	75	100	
NDT (%) <sup>*</sup>	59	61.3	63	62.2	60.4	0.308
ED (Mcal/kg) <sup>*</sup>	2.6	2.7	2.78	2.74	2.66	0.308
EM (Mcal/kg) <sup>*</sup>	2.13 <sup>a</sup>	2.22	2.28	2.25	2.18	0.308
ENm (Mcal/kg) <sup>*</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.3	1.34	1.33	1.29	0.308
ENg (Mcal/kg) <sup>*</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.332	0.342	0.338	0.327	0.308

<sup>\*</sup> No muestra diferencia significativa entre tratamientos (P>0.05)

En consecuencia a que en los tratamientos no se encontraron diferencia significativa (P>0.05) en el contenido de NDT (figura 4.5) a pesar de que hubo diferencias en el coeficiente de DFDN, Hoffman *et al* (2007) señalan que la influencia de la digestibilidad del FDN en la predicción total de TDN, es razonablemente pequeña en relación con todos los factores que influyen en el estado de energías en animales rumiantes, por lo que quizá las variaciones en el coeficiente de DEE fue el factor de mayor impacto sobre la tendencia creciente en los valores de NDT.

Sin dejar de tomar en cuenta que, dada la diversidad de factores que intervienen en la eficiencia de la utilización de la energía, la DEE no logro impactar de manera significativa ya que esta depende de otros factores por ejemplo, digestibilidades de otros nutrientes (PC, FC, ELN), combinado con la individualidad de cada uno de las repeticiones manejadas, así como un límite de metabolismo propio de cada animal utilizado.

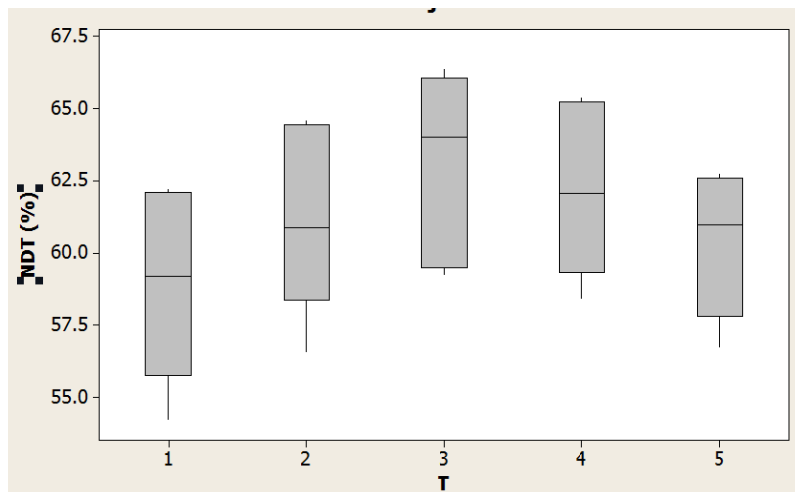


Figura 4.5.- Comportamiento de los valores de NDT de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T<sub>1</sub>=0%, T<sub>2</sub>=25%, T<sub>3</sub>=50%, T<sub>4</sub>=75%, T<sub>5</sub>=100%).

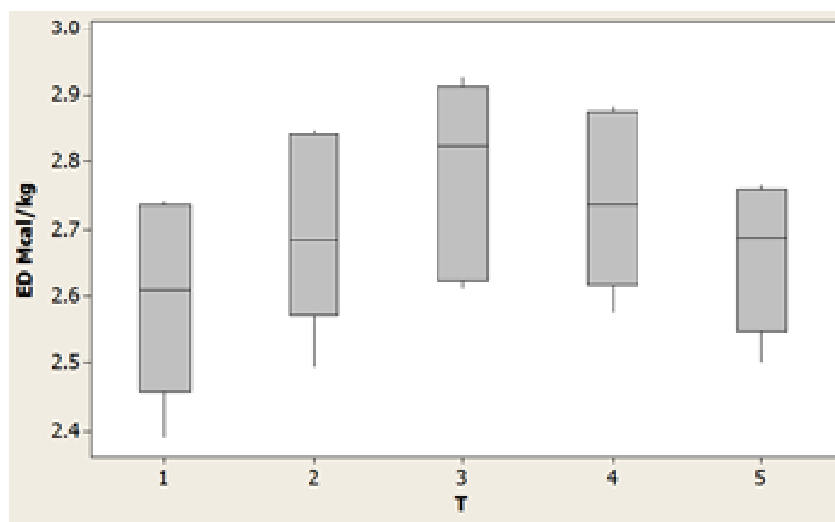


Figura 4.6.- Comportamiento de los valores de ED de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T<sub>1</sub>=0%, T<sub>2</sub>=25%, T<sub>3</sub>=50%, T<sub>4</sub>=75%, T<sub>5</sub>=100%).

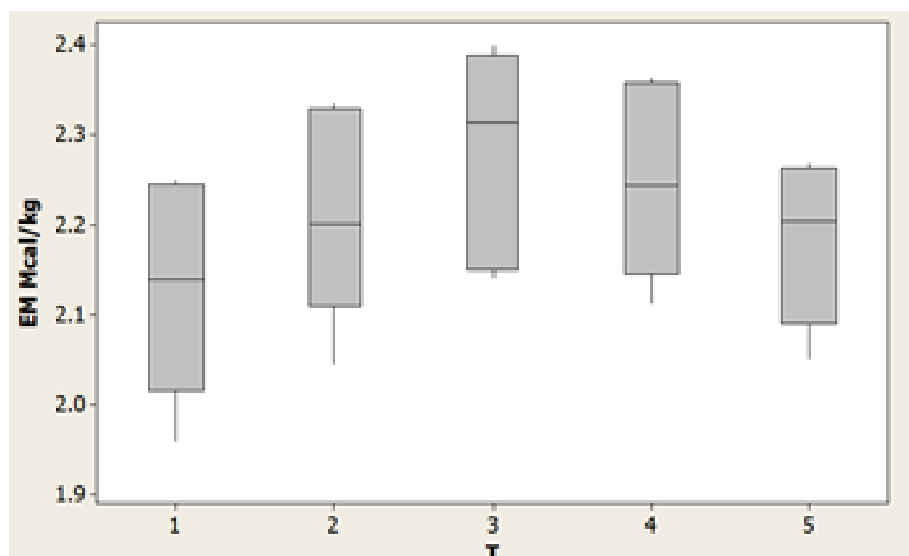


Figura 4.7.- Comportamiento de los valores de EM de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de pelet en base al concentrado ( $T_1=0\%$ ,  $T_2=25\%$ ,  $T_3=50\%$ ,  $T_4=75\%$ ,  $T_5=100\%$ ).

Partiendo de que los demás parámetros energéticos (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

La inclusión de diferentes niveles de pelet en la ración para ovinos, no produjo efectos significativos ( $P>0.05$ ) sobre los coeficientes de balance de nitrógeno (BN), nitrógeno retenido consumido (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA). Los resultados se muestran en el cuadro 4.3. Este resultado, sin variaciones significativas ( $P>0.05$ ), es predecible ya que al no existir un efecto notorio en el coeficiente de DPC ( $P>0.05$ ), se esperaría que los valores de nitrógeno dietético que el animal es capaz de retener permanecerán constantes.

A partir de los valores de retención de N los cuales son importantes para determinar la calidad de la proteína dietética (Castellano, *et al.*, 1990) y de los coeficientes de DPC obtenidos podemos aseverar que la PC presente en la ración tiene un alto valor biológico.

Cuadro 4.3. Coeficientes de Balance de Nitrogeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado (T<sub>1</sub>=0%, T<sub>2</sub>=25%, T<sub>3</sub>=50%, T<sub>4</sub>=75%, T<sub>5</sub>=100%).

Variable Respuesta	Nivel de pelet (%)					P (0.05)
	0	25	50	75	100	
	Balance de N					
BN (g/d)*	10.870	12.394	11.649	12.087	11.058	0.629
NRC (%)*	84.150	84.326	84.889	84.083	86.369	0.752
NRAA (%)*	98.896	99.001	98.911	98.674	98.108	0.222

\* No muestra diferencias significativa entre tratamientos (P>0.05).

Partiendo del hecho de que la utilización óptima del N depende de la velocidad y cantidad de N producido y utilizado por los microorganismos según Calsamiglia, (2004) se enfocó la explicación de los resultados en base a dos factores: por un lado es importante considerar que la fuente de variación del presente estudio no se basó en diferentes contenidos de nutrientes en la dieta sino en diferentes niveles de procesado del concentrado, entonces, el tener valores similares de PC en la ración nos permite aseverar que la cantidad de N se mantuvo constante (figura 4.7), obviamente valores similares de N en los distintos tratamientos no aseguran valores similares de disponibilidad de dicho N para los microorganismos del rumen, es aquí donde resalta la importancia de analizar los coeficientes de DPC, de los cuales podemos determinar que al no haber variación significativa entre dichos parámetros

( $P > 0.05$ ), se avala el comportamiento presentado por los coeficientes para BN, NRC, NRAA, en los que como ya mencionó no presentaron diferencia significativa.

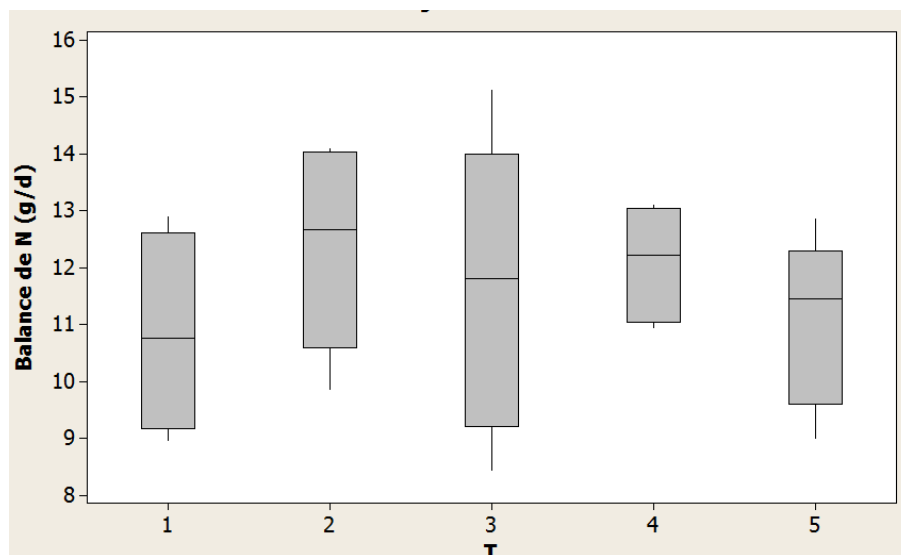


Figura 4.8.- Coeficientes de balance de Nitrogeno en ovinos alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado ( $T_1=0\%$ ,  $T_2=25\%$ ,  $T_3=50\%$ ,  $T_4=75\%$ ,  $T_5=100\%$ ).

Bajo el mismo contexto, Tamminga (1975) y Weimer (1998) señalan que un exceso de degradación de la PC conduce a la acumulación de N amoniacal que se absorbe, se transforma en urea en el hígado y se pierde por la orina. Por lo tanto, al no haber diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en el nivel de digestión de la PC para cada uno de los tratamientos aplicados, se respalda los valores de BN obtenidos, en los cuales no hay diferencia significativa ( $P > 0.05$ ).

## 5. Conclusión

La inclusión del concentrado peletizado, en dietas integrales para ovinos, aumenta la digestibilidad de materia seca, tomando en cuenta que el valor óptimo de la adición de este producto oscila alrededor del 60 al 70% en base al concentrado, resaltando que este efecto en la digestibilidad de la materia seca fue provocado a su vez por variaciones tanto en digestibilidad de fibra detergente neutra como en digestibilidad de extracto etéreo, no habiendo cambios significativos para los demás nutrientes ni para las demás variables obtenidas (valoración energética y balance de nitrógeno).

A pesar de que a niveles de inclusión de pelet diferentes al 60 o 70% se presenta de igual forma un aumento en la digestibilidad de materia seca en relación al testigo, este aumento pudiese no ser representativo como para justificar la adición del producto peletizado.

El procesado de subproductos agroindustriales representa una opción alternativa, ya que puede mejorar los procesos implicados en la digestión de alimentos, además que puede tener efectos positivos sobre el manejo de los ingredientes, debido a que las características de dichos subproductos sin procesar muchas veces pueden limitar su incorporación en la dieta de rumiantes.

## 6. Literatura citada

- Allen, M. S., D. R. Mertens. 1988. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *J Nutr* 1988; 118:261-270
- Alwash, A. H., y P. C. Thomas. 1974. Effect of the size of hay particles on digestion in the sheep. *J. Sci. Food Agr.* 25:139
- Andrews, R. P. y E. R. Orskov. 1970. The nutrition of the early weaned lamb:II. The effect of dietary protein concentration, feeding level and sex on body composition at two live weights. *Journal of Agricultural Science.* 75: 19-26.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analysis. 15 ed. Indiana University. Arlington, VA. U.S.A.
- Araujo-Febres, Vergara-Lopez. O.J., Oirtega, A.E. y Lachmann, L 2001. influencia del tiempo de almacenamiento de los bloque multinutricionales sobre el consumo y la digestibilidad del heno en corderos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9:104.
- Armstrong DG. Smithard RR. (1979). The fate of carbohydrates in the small and large intestines of the ruminant. *J. Sci. Food Agric.* 30:1021-1022.
- Baile CA, CL McLaughlin. 1987. Mechanisms controlling feed intake in ruminants: a review. *J Anim Sci* 64, 915-922.
- Balch, C.C. y Campling, R.C. 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews*, 32:669-686. (Basurto y Tejada 1992)
- Bath, D. L., J. R. Dunbar, J. M. King, S. L. Berry, R. O. Leonard and S. E. Olbrich. 1980. By-products and unusual feedstuffs in livestock rations. WREP No. 39, 22 pp.
- Beardsley, D.W. 1964. Symposium on forage utilization: nutritive value of forage as affected by physical form. Part II. Beef cattle and sheep studies. *Journal of Animal Science*, 23: 239-245.

- Behnke, K. C. 1990. Processing Factors influencing pellet quality. Animal Feed Manufacturers Association. Consultado en línea: [www.afma.co.za](http://www.afma.co.za)
- Behnke, K. C. 2001. Productivity parameters using pellets vs mash feed. Dept. of Grain Science and Industry-Kansas State University. USA.
- Behnke, K. C. 2010. El arte (ciencia) del peletizado. Consultado en línea: [www.wattagnet.com/El\\_arte\\_\(ciencia\)\\_del\\_peletizado.html](http://www.wattagnet.com/El_arte_(ciencia)_del_peletizado.html)
- Belyea, R. L., F. A. Martz, y G. A. Mbagaya.1989. J. Dairy Sci. Effect of Particle Size of Alfalfa Hay on Intake, Digestibility, Milk Yield, and Ruminal Cell Wall of Dairy Cattle. 72, 958.
- Bladen, H.A., Bryant, M.P. y Doetsch, R.N. (1961) Appl. Microbiol. 9: 175-180.
- Blas, B y R. García.1993. Tamaño de la partícula de los forrajes en la alimentación de vacas lecheras y conejos. Bases fisiológicas y recomendaciones. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España.
- Bondi A. 1989. Nutrición Animal. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Broderick, G.A.; D.B, Ricker, L.S. y Driver, 1991. Effect of Heat Treatment on Ruminal Degradation and Escape, and Intestinal Digestibility of Cottonseed Meal Protein. J. Dairy Sci. 73 453.
- Broderick, G. A. and W. M. Craig, 1980. Effect of heat-treatment on ruminal degradation and escape, and intestinal digestibility of cottonseed meal protein. J. Nutr. 110:2381
- Broderick, G. A. 1986. Relative value of solvent and expeller soybean meal for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 69:2948.
- Burns, J.A., *et al.* (1991). Selective reduction of disulfides by tris-(2 carboxyethyl) - phosphine. J. Org. Chem. 56, 2648-2650.
- 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.



- Campling, R.C. 1991. Processing cereal grains for cattle—a review. *Livestock Prod. Sci.* 28:223-234.
- Camps, D. N y G. O. González. 2003, Grano de maíz en la alimentación del ganado: ¿Entero o partido? *Nutrición y Alimentación Animal*. Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.
- 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.
- Castrillo, C., J. A. Guada, A. Vega, M. Lainez y J. Gasa.1987. Effet de la nature de la ration, de sa forme de presentation et du niveau d'ingestion sur la vitesse de passage des supplements proteiques dans le rumen, chez la brebis et chez l'agneau. *Repr. Nutr. Dévelop.*, 27: 31-32.
- Chalmers, M. I. & Synge, R. L. M. 1954. The digestion of nitrogenous cumpounds in ruminantes. *Adv. Protein Chem.* 9, 93-120.
- Church D.C. 1993. *El Rumiante. Fisiologia Digestiva y Nutricion*. Ed. Acriba S.A, Zaragoza, España, 652 paginas
- Church, D. C., W. G. Pond. 1994. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Editorial UTEHA. México.
- Church, D. C. 1974. *Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Church, D.C. 1993. *El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición*. Ed. Acriba S.A., Zaragoza, España, pp 652.
- Clavero, T., Romero, F., Razz, R. Rodríguez, A. 1997. Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Gliricidia sepium*. *Rev. Científica. FCV-LUZ*. Vol VII. N° 2. p. 83-85 1997.
- 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.

- Colucci, P. E., G. K. Macleod, W. L. Grovum, L. W. Cahill, and I. McMillan. 1989. Comparative digestion in sheep and cattle fed different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J. Dairy Sci.* 72:1774.
- Da Cunda, S. 1995. Cuantificación de factores que afectan al consumo de novillos en feedlot (Magíster en Producción Animal), Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía.
- DeBie, W. H. and W. Woods. 1964. Rumen fermentation and animal performance as influenced by gelatinized corn and enzyme supplementation. *J. Anita. Sci.* 23:872 (Abstr.).
- Dixon R. M. and Milligan, L.P. 1985. Removal of digesta components from the rumen of steers determined by sieving procedures an fluid, particulate and microbial markers. *Br. J. Nutr.* 53:347-362.
- Egaña, M. J. I. Efectos de diferentes procesamientos de los granos de cereales sobre su valor nutritivo para animales rumiantes. *Tecno Vet: Año 6 N°1*, marzo 2000.
- Erbersdobler, H. (1976) En: *Protein Metabolism and Nutrition*. D.J.A. Cole, K.N. Boorman, P.J. Buttery, D. Lewis, R.J. Nreale y H. Swan (eds). Butterworths, London. pp: 139.
- Escobar, A. y Parra, R. 1980. Utilización de los residuos agrícolas fibrosos en la alimentación animal. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UCV, Informe Anual 1979, Maracay.
- Fadlalla, B., Kay, R.N.B. y Goodall, E.D. .1987. Effects of particle size on digestion of hay by sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 109, 551.
- Faichney, G.J. (1986) En: *Control of digestion and metabolism in ruminants*. L.P. Milligan, W.L. Grovum y A. Dobson (eds). Reston Publishing Co. pp:173.
- Faldet, M.A.; Broderick, G.A., Satter, L.D. y Ricker, D.B. 1988. *J. Dairy Sci.* 17 Suppl.1,
- Falk, D. 1985. Pelleting cost center. In: *Feed Manufacturing Technology III*. R.R. McElhiney, ed. American Feed Industry Assn. Arlington, VA.

- Ferlay, A., F. Legay, D. Bauchart, C. Poncet, and M. Doreau. Effect of a supply of raw or extruded rapeseeds on digestion in dairy cows J Anim Sci 1992 70: 915-923.
- Focant, M.; Van Hoecke, A. y Vanbelle, M. 1990. Prediction of the organic matter digestibility of grass silage. Anim. Feed Sci. Technol. 28, 303.
- Forbes. J. M. 1982. The role of the liver in the control of food intake. Proc . Nutr. Soc. 41, 123.
- Gaggiotti, M. XXI Curso Internacional de Lechería para Profesionales de America latina.2008
- Galyean, M. L., D. G. Wagner and F. N. Owens. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. J. Anita. Sci. 49:204.
- Galyean, M. L., D. G. Wagner and F. N. Owens. 1981. Dry matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. J. Dairy Sci. 64:1804.
- García E 1973 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México: Edición. UNAM, pp. 33-34.
- García Rebollar P. (1991) Tesis doctoral, Influencia de diferentes estrategias Reproductivas y nutricionales U.P.M. Madrid.
- 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
- Grajales y López, 2006. Híbridos del maíz para las regiones cálidas de buena productividad. Revista fitotecnica A.C. Chapingo, México.
- Grant, R.J.; Colenbrander, V.F. y Mertens, D.R. 1990. Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa hay. J. Dairy Sci. 73, 1823.
- Greenhaigh, J.F.D. y Wainman, F.W. 1972. The nutritive value of processed roughages for fattening cattle and sheep. Proceedings of the British Society of Animal Production, Edinburgh, pp. 61-72.

- Greenhalgh, J.F.D. y Reid, G.W. 1973. The effects of pelleting various diets on intake and digestibility in sheep and cattle. *Animal Production*, 16:223-233.
- Guada, J. A. 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España.
- Guerrero, R. A. 2009. Utilización de masilla y/o levadura de cervecería en la alimentación de toretes charolais. Tesis Maestría, UAAAN, México, p. 102
- Hagemeister, H.; Lüpping, W. y Kaufmann, W. 1981. En: *Recent Developments in Ruminant Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole. (eds). Butterworths, London. pp: 31.
- Hess, J. J., Malilay, J. N., & Parkinson, A. J. (2008). Climate Change The Importance of Place. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 468-478. Doi: 10.1016/j.ampere. 2008.08.024. IPCC. (2007). Cambio climático 2007: informe de de síntesis (pag. 104). Ginebra, Suiza.
- 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.
- Hooper, A. P. J.G. Welch. 1984. Effects of Particle Size and Forage Composition on Functional Specific Gravity. *Journal of Dairy Sci.* 68:5 1181-1188
- Jarrige, R. 1988. Alimentação de bovinos, ovinos e caprinos. Publicações Europa América, Lisboa. 453pp.
- Judkins, M. B., L. J. Krysl and R. K. Barton. 1990. Estimatig diet digestibility: A comparison of 11 techniques across six different diets fed to rams. *J. Anim. Sci.* 68:1405 - 1415.
- Kahl, B. C., M. Goulian, W. van Wamel, M. Herrmann, S. M. Simon, G. Kaplan, G. Peters and A. L. Cheung. 2000. *Staphylococcus aureus* RN6390 replicates and induces apoptosis in a pulmonary epithelial cell line. *Infect Immun*, 68: 5385-5392.

- Kamande G.M . 2006. Digestion ruminal y nutrición. Congreso de Forrajes. Producir XXI, Bs. As., 15(180):52-57
- 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.
- Kennedy, P.M. y Murphy, M.R. (1988). The Nutritional implications of differential particles through the ruminant alimentary tract. *Nutrition Research Rev.* 1, 189.
- Kloster, A.M.; Santini, Francisco J. RIA - v. 26, no. 1 (1995). Degradabilidad ruminal del aldimón de los granos: implicancias digestivas y productivas pp. 111-112
- Klusmeyer, T.H., McCarthy Jr., R.D., Clark, J.H. y Nelson, D.R. 1974. Effects of source and amount of protein on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73:3526- 3537.
- Klusmeyer, T.H.; Cameron, M.R.; McCoy, G.C. y Clark, J.H. 1990. Effects of Feed Processing and Frequency of Feeding on Ruminal Fermentation, Milk Production, and Milk Composition *J. Dairy Sci.* 73, 3538.
- Kung J. L., K. Maciorowski y K. M. Powell. 1991. Lupin as a protein supplement for growing lambs. *J. Anim. Sci.* 69, 3398.
- Laredo, M. A., H. J. Anzola V. y F. Segura. 1988. Cloruro de iterbio y óxido de cromo como indicadores de excreción fecal y consumo de heno. *Rev. ICA.* 23:303 - 313
- Martin, S. A. 1984. Comparison of hammermill and roller mill grinding and the effect of particle size reduction on mixing and pelleting. MS. Thesis. Kansas State Univ., Manhattan.
- Martz, F.A. and R. L. Belyea. 1986. *J. Dairy Sci.* Role of Particle Size and Forage Quality in Digestion and Passage by Cattle and Sheep. 69, 1996.
- Mateos, G. G. y S. Grobas. 1993. El proceso de granulación: bases científicas y efectos Nutricionales. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España.

- McDowell, 1985). Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates (Animal Feeding and Nutrition).
- McKinney, L. J. and R. G. Teeter. 2004. Predicting Effective Caloric Value of Nonnutritive Factors: I. Pellet Quality and II. Prediction of Consequential Formulation Dead Zones. Poultry Science 83:1165-1174.
- McNeill, J. W., G. D. Potter and J. K. Riggs. 1971. Ruminant and postruminal carbohydrate utilization in steers fed processed sorghum grain. J. Anita. Sci. 33:1371.
- Mehrez, A. Z. and E. R. Orskov. 1978 Protein, degradation and optimum urea concentration in cereal based diets for sheep British Journal of Nutrition In-.press
- Merchen, N. R. 1993. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. En: D. C. Church (Ed.). El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Tomo I. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 191 - 223.
- Merchen, N. 2000: Manipulation of amino acid supply to the growing ruminant. J. Anim. Sci. 70:3238-3247. Current perspective on assessing site of digestion in ruminants. J. Anim.
- Mertens DR, 1980. Loften JR. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. J Dairy Sci 2000; 63:1437-1446.
- Mertens, D.R. 1987. Predicting Intake and digestibility using Mathematical models of Ruminant Function. J Anim. Sci 1987 64: 1548-1558
- Mehrez, A. Z. and E. R. Orskov. 1978 Protein, degradation and optimum urea concentration in cereal based diets for sheep British Journal of Nutrition In-.press
- Minson, J.D. 1990 Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. Nutr. Abstr. Rev. series B. 52:591-615.
- Minson, D.J. 1963. The effect of pelleting and wafe ring on the feeding value of roughage - a review. Journal of the British trassland Society, 18:39-44.
- Montgomery M.J. y Baumgardt, B.R. 1965. Regulations of food intake in ruminates. 1. Pelleted rations. J. Dairy Sci 48:569

- Moore, L.A. 1964. Symposium on forage utilization: Nutritive value of forage as affected by physical form. Part I.
- Murphy, T.A. y, Nicoletti S.C. 1984. Effects of restricted feeding of growing steers on performance, carcass, characteristics, and composition. *J. Anim. Sci.* 72:2497-2507.
- 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.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- Ørskov E. R. 1982. Protein nutrition in ruminants. Academic Press, Londres. 160p.
- Osman, H. F., Brent Theurer, W. H. Hale and S. M. Mehen. 1970. Influence of grain processing on in vitro enzymatic starch digestion of barley and sorghum grain. *J. Nutr.* 100:1133.
- Owens, F. N., and A. L. Goetsch. 1986. Digesta passage and microbial protein synthesis. Pages 196–226 in *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Owens, F. (1982): Metabolismo de las proteínas en los rumiantes. En: D. C. Church (Editor): *El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*, Ed. Acribia S.A., pp. 255-281.
- Palma JM y Díaz M. Influencia de la altura de *Leucaena leucocephala* sobre los hábitos de pastoreo en ovinos. Establecimiento de árboles y arbustos forrajeros. En: II Reunión Nacional sobre Sistemas Agro-Silvopastoriles. Villahermosa, Tab. 20 – 22 junio de 2001. México. 2001.

- Pope, L. S., O. F. Harper and George K. Wailer. 1963. Steam heated (pregelatinized) milo for fattening beef calves. Feeding and Breeding test, Okla. Agr. Exp. Sta. Misc. Pub. 70.
- Poppi, D.P.; Minson, D.J. y Ternouth, J.H. (1981) Aust. J. Agric. Res. 32, 109.
- Preston, T.R., y Leng, R.A., 1989. 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, Consultorias para el desarrollo rural integrado en el trópico. (CONDRIT) Ltda. Cali, Colombia. 312 p.
- Quin, J.I. Watch van der, J.G. and Myburgh, S.: Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa.4. Description of experimental technique. Ondertepoort J. vet. Sci. Anim. Ind., 11:341-360 (1938).
- Reid, G.W., E.R. Ørskov and M. Kay. 1988. A note on the effect of variety, type of straw and ammonia treatment on digestibility and on growth rate in steers. Anim. Prod., 47: 157-
- Robertson, J.B. y Van Soest, P.J. 1975. A note on digestibility in sheep as influenced by level of intake. Animal Production. 21:89-92.
- Rodríguez, S. D. 2006. El pellet. Boletín Técnico. Producción Animal: Aves (UNAM).
- Ruiz, R., y Vázquez, C.M. 1983. Consumo voluntario de pastos y forrajes tropicales. In los pastos en Cuba. Tomo 2. Utilización. EDICA, La Habana. Cuba pp.117-186.
- Russell, J.B. y Hespell, R.B. 1981. J. Dairy Sci. 64, 1153.
- Russell, J.B., Strobel, H.J. y Chen, G. 1988. Appl. Environ. Microbiol. 55: 1-6
- Russell, J R., Young A.W. y Jorgensen, N. A. 1988. Effect of dietary cornstarch intake on pancreatic amylase, intestinal maltase and pH in cattle. J. Anim. Sci. 52:1177-1196.
- Sainz, M.L., De la Torre, F., y Oltjen, J. W. 1994. Compensatory growth and carcass quality in growth-restricted and reved beef steers. J. Anim. Sci. 73:2971-2979.



- Sánchez, M.D. Panorama de los sistemas agroforestales pecuarios en América Latina. En: Memorias del Simposio internacional. "Sistemas agroforestais pcuarios na América do Sul. Ministerio da agricultura e do abastecimento. Red de agroforestería pecuaria. Embrapa, Dairy Cattle FAO. 18-20 de setembro de 2000, Juiz de Fora-MG-Brasil.
- Shaver, R.D.; Nytes, A.J.; Satter, L.D. y Jorgensen, N.A. 1986. Influence of amount of feed intake and forage physical form on digestion and passage of prebloom alfalfa hay in dairy cows. *J Dairy Sci.* 69, 1545.
- Sherrod, L. B. and A. D. Tillman. 1964. Further studies on the effects of different processing temperatures on the utilization of solvent-extracted cottonseed protein by sheep. *J. Animal Sci.* 23:510.
- 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 uterine progesterone and oestrogen receptors and on endocrine profiles during the ovine oestrous cycle. *Reprod. Fertil. Dev.* 18: 447-458
- Souza y Dos Santos, 2002 Digestibilidad in vivo, Balance de nitrógeno e ingestión voluntaria en ovinos alimentados con paja de cebada tratada con urea.
- Stern, M.D.; Santos, K.A. y Satter, L.D. 1985. Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating cattle fed heat-treated whole soybeans *J. Dairy Sci.* 68, 45.
- Stevens, C. A. 1987. Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process. A Doctor's Dissertation, Kansas State University.
- Sutherland, I W. 1987. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. *Microbiology* 147 (2001), 3-9

- Tagari, H., F. Pena, and L.D. Satter, 1986. Protein Degradation by Rumen Microbes of Heat-Treated Whole Cottonseed J. Anim. Sci. 62, 1732.
- Tait, R.M. y Beamres, R.M. 1988. En: World Animal Science. B4. Feed Science. E.R. Ørskov (ed). Elsevier, Amsterdam. p: 151.
- Tamminga, S. 1975. The influence of the method of preservation of forage on the digestion in dairy cows. 2. Digestion of organic matter, energy and amino acids in forestomachs and intestines. Netherlands J. Agr. 23:89.
- Thomas, P.C. y Rook, J.A.F. 1981. En: Recent developments in Ruminant Nutrition. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds). Butterworths, London. pp: 157.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A two stage technique for the in vitro digestión of forage crops. British Grassland society 18:104-111.
- Trei, John E. 1966. Influence of grain processing factors on the in vitro fermentation rate by a mixed suspension of rumen microorganisms. Ph.D. dissertation. Univ. of Ariz., Tucson.
- Trei, John, W. H. Hale and Brent Theurer. 1970. Effects of grain processing on in vitro gas production. J. Anim. Sci. 30:825.
- Ulyatt, M. J., D. W. Dellow, A. John, C. S. W. Reid, and G. C. Waghorn. 1986. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. Pages 498–515 in Control of Digestion and Metabolism in Ruminants. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Underwood, E. J. 1984. In: Present Knowledge im Nutrition, 5<sup>th</sup> Ed. P. 528. The Nutrition Foundation, Inc., Washington, D.C.
- Van Soest P J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Comstock, Cornell University Press. 2<sup>nd</sup> Edition. P.373.

- Velasco AO, Melgarejo VL y Velasco NF. Conversión alimenticia, ganancia de peso y rendimiento en canal de novillos alimentados con diferente proporción de fruto de parota (*Enterolobium cyclocarpum*). En AMMVEB eds. Memorias del XX Congreso Nacional de Buiatría. Acapulco, Gro. 14-17- de agosto. México. , 1996.
- Wainman, F.W. y Blaxter, K.L. 1972. The effect of grinding and pelleting on the nutritive value of poor quality roughages for sheep. *Journal of Agricultural Science*, 79:435-445.
- Wallace, R.J. y Cotta, M.A. (1988) In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. P.N. Hobson (Ed.). Elsevier Applied Science. London, UK. pp: 217-249
- WALLACE, R.J. (1996) *Journal of Nutrition* 126: 1326S-1334S. Ward, 1978)
- Wattiaux, A.M. *Metabolismo de lípidos en vacas lecheras*. 2005. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison
- Weimer, P. J. 1998. Manipulating ruminal fermentation: A microbiological ecological perspective. *Journal of Animal Science*. 76:3114-3122.
- Welch, J. G. 1986. Physical parameters of fiber affecting passage from the rumen. *J. Dairy Sci.* 69:2750
- Weston, R. H. and J. P. Kennedy. 1984, The digestion of pasture plants by sheep. I. Ruminal production of volatile fatty acids by sheep offered diets of rye grass and forage oats. *Aust. J. Agr. Res.* 19: 419- 432.
- 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.
- Wiseman, J. 1993. El procesado de cereales en dietas de monogástricos. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España.
- Woodford, J.A.; Jorgensen, N.A. y Barrington, G.P. (1986) *J. Dairy Sci.* 69, 1035.
- Woodford, S. T., and M. R. Murphy. 1988. Dietary alteration of particle breakdown and passage from the rumen in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71:687–696

Wyburn, R. S. 1980. En: Digestive physiology and metabolism in ruminants. Y. Ruckebush y P. Thivend (eds). MTP Press Ltd. pp: 35.

Young, L. R. 1960. Mechanical durability of feed pellets. A Master's Thesis, Kansas City University. Manhattan, Kansas.

## 7. ANEXOS

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

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

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

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	79414	79414	19854	0.96	0.450
Error	20	413022	413022	20651		
Total	24	492436				

S = 143.705    R-cuad. = 66.13%    R-cuad.(ajustado) = 60.00%

### Modelo lineal general: MS Exc (g) vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para MS Exc (g), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	24086	24086	6021	1.14	0.366
Error	20	105646	105646	5282		
Total	24	129731				

S = 72.6793    R-cuad. = 68.57%    R-cuad.(ajustado) = 62.28%

### Modelo lineal general: D MS % vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D MS %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	305.138	305.138	76.285	11.85	0.000
Error	20	128.800	128.800	6.440		
Total	24	433.938				

S = 2.53771    R-cuad. = 70.32%    R-cuad.(ajustado) = 64.38%

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta D MS %

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de T

T = 0 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
25	7.195	1.605	4.483	0.0019
50	9.248	1.605	5.762	0.0001
75	9.674	1.605	6.027	0.0001
100	7.447	1.605	4.640	0.0013

T = 25 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
50	2.0522	1.605	1.2786	0.7067
75	2.4785	1.605	1.5443	0.5475
100	0.2518	1.605	0.1569	0.9999

T = 50 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
75	0.426	1.605	0.266	0.9988
100	-1.800	1.605	-1.122	0.7933

T = 75 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
100	-2.227	1.605	-1.387	0.6422

### Análisis de regresión polinomial: D MS % vs. T

La ecuación de regresión es

$$D \text{ MS } \% = 59.37 + 0.3034 T - 0.002339 T^{**2}$$

S = 2.46222    R-cuad. = 69.3%    R-cuad.(ajustado) = 66.5%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	300.562	150.281	24.79	0.000
Error	22	133.375	6.063		
Total	24	433.938			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	150.909	12.26	0.002
Cuadrática	1	149.654	24.69	0.000

### Modelo lineal general: D MO % vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D MO %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	5.545	5.545	1.386	0.37	0.830
Error	20	75.781	75.781	3.789		
Total	24	81.325				

S = 1.94654 R-cuad. = 66.82% R-cuad.(ajustado) = 60.00%

### Modelo lineal general: D PC % vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D PC %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	31.402	31.402	7.851	0.90	0.480
Error	20	173.507	173.507	8.675		
Total	24	204.909				

S = 2.94539 R-cuad. = 65.32% R-cuad.(ajustado) = 60.00%

### Modelo lineal general: D EE % vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D EE %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	255.565	255.565	63.891	9.21	0.000
Error	20	138.793	138.793	6.940		
Total	24	394.359				

S = 2.63433 R-cuad. = 64.81% R-cuad.(ajustado) = 57.77%

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta D EE %

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de T

T = 0 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
25	4.692	1.666	2.816	0.0713
50	8.062	1.666	4.839	0.0009
75	7.124	1.666	4.276	0.0030
100	8.864	1.666	5.320	0.0003

T = 25 restado a:

Diferencia	SE de	Valor P
------------	-------	---------

T	de medias	diferencia	Valor T	ajustado
50	3.371	1.666	2.023	0.2913
75	2.433	1.666	1.460	0.5984
100	4.172	1.666	2.504	0.1294

T = 50 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
75	-0.9380	1.666	-0.5630	0.9790
100	0.8017	1.666	0.4812	0.9882

T = 75 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
100	1.740	1.666	1.044	0.8319

### Análisis de regresión polinomial: D EE % vs. T

La ecuación de regresión es

$$D EE \% = 80.20 + 0.1974 T - 0.001167 T^{**2}$$

S = 2.64484    R-cuad. = 61.0%    R-cuad.(ajustado) = 57.4%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	240.465	120.232	17.19	0.000
Error	22	153.894	6.995		
Total	24	394.359			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	203.218	24.45	0.000
Cuadrática	1	37.247	5.32	0.031

### Modelo lineal general: D FC% vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D FC%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	146.5	146.5	36.6	0.20	0.936
Error	20	3690.4	3690.4	184.5		
Total	24	3836.9				

S = 13.5839    R-cuad. = 63.82%    R-cuad.(ajustado) = 59.00%



### Modelo lineal general: D FDN % vs. T

Factor Tipo Niveles Valores  
T fijo 5 0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D FDN %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	242.630	242.630	60.658	14.42	0.000
Error	20	84.122	84.122	4.206		
Total	24	326.752				

S = 2.05087 R-cuad. = 74.26% R-cuad.(ajustado) = 69.11%

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta D FDN %

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de T

T = 0 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
25	2.309	1.297	1.781	0.4113
50	5.648	1.297	4.355	0.0025
75	3.521	1.297	2.714	0.0870
100	-3.438	1.297	-2.651	0.0984

T = 25 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
50	3.339	1.297	2.574	0.1137
75	1.211	1.297	0.934	0.8804
100	-5.748	1.297	-4.431	0.0021

T = 50 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
75	-2.128	1.297	-1.640	0.4905
100	-9.087	1.297	-7.005	0.0000

T = 75 restado a:

T	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
100	-6.959	1.297	-5.365	0.0003

### Análisis de regresión polinomial: D FDN % vs. T

La ecuación de regresión es

D FDN % = 60.60 + 0.2517 T - 0.002743 T\*\*2

S = 2.18391 R-cuad. = 67.9% R-cuad.(ajustado) = 65.0%

## Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	221.823	110.912	23.25	0.000
Error	22	104.928	4.769		
Total	24	326.752			

## Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	16.048	1.19	0.287
Cuadrática	1	205.776	43.14	0.000

**Modelo lineal general: D FDA % vs. T**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D FDA %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	173.46	173.46	43.36	0.90	0.482
Error	20	961.95	961.95	48.10		
Total	24	1135.40				

S = 6.93522 R-cuad. = 57.28% R-cuad.(ajustado) = 50.00%

**Modelo lineal general: D ELN % vs. T**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para D ELN %, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	124.10	124.10	31.03	2.16	0.111
Error	20	287.63	287.63	14.38		
Total	24	411.73				

S = 3.79229 R-cuad. = 77.14% R-cuad.(ajustado) = 66.17%

**Modelo lineal general: NDT % vs. T**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

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

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	50.223	50.223	12.556	1.29	0.308
Error	20	195.108	195.108	9.755		

Total 24 245.330

S = 3.12336 R-cuad. = 59.47% R-cuad.(ajustado) = 50.57%

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

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

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

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	0.09763	0.09763	0.02441	1.29	0.308
Error	20	0.37928	0.37928	0.01896		
Total	24	0.47690				

S = 0.137709 R-cuad. = 69.47% R-cuad.(ajustado) = 64.57%

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

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

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

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	0.06565	0.06565	0.01641	1.29	0.308
Error	20	0.25503	0.25503	0.01275		
Total	24	0.32067				

S = 0.112921 R-cuad. = 70.47% R-cuad.(ajustado) = 65.57%

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

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

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

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	0.022851	0.022851	0.005713	1.29	0.308
Error	20	0.088774	0.088774	0.004439		
Total	24	0.111626				

S = 0.0666237 R-cuad. = 71.47% R-cuad.(ajustado) = 66.57%

### Modelo lineal general: ENg Mcal/kg vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para ENg Mcal/kg, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	0.0014770	0.0014770	0.0003693	1.29	0.308
Error	20	0.0057381	0.0057381	0.0002869		
Total	24	0.0072151				

S = 0.0169382 R-cuad. = 75.47% R-cuad.(ajustado) = 68.57%

### Modelo lineal general: Bal N vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para Bal N, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	8.473	8.473	2.118	0.66	0.629
Error	20	64.569	64.569	3.228		
Total	24	73.042				

S = 1.79679 R-cuad. = 66.60% R-cuad.(ajustado) = 60.00%

### Modelo lineal general: NRC vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para NRC, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	18.122	18.122	4.531	0.48	0.752
Error	20	190.060	190.060	9.503		
Total	24	208.182				

S = 3.08270 R-cuad. = 58.70% R-cuad.(ajustado) = 55.00%

### Modelo lineal general: NRAA vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para NRAA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
T	4	2.6128	2.6128	0.6532	1.57	0.222
Error	20	8.3370	8.3370	0.4169		
Total	24	10.9499				





	50	335.0	359.9	361.4
	75	315.4	416.1	479.3
	100	280.1	362.0	397.9
D MS %	0	58.40	62.52	62.53
	25	67.01	68.63	69.95
	50	68.643	69.853	70.088
	75	68.744	70.254	70.915
	100	65.74	69.31	70.05
D MO %	0	94.264	96.565	97.267
	25	94.764	95.634	96.277
	50	95.891	97.363	97.452
	75	94.54	96.83	98.52
	100	94.146	95.934	96.814
D PC %	0	84.47	89.15	89.22
	25	84.578	86.469	87.082
	50	84.37	89.22	90.05
	75	86.32	87.69	88.50
	100	88.44	90.24	90.38
D EE %	0	77.97	84.70	85.89
	25	85.01	86.58	86.58
	50	88.607	88.829	89.030
	75	88.043	88.516	88.844
	100	89.357	90.217	90.648
D FC%	0	43.68	51.15	57.11
	25	49.42	58.99	65.40
	50	61.82	62.46	62.76
	75	49.10	62.42	64.75
	100	44.75	52.39	52.79
D FDN %	0	61.58	63.71	64.89
	25	63.976	65.221	66.344
	50	67.214	67.400	67.568
	75	64.961	66.559	67.858
	100	57.15	59.68	61.81
D FDA %	0	31.37	36.28	38.04
	25	40.27	44.31	45.82
	50	40.05	43.10	44.56
	75	37.76	43.66	46.40
	100	30.63	39.78	42.09
D ELN %	0	74.93	77.25	78.48
	25	78.09	79.94	80.90
	50	78.91	81.75	82.25
	75	77.40	82.50	84.88
	100	77.19	78.73	79.77
NDT %	0	59.19	62.10	62.19
	25	60.88	64.43	64.57
	50	64.00	66.06	66.36
	75	62.07	65.23	65.37
	100	60.98	62.59	62.73
ED Mcal/kg	0	2.6096	2.7380	2.7422
	25	2.6842	2.8408	2.8468
	50	2.8219	2.9127	2.9256
	75	2.7369	2.8760	2.8821
	100	2.6888	2.7594	2.7657

EM Mcal/kg	0	2.1399	2.2451	2.2486
	25	2.2011	2.3295	2.3344
	50	2.3140	2.3885	2.3990
	75	2.2442	2.3584	2.3633
	100	2.2048	2.2627	2.2679
ENm Mcal/kg	0	1.2625	1.3246	1.3267
	25	1.2986	1.3744	1.3773
	50	1.3652	1.4092	1.4154
	75	1.3241	1.3914	1.3944
	100	1.3008	1.3350	1.3381
ENg Mcal/kg	0	0.32099	0.33677	0.33728
	25	0.33016	0.34942	0.35016
	50	0.34710	0.35827	0.35985
	75	0.33663	0.35375	0.35450
	100	0.33072	0.33941	0.34019
Bal N	0	10.763	12.617	12.890
	25	12.679	14.041	14.089
	50	11.81	14.01	15.12
	75	12.234	13.045	13.104
	100	11.456	12.302	12.856
NRC	0	83.62	88.30	88.75
	25	83.421	85.740	86.150
	50	83.76	88.60	89.52
	75	85.55	86.91	87.70
	100	87.232	87.953	88.614
NRAA	0	98.999	99.254	99.471
	25	99.015	99.224	99.388
	50	99.199	99.347	99.413
	75	99.096	99.107	99.112
	100	98.359	98.740	98.843